



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Comportamento Reológico da Polpa de Manga
(Mangífera indica L-Keitt)

JOSÉ RANIERE MAZILE VIDAL BEZERRA

M. Sc. Engenharia de Alimentos

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO GASPARETTO

Orientador

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por José Ranieri Mazile Vidal Bezerra, aprovada pela Comissão Julgadora em 29 de fevereiro de 2000.

Campinas, 29 de fevereiro de 2000.


Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto
Presidente da Banca

Campinas
São Paulo - Brasil
2000

UNICAMP

BIBLIOTECA CENTRAL

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNIDADE Bc
 N.º CHAMADA:
T/UNICAMP
B469c
 V. Ex.
 TOMBO BC/ 40781
 PROC. 278/00
 C ☐ D ☒
 PREÇO \$09,00
 DATA 31/03/00
 N.º CPD

CM-00138999-6

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

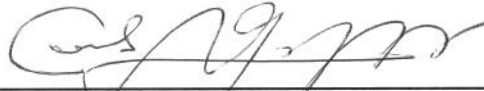
V667c

Vidal-Bezerra, José Ranieri Mazile
 Comportamento reológico da polpa de manga / José
 Ranieri Mazile Vidal Bezerra. – Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Carlos Alberto Gasparetto
 Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.
 Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Reologia. 2.Temperatura. 3.Manga. I.Gasparetto,
 Carlos Alberto. II.Universidade Estadual de Campinas.
 Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

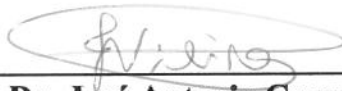
BANCA EXAMINADORA



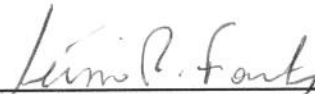
Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto
(Orientador)



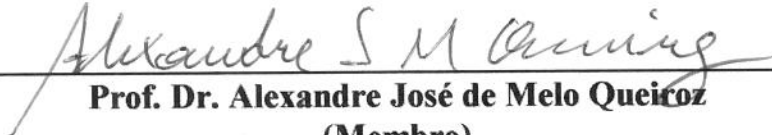
Profª. Dra. Maria Cristina Antun Maia
(Membro)



Prof. Dr. José Antonio Gomes Vieira
(Membro)



Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes
(Membro)



Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
(Membro)

Profª. Dra. Fernanda Xidieh Murr
(Membro)

Profª. Dra. Leila Peres
(Membro)

Campinas (SP), de de 2000

DEDICO

Aos meus pais que me ensinaram
o amor ao estudo,
ao dever,
a verdade,
a lealdade,
as qualidades de caráter e
a honestidade.

A minha mãe Maria Honorina Vidal Pinheiro,
que me acompanhou com tanto carinho e dirigiu-me
nos caminhos das realizações. E a Deus por ter me
dado os caminhos.

A meus irmãos o Eng. Agrônomo Roberto
Cláudio Vidal, o Geógrafo Róbson Ronaldo Vidal, Paulo
Vidal, Márcia Regina Vidal e a Psicóloga Gláucia
Cristina Vidal.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto pela orientação, amizade e apoio.

Ao Departamento de Engenharia de Alimentos (FEA–UNICAMP) pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao CNPq, pela bolsa concedida durante a realização do curso de Doutorado.

Aos Membros da Banca Examinadora, pelas importantes contribuições nas correções e sugestões, que engrandeceram este trabalho.

Ao Pompeu, do Departamento de Eng. de Petróleo, pela colaboração no desenvolvimento da parte experimental.

A Prof^ª. Enny, Angela Grandin, Daniella Mara, Daniela Pelegriane, Antônio, Jaime, Wellington Wagner, Maria do Carmo Caldas, Alexandre, Silvana, Melissa, Safi, Sílvia, Vinícius, Aline Gebeluka, Ivanise e Lia pela amizade.

Aos Professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEA).

A todos aqueles que tornaram possível a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1-INTRODUÇÃO	01
1.1-OBJETIVO	07
2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	08
2.1-GENERALIDADES	08
2.1.1-Manga	08
2.1.2-Distinção entre polpa, suco e néctar	12
2.1.3-Reologia	13
2.2 ESTUDOS REOLÓGICOS	14
2.2.1-Fluidos newtonianos	15
2.2.2-Fluidos não-newtonianos	16
2.3-CLASSIFICAÇÃO GERAL DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO	17
2.3.1-Fluidos pseudoplásticos	17
2.3.2-Fluidos dilatantes	18
2.3.3-Fluidos de Bingham	18
2.3.4-Fluidos pseudoplásticos com tensão inicial	19
2.3.5-Fluidos dilatantes com tensão inicial	19

2.3.6-Fluidos tixotrópicos	19
2.3.7-Fluidos reopéticos.....	20
2.3.8-Fluidos viscoelásticos	20
2.4-MODELOS REOLÓGICOS	22
2.4.1-Modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência).....	22
2.4.2-Modelos que consideram a tensão inicial	23
2.4.2.1-Modelo de Bingham.....	23
2.4.2.2-Modelo de Casson	24
2.4.2.3-Modelo de Herschel-Bulkley	25
2.4.2.4-Modelo de Mizrahi-Berk	26
2.5-MEDIDAS REOLÓGICAS	27
2.5.1-Reômetro capilar	28
2.5.2-Sistemas Rotacionais	29
2.5.3-Reômetro Rotacional de Cilindros Concêntricos	30
2.5.4-Reômetro Rotacional de Cone e Placas.....	31
2.5.5-Reômetro Rotacional de Placas Paralelas.....	32
2.5.6-Reômetro de Esferas Descendentes	33

2.6-COMPORTAMENTO REOLÓGICO DOS SUCOS DE FRUTAS..	34
2.7-INFLUÊNCIA DAS PECTINAS.....	40
2.8-INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE MEDIDAS.....	43
2.9-INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA.....	44
2.10-INFLUÊNCIA DAS PARTÍCULAS SUSPENSAS NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO.....	46
3-MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
3.1-Matéria prima e obtenção da polpa	52
3.2-ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA POLPA.....	56
3.2.1-pH	56
3.2.2-Teor de sólidos solúveis.....	56
3.2.3-Teor de sólidos insolúveis.....	56
3.3-CENTRIFUGAÇÃO	57
3.4-DESPECTINIZAÇÃO	57
3.5-REOMETRIA	57
3.5.1-Reômetro de Cilindros Concêntricos.....	59
3.5.2-Reômetro de Placas Paralelas	60

3.6-REOMETRIA USANDO CILÍNDROS CONCÊNTRICOS- OBTENÇÃO DE τ e γ	63
3.7-PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS	67
4-RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
4.1-Characterização da polpa.....	69
4.2-Comportamento reológico.....	69
4.2.1-Sistemas de medidas	69
4.2.2-Reometria de Cilindros Concêntricos	74
4.2.3-Reometria de Placas Paralelas.....	80
4.3-VISCOSIDADE APARENTE	89
4.3.1-Viscosidade aparente para diferentes sistemas de medidas.....	92
4.4-RAZÃO ENTRE AS VISCOSIDADES APARENTES	97
4.5-EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE OS PARÂMETROS REOLÓGICOS.....	101
5-CONCLUSÃO	114
6-SUGESTÕES.....	116
7-REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	117
8-APÊNDICE	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Dados sobre determinações físicas e químicas de vinte variedades de manga cultivadas no triângulo mineiro.....	10
Tabela 2.2- Composição química da manga madura variedade Keitt	11
Tabela 4.1- Características físico-químicas da polpa de manga	69
Tabela 4.2- Parâmetro do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral.....	75
Tabela 4.3- Parâmetro do modelo Lei da Potência para polpa de manga centrifugada	77
Tabela 4.4- Parâmetro do modelo de Casson para polpa de manga despectinizada.....	79
Tabela 4.5- Parâmetro do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral, pq 45; gap=1mm.....	81
Tabela 4.6- Parâmetro do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral, pq 45; gap=0,5mm.....	83
Tabela 4.7- Parâmetro do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral, pq 30; gap=1,0mm.....	85
Tabela 4.8- Parâmetro do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral, pq 30; gap=0,5mm.....	87
Tabela 4.9- Parâmetros de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral	103

Tabela 4.10- Parâmetros de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral	104
Tabela 4.11- Parâmetros de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral	106
Tabela 4.12- Parâmetros da Lei da Potência para polpa de manga centrifugada	107
Tabela 4.13- Parâmetros da Lei da Potência para polpa de manga centrifugada	108
Tabela 4.14- Parâmetros de Casson para polpa de manga despectinizada.....	111
Tabela 4.15- Parâmetros de Casson para polpa de manga despectinizada.....	112

LISTAS DE FIGURAS

Figura 2.1 -Curvas de escoamento para vários tipos de fluidos independentes do tempo	21
Figura 2.2 -Curvas de escoamento para vários tipos de fluidos dependentes do tempo	21
Figura 2.3 -Reômetro Rotacional tipo Searle	31
Figura 2.4 -Reômetro Rotacional tipo Couette	31
Figura 2.5 -Diagrama esquemático do reômetro rotacional de cone e placa... ..	32
Figura 2.6 -Sistema de placas paralelas pq30 e pq45 do reômetro Haake Rotovisco RV-20	33
Figura 3.1 -Despolpadeira utilizada na obtenção da polpa de manga.....	54
Figura 3.2 -Fluxograma para obtenção de polpa de manga.....	55
Figura 3.3 -Reômetro Haake Rotovisco, modelo RV-20	58
Figura 3.4 -Sistema de medida ZA-30-Reômetro Haake Rotovisco.....	59
Figura 3.5 -Sistema de medida ZA-30-Reômetro Haake Rotovisco.....	60
Figura 3.6 -Sistema de placas paralelas, pq45 do Reômetro Haake Rotovisco RV-20	61
Figura 3.7 -Sistema de placas paralelas, pq45 do Reômetro Haake Rotovisco RV-20	61

Figura 3.8-Sistema de placas paralelas, pq30 do Reômetro Haake	
Rotovisco RV-20	62
Figura 3.9-Sistema de placas paralelas, pq30 do Reômetro Haake	
Rotovisco RV-20	62
Figura 4.1-Reograma da polpa de manga integral para os diferentes	
sistemas de medidas a 10°C	70
Figura 4.2-Reograma da polpa de manga integral para os diferentes	
sistemas de medidas a 20°C	71
Figura 4.3-Reograma da polpa de manga integral para os diferentes	
sistemas de medidas a 30°C	71
Figura 4.4-Reograma da polpa de manga integral para os diferentes	
sistemas de medidas a 40°C	72
Figura 4.5-Reograma da polpa de manga integral para os diferentes	
sistemas de medidas a 50°C	72
Figura 4.6-Reograma da polpa de manga integral para os diferentes	
sistemas de medidas a 60°C	73
Figura 4.7-Relação entre a taxa de deformação e tensão de	
cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo	
modelo de Mizrahi-Berk	76

Figura 4.8- Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga centrifugada descrita pelo modelo Lei da Potência	78
Figura 4.9- Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga despectinizada descrita pelo modelo de Casson	80
Figura 4.10- Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk, pq 45; gap=1mm	82
Figura 4.11- Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk, pq 45; gap=0,5mm	84
Figura 4.12- Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk, pq 30; gap=1,0mm	86
Figura 4.13- Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk, pq 30; gap=0,5mm	88
Figura 4.14- Viscosidade aparente da polpa de manga integral	89
Figura 4.15- Viscosidade aparente da polpa de manga centrifugada	90
Figura 4.16- Viscosidade aparente da polpa de manga despectinizada	91

Figura 4.17- Viscosidade aparente da polpa de manga integral a 10°C obtida em diferentes sistemas de medidas.....	93
Figura 4.18- Viscosidade aparente da polpa de manga integral a 20°C obtida em diferentes sistemas de medidas.....	93
Figura 4.19- Viscosidade aparente da polpa de manga integral a 30°C obtida em diferentes sistemas de medidas.....	94
Figura 4.20- Viscosidade aparente da polpa de manga integral a 40°C obtida em diferentes sistemas de medidas.....	94
Figura 4.21- Viscosidade aparente da polpa de manga integral a 50°C obtida em diferentes sistemas de medidas.....	95
Figura 4.22- Viscosidade aparente da polpa de manga integral a 60°C obtida em diferentes sistemas de medidas.....	95
Figura 4.23- Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) da polpa de manga integral e centrifugada	98
Figura 4.24- Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) da polpa de manga integral e despectinizada	99
Figura 4.25- Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) da polpa de manga centrifugada e despectinizada.....	99
Figura 4.26- Efeito da temperatura sobre o parâmetro n_M Mizhari-Berk para polpa de manga integral.....	102

Figura 4.27 -Efeito da temperatura sobre o parâmetro K_M Mizhari-Berk para polpa de manga integral.....	104
Figura 4.28 -Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo modelo de Mizhari-Berk	105
Figura 4.29 -Efeito da temperatura sobre o parâmetro n_M (Lei da Potência) para polpa de manga centrifugada.....	106
Figura 4.30 -Efeito da temperatura sobre o parâmetro K_M (Lei da Potência) para polpa de manga centrifugada.....	108
Figura 4.31 -Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga centrifugada descrita pelo modelo Lei da Potência	109
Figura 4.32 -Efeito da temperatura sobre o parâmetro K_M (Casson) para polpa de manga despectinizada.....	110
Figura 4.33 -Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga despectinizada descrita pelo modelo de Casson	112

NOMENCLATURA

D -Diâmetro interno do tubo na equação 2.10	m
gap -distâncias entre as placas no reômetro de placas paralelas	mm
h -altura do cilindro na equação 3.1	m
K -Índice de consistência na equação 2.3	Pa.s
K_H -Índice de consistência de Herschel-Bulkley	Pa.s
K_M -Índice de consistência de Mizrahi-Berk	Pa.s
K_{oc} -Índice de consistência de Casson	Pa.s
K_{OM} -Raiz quadrada da tensão inicial de Mizrahi-Berk	(Pa) ^{1/2}
L -Comprimento do tubo	m
M - coeficiente angular na equação 3.8	---
n_H -Índice de comportamento de Herschel-Bulkley	---
n_M -Índice de comportamento de Mizrahi-Berk	---
pq30 -Sistema de medida de placas paralelas-Figura 2.6	---
pq45 -Sistema de medida de placas paralelas-Figura 2.6	---
Q -Vazão volumétrica do reômetro capilar	m ³ /s
R -Raio interno do cilindro	mm

R_c -Raio do copo	mm
R_B -Raio do cilindro interno	mm
R² -Coeficiente de correlação.....	---
SSR -Soma dos quadrados dos resíduos	---
T -Torque	N/m
V -Velocidade linear	m/s
X² -Qui-quadrado	---
Δp -Queda de pressão ao longo de L	Pa
ZA30 -sistema de medida de cilindros concêntricos - Figura 3.4	---
τ -Tensão de Cisalhamento	Pa
τ₀ -Tensão inicial do modelo de Bingham.....	Pa
γ -Taxa de Deformação.....	s ⁻¹
τ_{0H} -Tensão inicial de Herschel-Bulkley	Pa
η -Viscosidade aparente	Pa.s
η_p -Viscosidade plástica de Bingham.....	Pa.s
η_{api} -Viscosidade aparente da polpa na condição I	Pa.s
η_{apj} -Viscosidade aparente da polpa na condição j	Pa.s

Ω -Velocidade angular.....	s^{-1}
α -Relação de raios do copo e do cilindro.....	---
ε -razão definida nas equações 3.7 e 4.1	---

Tese de Doutorado: **Comportamento Reológico da polpa de manga**
(*Mangífera indica* L-Keitt)

Autor: **José Raniere Mazile Vidal Bezerra - Engenheiro de Alimentos**

Orientador: **Prof. Carlos Alberto Gasparetto – Ph. D. Chem. Eng.**

Depto. de Engenharia de Alimentos - FEA - UNICAMP - fevereiro / 2000

RESUMO

Neste trabalho experimental foi determinado o comportamento reológico da polpa de manga variedade Keitt na faixa de temperatura de 10°C a 60°C. A polpa integral foi produzida em planta piloto e refinada num “finisher” com peneira de 1,6mm. Foram também utilizadas a polpa integral centrifugada e a integral despectinizada. As análises reológicas foram conduzidas num reômetro Haake Rotovisco RV-20 com geometrias de cilindros concêntricos e de placas paralelas. Os reogramas foram descritos pelos modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk na faixa de taxa de deformação 50-900s⁻¹ e todas as amostras apresentaram comportamento pseudoplástico. Os resultados obtidos mostraram que o sistema de cilindros concêntricos e de placas paralelas pq 45, com distância de 1,0mm, são os mais adequados à caracterização reológica das polpas ensaiadas. Os resultados também foram analisados em termos de viscosidade aparente, calculadas a partir do modelo de Mizrahi-Berk, através do qual foram ajustados os dados obtidos com cilindros concêntricos. O efeito da temperatura sobre os parâmetros reológicos que representam o índice de consistência (K_M) foram ajustados, usando-se a equação de Arrhenius $\ln(K_M)=A_1+B_1/T$. Nos casos dos modelos de Mizrahi-Berk e Lei da Potência o índice de comportamento (n_M) foi ajustado por uma função do tipo $n_M=A_2+B_2T$. As polpas integral e despectinizada, a partir de 40°C, mostraram um aumento da viscosidade aparente.

Palavras chave: Reologia, Temperatura, Manga,

Ph.D. Thesis: **Rheological Behaviour of mango pulp** (*Mangífera indica* L-
Keitt)

Author: **José Raniere Mazile Vidal Bezerra - Food Engineer**

Supervisor: **Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto, Ph.D. Chem. Eng.**

Department of Food Engineering - FEA - UNICAMP - february/ 2000

SUMMARY

Experiments were conducted in order to know the rheological behaviour of mango pulp (Keitt) in the temperature range 10-60°C. Whole pulp was produced at pilot plant and refined in a finisher with 1.6mm mesh. Whole centrifuged and whole despectinized pulps were also analysed. Rheometry was conducted with a Haake-Rotovisco RV-20 system using both concentric cylinders and parallel plate. Rheograms were fitted with models by Ostwald-de-Waele, Casson, Herschel-Bulkley and Mizrahi-Berk for the shear rate within the range 50-900s⁻¹, showing pseudoplastic behaviour for all pulps. Apparent viscosity were obtained from calculations using the Mizrahi-Berk fitted parameters in to data produced with concentric cylinders. Consistency index (K_M) of the best fitted models were described in terms of temperature using Arrhenius equation $\ln(K_M)=A_1+B_1/T$ and the flow behaviour index (n_M) was fitted to $n_M=A_2+B_2T$. Whole and despectinized pulps showed an increase in apparent viscosity beyond 40°C.

Key Words: Rheology, Temperature, Mango,

1-INTRODUÇÃO

O Brasil conta com uma das maiores áreas agricultáveis dentre todos os países do mundo e uma variedade de solos e climas que o tornam apto a explorar praticamente todas as espécies de culturas com alguma importância econômica. Dentre estas, as frutas de clima tropical tem mercado garantido e alto valor comercial, principalmente nos países de maior importância econômica do hemisfério Norte (QUEIROZ, 1998).

A manga (*Mangífera indica L*) é uma fruta muito saborosa e aromática seguramente uma das frutas mais importantes dos trópicos, tendo aceitação crescente no mercado mundial. A polpa pode ser firme ou aquosa, com ou sem fibras, de cor amarelada a alaranjada de sabor variável e um conteúdo de açúcar entre 14 a 28%. A manga é da família das Anacardiáceas, com polpa comestível, forma irregular e variável conforme a espécie. É considerada um dos melhores frutos comestíveis do mundo devido ao excelente aroma, sabor exótico e cores exuberantes. A manga é uma das fontes naturais mais ricas em caroteno, precursor da vitamina A, contém também quantidade apreciável de ácido ascórbico (vitamina C), quando em estado verde, que diminui progressivamente com a maturação da fruta (MEDINA et alii 1981).

Provavelmente trazida da Índia, maior produtor e exportador mundial, foi introduzida no Brasil no Século XIX, sendo atualmente comum em todos os estados brasileiros, (SALUNKE & DESAI, 1984).

O Brasil é um grande exportador de frutas tropicais “in natura”. Mas não detém informações completas sobre características dos produtos regionais que podem sofrer alterações no processo de produção. Para aproveitar-se deste

mercado emergente que, por proporcionar menor perda que a exportação de frutas frescas pode garantir maior lucro aos exportadores, algumas indústrias nacionais começam a se preocupar em estudar o comportamento de determinados sucos para projetar novas unidades de processamento. Este conhecimento, é indispensável aos projetos de tubulações e dimensionamentos de bombas e aos sistemas de agitação e mistura, que precedem a chegada dos sucos concentrados às prateleiras dos supermercados.

A inexistência de dados reológicos sobre frutas tropicais na literatura tem levado a indústria nacional a utilizar no processo de fabricação destes sucos condições semelhantes às aplicadas na produção do suco de laranja. Mas por terem propriedades diferentes, os resultados não atingem o mesmo nível de qualidade. Para obter sucos concentrados com qualidade capaz de conquistar o exigente paladar dos consumidores do exterior, a indústria brasileira deverá respeitar características exclusivas de cada fruta, como o grau de pectina, o teor de açúcar e a quantidade de fibras.

Uma forma prática de colocar produtos como a manga junto ao consumidor, aumentar sua vida de prateleira e ainda evitar as perdas decorrentes de defeitos de aparência, é processando o fruto e seus derivados na forma de sucos, néctares, sorvetes, sobremesas gelificadas e outros. Para a fabricação desses produtos na indústria utiliza-se a polpa de fruta, a qual é submetida aos processos de industrialização (bombeamento, agitação, transporte em tubulações, evaporadores...). Para a definição dos processos é indispensável o conhecimento das suas propriedades físicas e químicas. Dentre essas propriedades o comportamento reológico ocupa posição de grande destaque, sendo útil não só como medida de qualidade, mas também em

projetos, avaliação e operação dos equipamentos processadores de alimentos tais como as bombas, sistemas de agitação, tubulações, etc.

No Brasil, há escassez de dados sobre propriedades reológicas dos sucos, polpas e outros concentrados de frutas nacionais. A matéria prima brasileira apresenta características diferentes daquela produzida em outras partes do mundo, principalmente no que diz respeito aos teores de polpa e de açúcares que vão influenciar diretamente no teor de sólidos solúveis e insolúveis e conseqüentemente na viscosidade (VIDAL, 1997).

A indústria de diferentes áreas como por exemplo a indústria de tintas, de alimentos ou de polímeros produziu durante muito tempo sem compreender exatamente as propriedades reológicas dos seus produtos. Nos últimos tempos a reologia tem ganho um crescente significado. O aumento da concorrência e a pressão dos custos forçam as indústrias a procurar métodos rápidos para controlar a qualidade dos produtos e para prever as propriedades de novos produtos já durante seus desenvolvimentos. A qualidade e formulação de um produto devem estar documentados de maneira objetiva e compreensível. A caracterização das propriedades reológicas através de modernos viscosímetros e reômetros é de grande importância, pois eles garantem uma caracterização objetiva e precisa.

Com isso a maioria dos projetos de equipamentos utilizados no processamento de frutas são baseados em estimativas dos parâmetros reológicos relativos a materiais produzidos no exterior. A crescente necessidade e procura dos parâmetros reológicos para os diversos fluidos manipulados nas indústrias alimentícias está ligada também à grande

importância econômica que estes fluidos e equipamentos de processamento representam atualmente (VIDAL, 1997). Daí a importância de criteriosa caracterização reológica dos produtos brasileiros, considerando a influência dos muitos fatores que afetam essas propriedades. As informações sobre o comportamento reológico dos fluidos permitem o cálculo prático para situações importantes como: evaporação, bombeamento, troca de calor, estocagem, filtração e separação de sólidos.

Equipamentos para medições reológicas que seguem o método Brookfield (ISO 2555) são frequentemente encontrados nos laboratórios industriais. Estes equipamentos permitem medidas sob várias velocidades de rotação e fornecem uma primeira idéia sobre o comportamento reológico. Entretanto, a velocidade de cisalhamento é desconhecida e, portanto, para materiais não-newtonianos (como é o caso de muitos produtos) este método não fornece o valor absoluto de viscosidade. Limites de escoamento, viscosidade com cisalhamento nulo e propriedades elásticas não podem ser obtidas com estes equipamentos.

Novos reômetros rotacionais (como por exemplos o Viscotester VT550 HAAKE) têm tido grande aceitação no controle de qualidade e desenvolvimento de produtos. As vantagens são inúmeras: primeiro, é possível determinar-se o valor absoluto da viscosidade, pois esses equipamentos dispõem de sensores dentro das normas ISO e adequados para diferentes tipos de problemas (cilindros concêntricos para produtos pouco viscosos, eventualmente sistemas descartáveis, placa e cone para amostras de alta viscosidade ou altas velocidades de cisalhamentos). Além disso, os modernos reômetros são completamente controlados por computadores. Reogramas de

grandeza como tensão de cisalhamento podem ser obtidos usando-se programas pré-definidos e cálculos como ajustes de modelos reológicos, e normais em função de taxa de deformação ou de tempo, determinação da área de tixotropia ou simplesmente a impressão dos resultados das medidas em forma de tabelas ou gráficos estão geralmente integrados ao sistema. Estes novos equipamentos são muito práticos de usar porém é necessário uma análise crítica dos resultados para que a situação ensaiada não seja avaliada de forma simplista. Para o desenvolvimento de novos produtos e para a compreensão de seus comportamentos reológicos há atualmente reômetros com tensão de cisalhamento controlada, baixíssimas taxas de deformação etc. (por exemplo, a série RheoStress RS150 HAAKE).

A descrição do comportamento reológico não newtoniano é feita através de modelos empíricos que são usados para relacionarem os dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação. Os modelos mais práticos e utilizados neste trabalho são: Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson, que são representados como:

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

$$\tau - \tau_{OH} = K_H (\dot{\gamma})^{n_H} \quad \text{Herschel-Bulkley (H-B)}$$

$$\tau^{1/2} - K_{OM} = K_M (\dot{\gamma})^{n_M} \quad \text{Mizrahi-Berk (M-B)}$$

$$\tau^{1/2} = K_{OC} + K_C (\dot{\gamma})^{1/2} \quad \text{Casson}$$

onde τ (Pa) é a tensão de cisalhamento, $\dot{\gamma}$ (1/s) é a taxa de deformação, τ_{OH} , K_{OM} e K_{OC} são parâmetros de tensão inicial de escoamento, K , K_H , K_M , e K_C são índices de consistência e n , n_H , n_M são índices de comportamento.

Três desses modelos contêm o termo de tensão inicial, que é uma característica muitas vezes desejável em aplicações tecnológicas para fluidos alimentícios, entretanto de difícil determinação experimental na maioria dos instrumentos comerciais. VOCADLO & CHARLES (1971), criticaram e mostraram as desvantagens dos diferentes métodos experimentais na determinação da tensão inicial e projetaram um sistema de cilindros concêntricos com grande profundidade, para uma determinação que supuseram mais precisa. Atualmente os computadores tornam mais fácil e prática essa determinação.

Os modelos de Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk possuem três parâmetros a serem determinados, enquanto os modelos de Casson e Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) apenas dois, e portanto, nestes últimos modelos, podem ser diretamente determinados por regressão linear. No caso dos modelos de Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk o método linear só poderá ser usado quando a magnitude da tensão inicial puder ser determinada experimentalmente ou por outro método de recorrência.

1.1-Objetivo

O objetivo deste trabalho foi estudar experimentalmente o comportamento reológico da polpa de manga. Para este estudo foi utilizado reômetro rotacional com geometrias de cilindros concêntricos e de placas paralelas, da marca Haake Rotovisco e modelo RV-20. O comportamento reológico foi descrito em termos dos modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson para os casos de polpa integral, centrifugada e despectinizada e na faixa de temperatura de 10°C a 60°C.

Os resultados experimentais obtidos foram analisados sob o aspecto de avaliar o modelo reológico que melhor representasse o comportamento experimental e que pudesse levar à melhor parametrização em função da temperatura. A vantagem dessa estratégia é a conveniência no uso do modelo reológico em algoritmos de cálculos para processos e equipamentos.

2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1-GENERALIDADES

2.1.1 Manga

A manga é um fruto de regiões tropicais e subtropicais e de grande demanda em todo o mundo, tanto para o consumo “in natura” quanto industrializada. É considerada um dos frutos de melhor qualidade, sabor e aroma. Devido à sua grande aceitação por parte dos consumidores europeus, sua cultura se disseminou por vários países e sua tecnologia de produção foi acentuadamente melhorada (PRADO, 1994).

Segundo VASQUEZ-SALINAS et alii (1985), a composição vem sendo analisada e alguns dados disponível para polpa comestível são apresentados na Tabela 2.1. As principais vitaminas presentes neste fruto são a vitamina C, pró-vitamina A (β -caroteno) e pequenas quantidades de vitamina B.

O teor de vitamina C, pró-vitamina A (β -caroteno) e pequena quantidade de vitamina B varia de cultivar para cultivar, dependendo de sua origem (NAGY & SHAW, 1980). Os frutos jovens são adstringentes, ácidos e ricos em vitamina C, os frutos maduros são doces, ricos em pró-vitamina A, moderados em vitamina C e altamente aromáticos (HULME, 1970).

Diante da importância econômica que a manga alcançou nos últimos anos nos mercados interno e externo, sua cultura passou a ser vista como uma alternativa com boas perspectivas para o Brasil, onde cultivos empresariais vem sendo implantados, procurando-se empregar tecnologias mais adequadas de

produção, com vistas inclusive à exportação e à agroindústria (CUNHA et alii, 1994). Por sua vez, a ocorrência de excedentes da produção e de descartes inadequados à comercialização da fruta ao natural preocupa os produtores, os quais vêm na industrialização uma forma para resolver, pelo menos em parte, o problema (TRAVAGLINI, 1994). Dos produtos derivados do processamento da manga, os que mais se comercializam são: suco, bebidas preparadas, fatias em salmoura, polpa e compota. Além desses, geléias, néctares, desidratados e xarope têm alguma importância. Com exceção da fruta em calda que exige matéria-prima de primeira qualidade, os descartes podem ser utilizados na fabricação de polpa, néctar e produtos desidratados. As cascas das frutas tem sido para a alimentação animal, ainda que também mencionem-se trabalhos sobre a elaboração de vinhos, vinagres, como matéria-prima para a elaboração de pectina e de fibras dietéticas sendo necessário, neste último caso, inibir a ação da polifenoloxidase e realizar uma lavagem prévia para extrair a polpa remanescente, facilitando a secagem posterior (LARRURI et alii, 1996).

Nem todos os cultivares de manga rendem frutos adequados para serem processados industrialmente, pois na elaboração de polpas, necessita-se de frutas que proporcionem um produto de boa consistência, sabor e cor, que são os três fatores que mais influenciam na qualidade dos néctares e sucos (CEREZAL et alii, 1995). Devido a estes fatores, diversas avaliações foram feitas a respeito das mangas cultivadas nos países exportadores da fruta, baseando-se nas suas avaliações físico-químicas e sensoriais como: sabor, cor, aspecto e consistência.

Por outro lado, há que se considerar que existem diferenças na qualidade dos frutos, inclusive para uma mesma variedade, devendo-se entre

outros fatores, às distintas condições climáticas existentes nas diferentes regiões de cultivo, segundo PINTO et alii (1981). Como exemplo dessas avaliações, citam-se as pesquisas em relação aos cultivares brasileiros localizados no triângulo mineiro, cujos resultados resumem-se na Tabela 2.1.

Tabela 2.1-Dados sobre determinações físicas e químicas de vinte variedades de mangas cultivadas no triângulo mineiro.

Variedade	Peso dos frutos (g)	Polpa (%)	pH	Acidez Total (%)	Sólidos Solúveis Totais (°Brix)
Brasil	254,8	73,3	4,40	0,24	14,7
Simmonds	436,0	77,4	4,16	0,23	15,6
Keitt	379,0	77,0	2,24	0,28	17,8
Extrema	431,7	78,1	3,98	0,29	14,8
Kent	378,0	75,6	4,22	0,33	18,2
Primor de amoreira	421,0	75,9	4,06	0,42	14,8
Carlotão	446,2	79,3	4,04	0,32	15,8
Van Dyke	316,5	77,4	4,16	0,29	17,5
M - 20222	266,6	74,9	3,86	0,35	18,6
Eldon	499,5	77,9	4,20	0,25	14,4
Coração magoado	256,9	74,2	4,68	0,16	14,7
Zill	359,5	73,6	4,64	0,21	18,6
Edward	579,8	81,3	4,38	0,27	19,2
Ruby	210,1	73,6	3,98	0,36	16,8
Espada de Itaparica	261,0	74,0	3,92	0,44	16,1
Surpresa	381,0	80,4	4,18	0,32	16,1
Tommy atkins	412,5	76,7	4,24	0,21	13,9
Haden	436,9	80,7	4,14	0,23	16,1
Kensington	418,5	74,2	4,58	0,18	15,6
Florigon	264,9	74,5	3,68	0,37	15,7

Fonte: Dalmo et ali. (1988)

Da Tabela 2.1 as variedades Keitt, Kent e M-20222 são as mais propícias à industrialização, já que apresentam maiores teores de sólidos solúveis totais e pH mais favorável. Quanto à exportação da fruta fresca, as variedades mais adequadas são aquelas com menores teores de suco e fibras, tais como: Haden, Keitt e Tommy Atkins (PELEGRINE, 1999).

As características físicas responsáveis pela aparência externa dos frutos, tais como: tamanho, forma e coloração da casca, constituem-se como fatores importantes para a aceitabilidade pelos consumidores. Associada às características físicas, é também de grande importância os constituintes físico-químicos e químicos da polpa, que são responsáveis pelo sabor e aroma característicos dos frutos. O teor dos sólidos solúveis dos frutos é muito importante, uma vez que, quanto maior a quantidade de sólidos solúveis existentes, menor será a quantidade de açúcar a ser adicionado na indústria quando os frutos são processados, diminuindo o custo de produção e aumentando a qualidade do produto, segundo RODRIGUES alii (1977).

Tabela 2.2-Composição química da manga madura variedade Keitt

umidade (%)	85-90
sólidos solúveis totais (°Brix)	19,9
pH	6,2
vitamina C (mg/100g)	76,5
açúcares totais (%)	17,7
carotenóides totais (µg/100g)	5187
β-caroteno (µg/100g)	2758

Fonte: Vasquez-Salinas e Laksmiroyana (1985)

2.1.2 Distinção entre polpa, suco e néctar

Polpa significa o produto obtido pelo esmagamento das partes comestíveis das frutas carnosas, após remoção de suas partes normalmente não consumidas, tais como as cascas e sementes. É um produto que atende as necessidades de vários segmentos da indústria alimentícia, tais como as indústrias de sucos naturais, sorvetes, laticínios, balas, doces e geléias. Segundo a Associação das Indústrias de Sucos Tropicais (ASTN), a procura pelas polpas de frutas tropicais é grande e tem-se observado um aumento de empresas elaborando este produto (FEITOSA et alii, 1996).

Na definição de IBARZ et alii (1992), sucos são os mais importantes líquidos derivados de frutas na indústria de alimentos e podem ser classificados de acordo com o seu conteúdo de polpa em dois principais grupos: purês e sucos.

NAGY et alii (1993), afirmam que entende-se por suco o produto resultante após a fruta ser espremida e filtrada para a separação grosseira de fibras, com a finalidade de processamento comercial.

Do ponto de vista das operações de processamento comercial os sucos de frutas podem ser considerados como uma solução aquosa de açúcar, ácidos, essências, pigmentos, minerais, vitaminas, gorduras, proteínas e substâncias pécticas. Note-se que nesta definição apenas os sólidos solúveis são contemplados. Esta é uma típica definição aplicável a sucos clarificados.

O termo “nectar de fruta” é usado na indústria para designar a mistura de suco de fruta adicionada de açúcar, podendo conter corante

artificial, aromatizante e ácido cítrico, para produzir um produto pronto para consumo. Indica também que essas bebidas, embora contendo um ou mais sucos, não podem ser designadas como suco de frutas, porque possuem água e açúcar adicionados.

Quanto à importância nutricional que esses produtos derivados de frutas apresentam, as que merecem destaque são, no caso dos sucos e polpas, o fornecimento de vitaminas e sais minerais, e, em relação ao néctar, esses se destacam pelo grande valor calórico (PELEGRINE, 1999).

2.1.3 Reologia

A reologia é a ciência que estuda as propriedades mecânicas dos materiais que determinam seu escoamento quando solicitados por forças externas. O campo da reologia estende-se desde a mecânica de fluidos newtonianos até à elasticidade de Hooke (BIRD et alii, 1960).

O conhecimento do comportamento reológico de produtos alimentícios é essencial para várias aplicações, entre as quais projetos e avaliação de processos, controle de qualidade, correlação com a avaliação sensorial e compreensão de estrutura (RAO, 1977, RAO, 1986).

Fluidos reais deformam-se irreversivelmente, ou seja, quando tensões são aplicadas sobre esses materiais, eles escoam. A energia de deformação é dissipada dentro dos fluidos em forma de calor e não pode ser recuperada se a tensão aplicada for cessada. Aqui é importante ressaltar que devido ao escoamento, esses materiais são estudados na reologia, pela relação entre sua taxa de deformação e tensão de cisalhamento.

O comportamento reológico de sucos é influenciado pela sua composição, e, conseqüentemente, dependerá do tipo de fruta e do processamento de elaboração. Os clarificados e despectinizados geralmente apresentam comportamento newtoniano. As polpas e néctares apresentam, geralmente, comportamento não-newtoniano (PELEGRINE, 1999).

Segundo IBARZ et alii (1996), a importância do conhecimento do comportamento reológico dos derivados de frutas está na sua utilização como medida de qualidade, além de ser indispensável em projetos, avaliação e operação dos equipamentos processadores de alimentos e de fundamental importância na economia de energia, o que, atualmente, se tornou extremamente importante a ponto de cada vez mais as operações de troca de calor e massa serem feitas de forma precisa.

No projeto de equipamentos destinados ao processamento de derivados de frutas, como sucos e purês, o conhecimento das propriedades ligadas aos seus padrões de escoamento determina a concepção e o dimensionamento dos equipamentos como bombas, tubulações, filtros, etc. (QUEIROZ et alii, 1996).

2.2 ESTUDOS REOLÓGICOS

Os fluidos podem ser classificados como newtonianos ou não-newtonianos:

2.2.1 Fluidos Newtonianos

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

Fluidos newtonianos apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, com coeficiente linear igual a zero. Fluidos que apresentam comportamento newtoniano são todos os gases, líquidos de baixo peso molecular e soluções aquosas diluídas de sais e açúcares.

Dentre os alimentos, tem comportamento newtoniano por exemplo: óleos, bebidas alcoólicas, refrigerantes, leite, cervejas, vinhos, sucos clarificados de maçã e de uva (RAO, 1986), desde que submetidos a situações de taxa de deformação moderada.

A equação matemática que descreve seu comportamento é dada por:

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

Onde:

τ = Tensão de cisalhamento ($\text{N m}^{-2} = \text{Pa}$)

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

η = Viscosidade absoluta (Pa. s)

2.2.2 Fluidos Não-Newtonianos

Todos os fluidos que não exibem o comportamento descrito pela Equação (2.1) podem ser chamados não-newtonianos e classificados como independentes ou dependente do tempo, (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1977 & RAO, 1986). Para os fluidos não-newtonianos independentes do tempo, à temperatura e composição constantes, a viscosidade aparente depende somente da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento.

Para efeitos de estudo, os fluidos não-newtonianos são classificados em categorias, de acordo com o desvio que apresentam à lei de Newton da viscosidade.

Para fluidos não-newtonianos o termo de viscosidade é substituído por η_a que é a viscosidade aparente e é função do gradiente de velocidade.

Note-se que η_a não é a inclinação da curva $\tau \times \dot{\gamma}$.

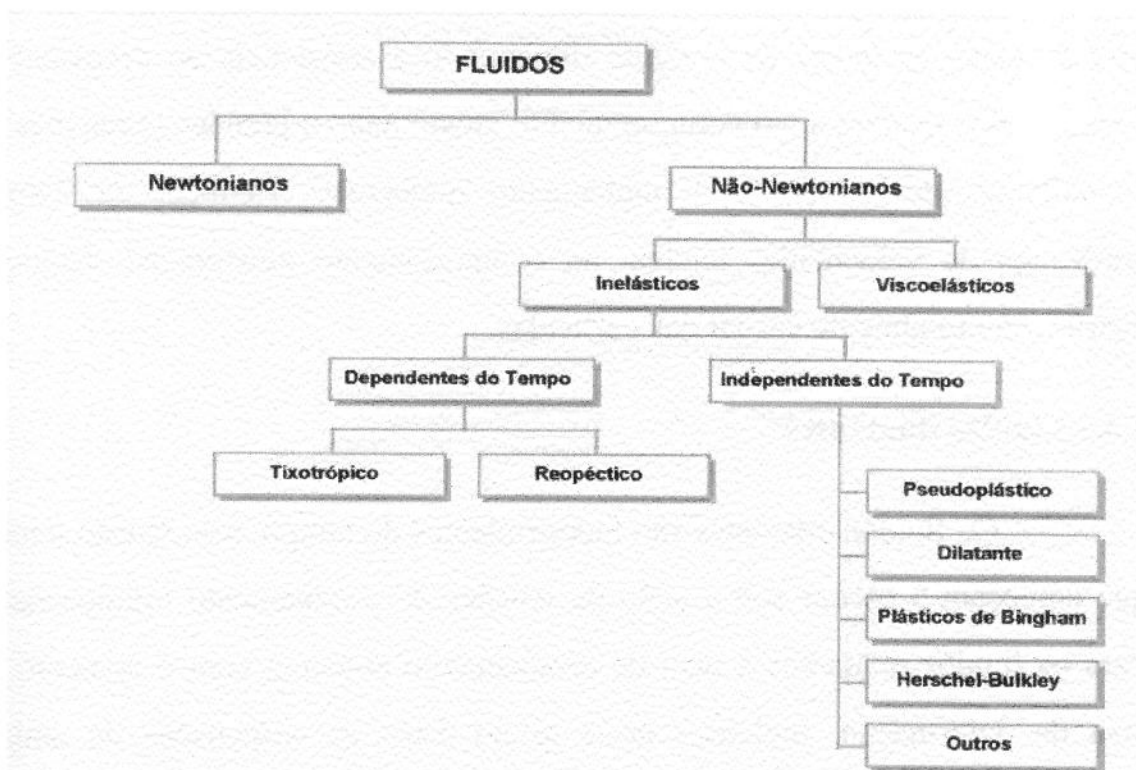
$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.2)$$

onde

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

τ = Tensão de cisalhamento ($N\ m^{-2} = Pa$)

2.3-CLASSIFICAÇÃO GERAL DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO



Fonte: Sundfeld (1994)

2.3.1 Fluidos pseudoplásticos

Neste grupo está a maioria dos fluidos de componentes de comportamento não-newtoniano. São fluidos independentes do tempo, sem tensão residual, que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais. Para os fluidos pseudoplásticos, a taxa de acréscimo na tensão de cisalhamento diminui com o aumento da taxa de deformação.

Esta classe é representada por produtos como polpas e sucos concentrados de frutas, caldos de fermentação, melaço de cana (CHARM, 1960; HOLDSWORTH, 1971) e soluções de pectina (SARAVACOS & MOYER, 1967). Segundo HOLDSWORTH (1971), esse comportamento é

explicado pela modificação da estrutura de cadeias longas de moléculas com o aumento do gradiente de velocidade. Essas cadeias tendem a se alinhar paralelamente às linhas de corrente diminuindo a resistência ao escoamento. Esses fluidos tendem a um comportamento newtoniano a grandes gradientes de velocidades, devido ao total alinhamento molecular. Também em baixos gradientes de velocidades tendem ao comportamento newtoniano devido a distribuição totalmente casual das partículas.

2.3.2 Fluidos dilatantes

Os fluidos dilatantes são independentes do tempo, sem tensão inicial, que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais. Para os fluidos dilatantes a taxa de cisalhamento aumenta com o aumento da taxa de deformação. Incluídos neste grupo estão as suspensões de amido, soluções de farinha de milho, soluções concentradas de goma e de açúcares, conforme comentado por ONOFRE (1995).

2.3.3 Fluidos de Bingham

Os fluidos de Bingham são independentes do tempo, apresentando tensão inicial a partir da qual o fluido apresenta um comportamento linear na relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. São geralmente soluções e ou suspensões concentradas de polímeros como são os casos de amido e proteínas, conforme VAN WAZER et alii (1963) e MENJIVAR & RHA (1980). Purê de batata, mostarda, catchup, chocolate fundido são exemplos de fluidos que apresentam comportamento do tipo Bingham.

2.3.4 Fluidos pseudoplásticos com tensão inicial

Muitos fluidos apresentam uma tensão inicial como os de Bingham mas, a partir desse ponto seu comportamento reológico é semelhante aos dos fluidos pseudoplásticos. Sucos concentrados, não clarificados e congelados são exemplos típicos deste comportamento, conforme comentado por BRANCO (1995).

2.3.5 Fluidos dilatantes com tensão inicial

Os fluidos pertencentes a esse grupo apresentam um comportamento reológico análogo ao dos dilatantes, após ultrapassada a tensão inicial. Soluções e suspensões concentradas de amido de milho, ou gomas com açúcares são exemplos deste comportamento.

2.3.6 Fluidos tixotrópicos

Fluidos desse grupo apresentam um comportamento reológico dependente do tempo. A tensão de cisalhamento decresce reversivelmente com o tempo, fixadas a temperatura e taxa de deformação, ou seja, o processo de rompimento das estruturas dos fluidos tixotrópicos depende do tempo, além de depender da taxa de deformação (SKELLAND, 1967). Incluídos neste grupo estão os géis de alginato e sucos integrais concentrados. Se a curva reológica de fluidos desse grupo for obtida através de um único experimento, no qual a taxa de deformação varia monotonicamente crescente desde zero até um valor máximo e, imediatamente após atingir o máximo, a taxa de deformação varia monotonicamente e decrescente até zero, obter-se-á uma curva de histerese (SKELLAND, 1967).

2.3.7 Fluidos reopéticos

Os fluidos denominados reopéticos também são conhecidos como fluidos de tixotropia negativa (GOVIER, 1972), ou anti-tixotrópicos (SKELLAND, 1967). Apresentam acréscimo reversível na tensão de cisalhamento com o tempo, para uma dada temperatura e taxa de deformação. Esses fluidos também apresentam uma curva de histerese porém a viscosidade aumenta com o tempo. Este tipo de comportamento, com repetibilidade (ou recuperação de estrutura) não é comum em alimentos. São mais comuns os casos de formação de estruturas como na preparação de “creme chantilly” e de clara em neve. Note-se que nestes casos há evolução e não um comportamento que pode ser repetido continuamente. A cristalização também é exemplo de evolução, podendo no caso de açúcar ser monitorada por um reômetro que acompanha continuamente o processo. Esta é uma aplicação moderna para o controle da cristalização do açúcar.

2.3.8 Fluidos viscoelásticos

Esses fluidos apresentam propriedades viscosas e elásticas, sendo que as propriedades viscosas podem ser não-newtonianas e dependentes do tempo. As propriedades elásticas se manifestam através da presença de tensões perpendiculares à direção do cisalhamento e que são de magnitude diferente das tensões paralelas à direção do cisalhamento (TORREST, 1982). Quase todas as soluções, de polímeros, mesmo diluídas, apresentam comportamento viscoelástico e muitas vezes não é detectado por instrumentos não preparados para essas medidas. Clara de ovo é o exemplo típico do comportamento viscoelástico.

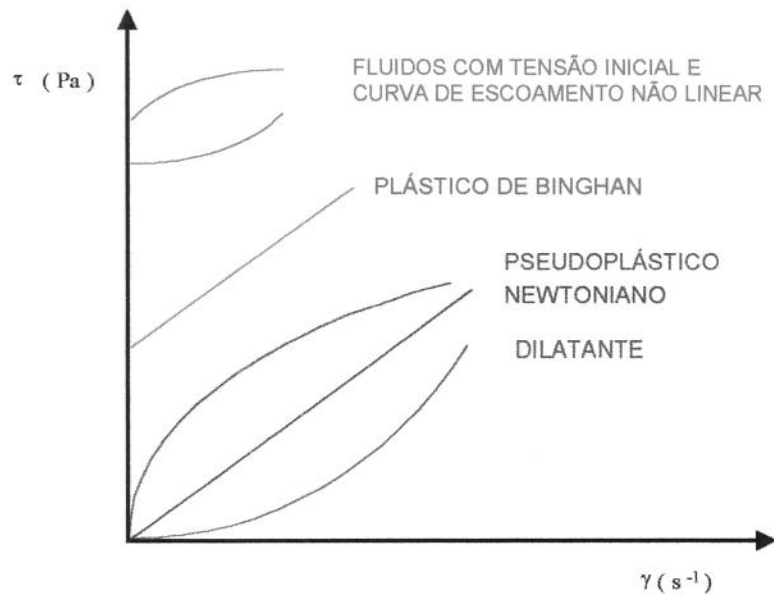


Figura 2.1-Curvas de Escoamento para vários tipos de fluidos independentes do tempo.

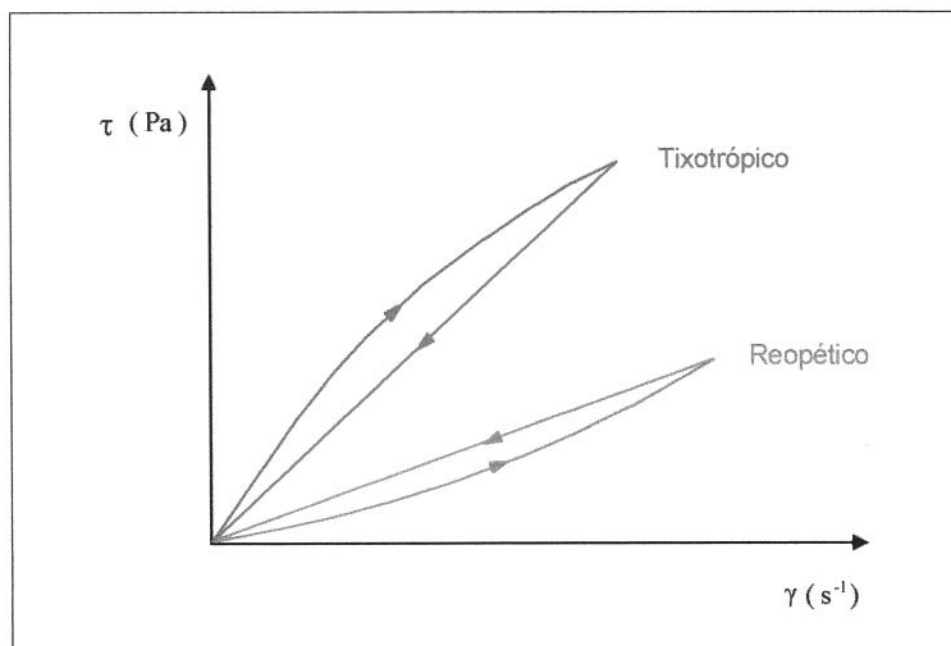


Figura 2.2-Curvas de Escoamento para vários tipos de fluidos dependentes do tempo.

2.4 MODELOS REOLÓGICOS

Os modelos reológicos são úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como concentração, temperatura, pH, índice de maturação, etc. Esse conhecimento é indispensável no controle de qualidade, controle intermediário em linhas de produção e no projeto e dimensionamento de equipamento e processos. Esses modelos podem ser isotérmicos ou não isotérmicos. No primeiro caso, descrevem comportamento do fluido a uma temperatura fixa, no último, incluem relações específicas, como funções da temperatura. Dependendo do modelo utilizado, possuem ou não a tensão inicial.

2.4.1 Modelo de Ostwald-De-Waele (Lei da Potência)

Para fluidos não-newtonianos (pseudoplásticos e dilatantes) é bastante utilizada a equação de Ostwald-De-Waele, também conhecida como Lei-da-Potência a 2 parâmetros, pela sua simplicidade e por ser facilmente manuseável na forma logarítmica.

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

ou

$$\log_{10} \tau = \log_{10} K + n \log_{10} \dot{\gamma} \quad (2.4)$$

onde:

K = índice de consistência;

n = índice de comportamento.

A viscosidade aparente é expressa como:

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = K\dot{\gamma}^{n-1} \quad (2.5)$$

A equação que representa o modelo newtoniano pode ser igualada ao caso particular da equação de Ostwald-De-Waele, com $n=1$ e o valor de K igual ao valor de η . Da Equação (2.5) observa-se que para valores de $n < 1$ a viscosidade aparente η_a decresce com o aumento do gradiente de velocidade, caracterizando o fluido como pseudoplástico, enquanto que no caso inverso, $n > 1$, é descrito o comportamento dos fluidos dilatantes.

2.4.2 Modelos que consideram a tensão inicial

Estes modelos são usados para fluidos que só iniciam o processo de escoamento quando a tensão de cisalhamento aplicada supera uma tensão inicial que é própria de cada um destes materiais.

2.4.2.1 Modelo de Bingham

$$\tau - \tau_0 = \eta_P \dot{\gamma} \quad (2.6)$$

onde:

τ_0 = tensão inicial

η_P = viscosidade plástica de Bingham

2.4.2.2 Modelo de Casson

O modelo de Casson tem sido usado para alimentos, particularmente para estimar a tensão inicial K_{oc} , conforme comentado por GEHRKE (1996).

Este modelo foi desenvolvido para escoamento de suspensão de partículas interagindo em um meio newtoniano. CASSON (1959) propôs a seguinte expressão matemática:

$$\tau^{1/2} = K_{oc} + K_c \dot{\gamma}^{1/2} \quad (2.7)$$

τ = Tensão de Cisalhamento

$\dot{\gamma}$ = Taxa de Deformação

K_{oc} = Tensão inicial

K_c = Viscosidade Plástica de Casson

O modelo de Casson tem sido adotado como método oficial para a interpretação dos dados de escoamento de chocolate pelo Instituto Internacional do Chocolate (RAO & RIZVI, 1986). Entretanto, MIZRAHI & BERK (1972) e RAO et alii (1981) mostraram que este modelo não se adapta a baixos valores de taxa de deformação quando aplicado para suco de laranja concentrado e concentrado de tomate (RAO & COOLEY, 1982).

VITALI (1981), calculou a tensão inicial por este modelo para ter uma estimativa de τ_0 na aplicação dos modelos de Mizrahi-Berk e Herschel-Bulkley. Isso é questionável pois, em baixas taxas de deformação, o valor da taxa inicial obtido por essa metodologia é maior do que aquele obtido experimentalmente, conforme mostram os resultados de TELIS & VIEIRA (1992).

2.4.2.3 Modelo de Herschel-Bulkley

O modelo de Herschel-Bulkley é uma forma modificada de Ostwald-de Waele, (RAO & COOLLEY, 1982), ou seja o que diferencia um do outro é a presença (no primeiro modelo) ou ausência (no último) do termo da tensão de cisalhamento inicial.

É um modelo análogo ao de Bingham, sendo representado pela equação mostrada abaixo:

$$\tau - \tau_{OH} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (2.8)$$

Onde:

τ_{OH} = tensão de cisalhamento inicial

K_H = índice de consistência

n_H = índice de comportamento do fluido

Esse modelo precisa ser resolvido através de regressão não linear, pois tem três parâmetros a serem determinados. Quando o valor de τ_{OH} for

conhecido, a resolução dessa equação pode ser feita através de regressão linear. O procedimento mais empregado é determinar experimentalmente τ_{OH} ou então usar o valor estimado pelo modelo de CASSON.

CRANDALL et alii (1982), utilizaram esse modelo para descrever o comportamento reológico de suco de laranja concentrado.

2.4.2.4 Modelo de Mizrahi-Berk

Obtido pela modificação da equação de Casson, foi proposto (MIZRAHI & BERK, 1972) para ser utilizado no estudo do escoamento de suco de laranja concentrado e suspensões de partículas interagindo entre si em um meio pseudoplástico.

Para descrever o comportamento reológico de suco de laranja concentrado, MIZRAHI & BERK (1972), desenvolveram uma equação reológica baseada no modelo de uma suspensão de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico. Esta proposta é uma modificação do modelo de Casson, que se reduz a este quando n_M é igual a 0,5.

$$\tau^{1/2} - K_{OH} = K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (2.9)$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação

K_M = índice de consistência

n_M = índice de comportamento do fluido

K_{OM} = raiz quadrada da tensão inicial

Os seus autores concluíram que este modelo representa melhor o comportamento do suco de laranja concentrado do que os modelos de Casson ou de Herschel-Bulkley.

2.5 MEDIDAS REOLÓGICAS

Para fluidos newtonianos a viscosidade é obtida através de uma única medida de tensão de cisalhamento e a correspondente taxa de deformação. Porém uma única medida não é suficiente para identificar um fluido como newtoniano. São necessários vários dados de tensão de cisalhamento e as correspondentes taxas de deformação, para então se avaliar o comportamento de um fluido e adotar um modelo de comportamento reológico.

Para isso são utilizados aparelhos conhecidos por reômetros, que podem apresentar diferentes configurações, nas quais as mais comuns são:

Sistemas Capilares

Sistemas Rotacionais

2.5.1 Reômetro Capilar

Neste tipo de sistema, o fluido escoar no interior de um tubo de seção circular, devido à diferença entre as pressões de entrada e saída do mesmo, que podem ser geradas pela gravidade ou outros meios mecânicos. A partir dos dados geométricos e experimentais, calcula-se a viscosidade do fluido.

Para fluidos newtonianos a viscosidade é dada pela expressão de Hagen-Poiseuille.

$$\mu = \frac{\left(\frac{D \Delta p}{4L} \right)}{\left(\frac{32Q}{\pi D^3} \right)} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.10)$$

Onde:

D = diâmetro interno do tubo

L = comprimento do tubo

Q = vazão

Δp = queda de pressão ao longo de L

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação

μ = viscosidade

τ = tensão de cisalhamento

Para fluidos não-newtonianos, independentes do tempo, a equação pode ser modificada para produzir:

$$\tau = \frac{D\Delta p}{4L} \quad (2.11)$$

$$\gamma = \frac{32Q}{\pi D^3} \quad (2.12)$$

$$\gamma = \frac{3}{4y} + \frac{1}{4} \frac{d(\ln y)}{d(\ln \tau)} \quad (2.13)$$

Um arranjo experimental do tipo capilar que é simples, de fácil operação e de custo bastante reduzido. Neste tipo de montagem, é muito importante certificar-se de que a relação L/D seja tal que os efeitos indesejáveis, principalmente de entrada e de saída, sejam desprezíveis. Na prática esse valor deve ser maior do que 1.000 (GASPARETTO, 1983). Para medidas exclusivamente de viscosidade aparente em materiais não newtonianos ou de viscosidade no caso dos newtonianos, são muito utilizados os viscosímetros capilares, por exemplo do tipo Cannon-Fenske.

2.5.2 Sistemas Rotacionais

A medida de viscosidade de um reômetro rotacional, baseia-se na determinação do torque necessário para manter constante a velocidade de rotação de um corpo que se encontra imerso ou em contato com o fluido (Reômetro Searle). Há também o caso em que se aplica um torque e mede-se a velocidade correspondente (Reômetro Couette). Porém o mais comum é o Reômetro Searle. Esse tipo de reômetro pode apresentar várias configurações,

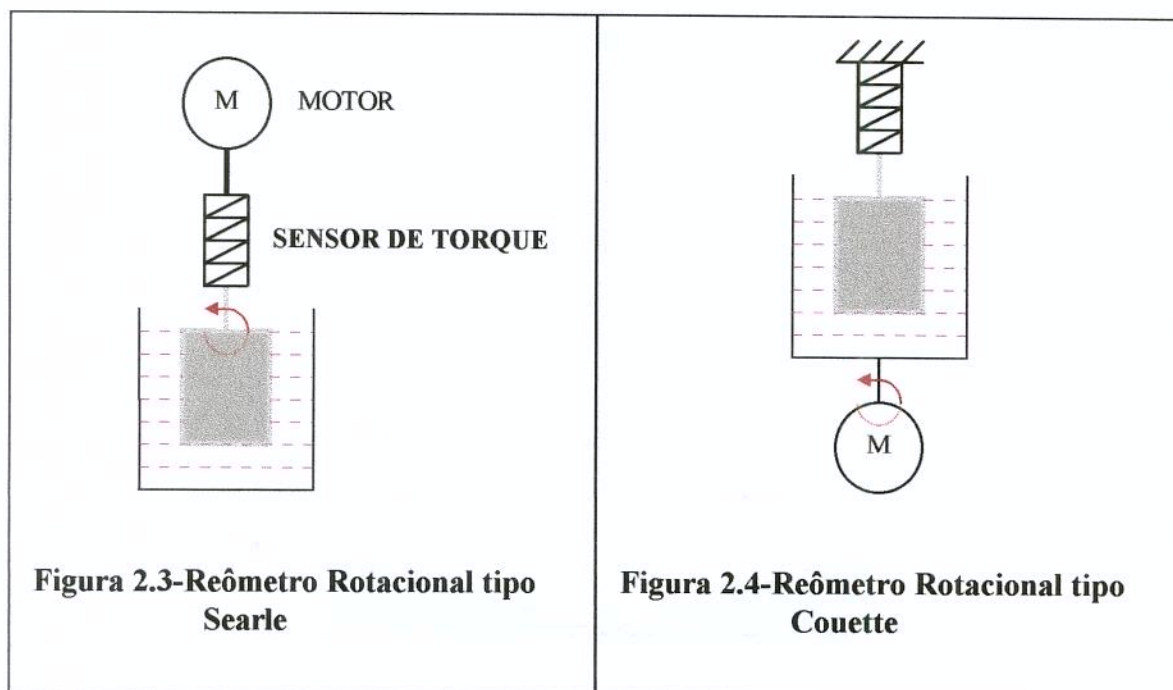
dependendo da geometria dos corpos rotacionais. Dessa forma, os reômetros rotacionais podem ser de cilindros concêntricos, cone e placas, placas planas paralelas etc.

As principais vantagens na utilização dos reômetros rotacionais, quando comparado aos capilares é que esses equipamento permitem o uso de pequenas amostras de produtos e podem fornecer uma medida contínua da relação taxa de deformação e tensão de cisalhamento, e uma faixa mais ampla da taxa de deformação, permitindo também a análise mais adequada de comportamentos dependentes do tempo.

2.5.3 Reômetro Rotacional de Cilindro Concêntrico

Estes reômetros mantêm uma velocidade de rotação constante a certa taxa de deformação e a tensão de cisalhamento é obtida através da medida do torque no cilindro de medida, que pode ser o fixo ou o rotativo. Eles são projetados para causar cisalhamento no fluido localizado entre dois cilindros concêntricos sendo que um gira e o outro permanece estacionário permitindo-se obter curvas reológicas, pelo estabelecimento de várias velocidades angulares do cilindro rotativo e do torque correspondente detectado no cilindro de medida.

Na Figura (2.4) o cilindro interno é suspenso por uma haste fixada num suporte, de modo que esse cilindro permaneça fixo enquanto o cilindro externo gira em velocidade angular estabelecida.



2.5.4 Reômetro Rotacional de Cone e Placa

Este equipamento consiste essencialmente de uma placa plana horizontal e um cone invertido, cujo vértice encontra-se muito próximo à placa. Melhores resultados são obtidos para pequenos ângulos entre a placa e o cone, para que seja válido a suposição $\text{tg}\alpha \cong \alpha$. Segundo SCHRAMM (1981), o valor de α deve ser inferior a 2° (ou 0,0349 rad).

A vantagem deste sistema em relação ao de placa paralelas é que a taxa de deformação é constante ao longo da superfície do cone, portanto cada ponto de medida corresponde a um valor de $\dot{\gamma}$ e não a uma média.

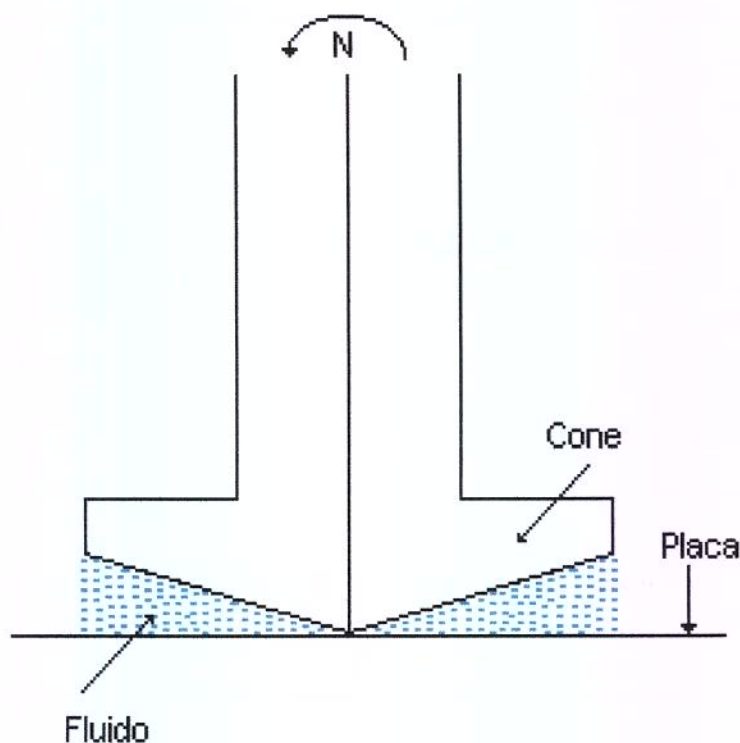


Figura 2.5-Diagrama esquemático do reômetro de cone e placa

LOZANO & IBARZ (1994) utilizaram o reômetro de cone e placa Figura 2.5 para medir o comportamento reológico das polpas concentradas de pêsego e ameixas, onde a variação da tensão de cisalhamento com o tempo foi determinada à uma taxa de deformação de $1,0 \text{ s}^{-1}$.

2.5.5 Reômetro Rotacional de Placas Paralelas

Este tipo de reômetro é constituído de duas placas paralelas em forma de disco. A distância entre as placas pode ser variada, obtendo-se diferentes faixas de taxa de deformação. Maiores taxas de deformação são alcançadas com placas de maior diâmetro e menor distância entre elas.

Da mesma maneira que o sistema de cilindros concêntricos, qualquer uma das duas partes pode girar, para medir o torque necessário.

A Figura 2.6 representa um esquema deste tipo de reômetro.

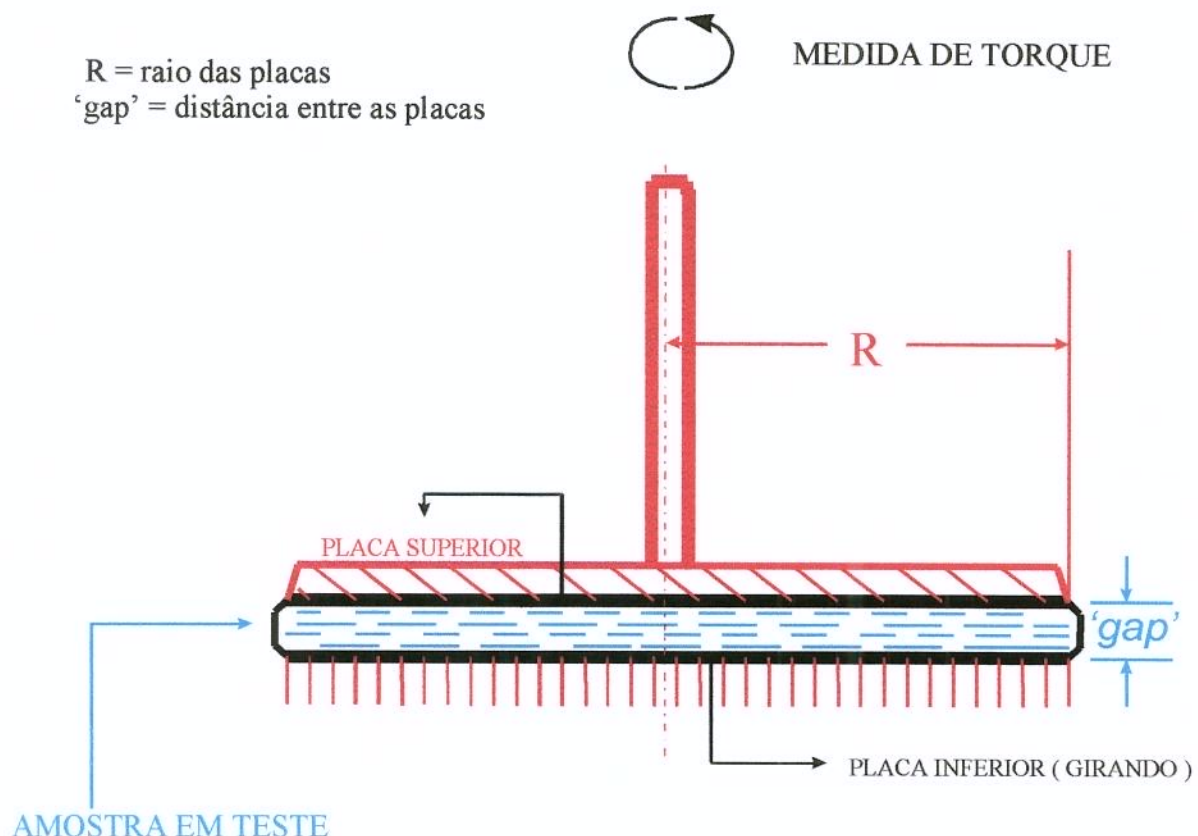


Figura 2.6-Sistema de placas paralelas pq 30 e pq 45 do reômetro Haake Rotovisco RV-20.

2.5.6 Reômetro de Esfera Descendente

Este é um reômetro com um tubo cilíndrico de vidro contendo a amostra. É medido o tempo de queda de uma esfera de aço. Deve ser assegurado que a velocidade da esfera seja constante na região de medida. São disponíveis 6 esferas de diferentes diâmetros.

Nas aplicações é difícil de se definir a tensão de cisalhamento e taxa de deformação. É apropriado apenas para medidas de fluidos newtonianos (FORMAGGIO, 1982).

2.6 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DOS SUCOS DE FRUTAS

A viscosidade e consistência dos sucos e purês de frutos são características físicas importantes, pois influem no desenvolvimento do processo de elaboração e na aceitação do produto pelo consumidor. As características reológicas específicas de sucos e purês, e a explicação das mudanças que se produzem no fluxo durante determinadas operações do processo, requerem o conhecimento da relação entre as características químicas, físicas e estruturais, no comportamento reológico.

A problemática das análises e da pesquisa das causas que definem a viscosidade e consistência dos produtos fluidos derivados de frutas são originais desde o começo da industrialização. Até hoje, a medida da viscosidade foi, em grande parte, empírica. A dificuldade inerente na adaptação dos modelos reológicos teóricos para identificar os comportamentos reais, se soma à carência de uma instrumentação adequada e portanto, a falta de uma metodologia analítica idônea.

Os sucos, purês e concentrados de frutas (incluindo os de tomate) formam um grupo de produtos de características similares. Estão constituídos por uma fase dispersante, o soro, na qual se encontram açúcares, ácidos, pectinas solúveis e proteínas. A outra fase é a dispersa, composta por partículas de diferente forma e volume, procedentes dos tecidos das frutas (JIMENES & DURAN, 1979)

Para a manipulação destes produtos na indústria, é necessário conhecer suas propriedades reológicas, especialmente quando se trata de submetê-los às operações como: transporte, homogeneização, esterilização e concentração. As informações sobre as propriedades reológicas destes produtos são incompleta do ponto de vista prático, pois a sua natureza complexa e diversificada, dificulta a generalização dos dados obtidos para um determinado produto.

Segundo (TELIS & GASPARETTO, 1993) existem pouquíssimos dados sobre a reologia, propriedades térmicas e parâmetros de projetos para sucos concentrados brasileiros, fazendo com que a maioria dos projetos de equipamentos utilizados em sua manipulação sejam baseados em estimativas, por vezes grosseiras, de suas propriedades e comportamento.

Para correlacionar os parâmetros reológicos com as características físico-químicas dos componentes de um produto, a abordagem empírica tem sido preferida devido à disponibilidade de metodologia prática que permite apenas o estabelecimento de modelos de comportamento reológico que são mais úteis para aplicações no cálculo de equipamento. Os dados de escoamento são coletados de amostras preparadas variando-se uma propriedade de cada vez e uma equação empírica é derivada através de técnicas de ajuste de curvas. A essência dessa metodologia está na otimização de número de variáveis, se há muitas o experimento pode se tornar muito complicado, se poucas a equação resultante pode ser inadequada, conforme comentado por AMSTALDEN (1996).

Segundo QUEIROZ (1998), as referências que tratam da reologia de derivados de frutas têm estabelecido os elementos principais que respondem pelo comportamento reológico destes produtos. Estes elementos seriam: a temperatura, a concentração de sólidos solúveis e o teor de pectinas. A influência dos sólidos insolúveis na reologia dos sucos de frutas tem sido muito estudada. Em geral tais materiais contendo sólidos insolúveis, comporta-se como pseudoplásticos.

Neste estudo foram encontradas escassas referências, na literatura, tratando da reologia de sucos não concentrados de frutas sob o efeito de reduções no teor e nas dimensões de seu particulado suspenso. Diante disso o item que se segue, tratando da reologia de sucos e pures de frutas, foi elaborado a partir de alguns dos trabalhos mais citados na literatura e que, apesar de abordarem o tema de forma diversificada, definem o universo onde o presente estudo se acha inserido.

De acordo com VARSHNEY & KUMBHAR (1978) a reologia ou consistência de líquidos newtonianos semelhantes a água, leite ou suco de frutas clarificado pode ser caracterizada simplesmente, pelo termo viscosidade.

Verifica-se experimentalmente que muitos líquidos de origem biológica de moderadas a altas concentrações tais como soluções ou suspensões de proteínas ou polissacarídeos não obedecem a Lei de Newton da viscosidade.

Purês de frutas e vegetais particularmente, onde quantidades substanciais de material particulado insolúvel estão presentes, são altamente não-newtonianos (NAGY et alii, 1993).

RAO et alii (1974) apresentaram exemplos deste comportamento: Purês de banana, goiaba, manga e papaia são fluidos não-newtonianos, pseudoplásticos e obedecem a equação reológica da lei da potência (Equação 2.3), apresentada em 2.4.1.

HARPER (1960) afirma que a polpa de pêssego e os sucos de pêssego concentrados têm características pseudoplásticas.

SARAVACOS (1968) trabalhou com purês de damasco, de pêssegos, de peras e de maçãs e concluiu que todos estes materiais apresentaram comportamento pseudoplástico.

Resultados semelhantes foram obtidos por TRIFIRÒ et alii (1987), que escreveram que o suco e o purê de frutas são considerados, sob o ponto de vista reológico como fluidos pseudoplásticos e o afastamento do comportamento newtoniano é determinado pelo conteúdo de polpa do produto, acrescentando que sucos despolpados ou com pouca polpa se comportam como newtonianos e quando se aumenta o conteúdo de polpa, aumenta o caráter pseudoplástico. Uma ação enzimática ou mecânica que modifique a estrutura da polpa terá repercussão no seu comportamento reológico.

Na mesma linha de trabalho, HOLDSWORTH (1971) afirma que a consistência aumenta rapidamente com o acréscimo de sólidos solúveis.

FODA & McCOLLUM (1970) identificaram diferentes influências, sobre a viscosidade de suco de tomate, dos constituintes solúveis e insolúveis presentes. Segundo estes autores, uma maior redução na viscosidade do suco por extração de sólidos com água, em comparação com a extração por etanol,

indica que os polímeros de alto peso molecular associados aos sólidos insolúveis, contribuem muito com a viscosidade. Afirmam também, que as proteínas contidas no suco, aparentemente pouco contribuem com a viscosidade de derivados de tomate.

WHITTEMBERGER & NUTTING (1957), trabalhando também com suco de tomate, analisaram o efeito da estrutura da célula e afirmam que das estruturas insolúveis presentes nas células da polpa, as paredes celulares são as mais importantes no que diz respeito a consistência do produto. As paredes celulares, presentes em suspensão na fase líquida dos sucos de frutas, induzem uma complexidade reológica a estes materiais de difícil equacionamento (RAO, 1977).

Estas paredes celulares representam a maior parte dos sólidos insolúveis presentes nos sucos de frutas, sendo denominada por alguns autores de Fibra Alimentar Insolúvel, FAI, são compostas em sua maior parte por celulose, hemicelulose e ligninas. ROEHRIG (1988) é uma boa referência para este assunto.

EZELL (1959) trabalhando com suco de laranja concentrado, concluiu que o aumento da viscosidade com a concentração é muito menos pronunciado do que com o teor de polpa. O autor trabalhou com suco variando o teor de polpa entre 9,5% e 15,5% para uma faixa de concentração entre 20° e 60°Brix. O suco contendo 9,5% de polpa apresentou viscosidade mais baixa para todos os níveis de concentração do que os demais sucos com teores de polpa iguais a 11,0% , 13,0% e 15,5%.

SARAVACOS (1970) estudando suco de uva contendo alguns sólidos suspensos (principalmente pectinas e tartaratos), verificou um comportamento newtoniano até 55°Brix. A 64°Brix o suco mostrou-se levemente pseudoplástico, o que foi atribuído às pectinas e tartaratos. O autor estudou ainda suco de laranja até 20°Brix, observando neste caso um comportamento newtoniano.

SAENZ & COSTELL (1986) trabalhando com derivados de limão obtiveram que sucos a 45°Brix clarificados e não clarificados, apresentaram comportamento newtoniano e não newtoniano, respectivamente.

IBARZ et alii (1987) trabalhando com suco de pera clarificado e despectinizado observaram que para concentrações entre 30° Brix e 70°Brix e temperaturas entre 5°C e 60°C o material apresentou comportamento newtoniano.

MANOHAR et alii (1991), estudando tamarindo (*Tamarindus indica* L.) na faixa de 7°Brix a 62°Brix, observaram que o suco apresentava comportamento newtoniano até 19°Brix e natureza pseudoplástica acima de 23°Brix. IBARZ et alii (1992), analisando o comportamento do suco de groselha negra (*Ribes nigrum* L.) entre 35° e 64,5°Brix nas temperaturas de 5° C a 60°C, verificou que seu escoamento seguia o padrão newtoniano em todos os casos.

2.7 INFLUÊNCIA DAS PECTINAS

Pectinas são derivados das “substâncias pécticas”, que são os maiores componentes estruturais das paredes celulares das plantas, funcionando como substâncias de ligação e revestimento dos espaços intercelulares. Assim como todos os polissacarídeos, as pectinas apresentam a propriedade de reter moléculas de água, formando soluções coloidais e controlando a atividade de água de um sistema; ou seja, tem a função de agente espessante ou gelificante, estabilizantes de emulsões.

As substâncias pécticas estão presentes nas paredes celulares das plantas, onde funcionam como substâncias de ligação e revestimento nos espaços intercelulares. São identificadas também, ao lado de polissacarídeos algáceos e algumas hemiceluloses solúveis, como Fibra Alimentar Solúvel, FAZ.

Devido a presença de substâncias pécticas, a viscosidade aumenta, levando a dificuldades na clarificação e concentração dos sucos (NAGY et alii, 1993).

O conteúdo de pectina tem influência importante nas características da parede celular. As paredes saturadas de pectina são aderentes e capazes de reter apreciáveis quantidades de água, enquanto que paredes livres de pectina são quebradiças, friáveis e menos hidrofílicas. Sob condições similares, paredes contendo pectina produzem sucos mais espessos (WHITTEMBERGER & NUTTING, 1957).

HOLDSWORTH (1971) afirma que o conteúdo de pectina em sucos e purês de várias frutas aparenta ser o principal responsável pelas características não-newtonianas, incluindo efeitos de tempo-dependência. Como exemplo cita suco de maçã despectinizado, que apresenta comportamento newtoniano, enquanto que o suco de maçã turvo mostra comportamento não-newtoniano e pseudoplástico para concentrações maiores que 50°Brix.

Segundo QUEIROZ (1998), as pectinas são consideradas como responsáveis pela principal contribuição na consistência do suco de tomate.

WATSON (1968), trabalhando com purê de damasco, observou que o suco concentrado apresenta um comportamento não-newtoniano mais acentuado do que o purê. A adição de pectinase resultou numa redução contínua do valor do índice de consistência (K) com o tempo.

SARAVACOS (1970) afirma que suco de maçã despectinizado comporta-se como fluido newtoniano para todas as concentrações (10° Brix a 80°Brix) na faixa de 20°C a 70°C. Sucos turvos, contendo quantidades significantes de partículas suspensas e coloidais mostraram-se mais viscosos que sucos despectinizados. Neste caso, o suco comportou-se como newtoniano abaixo de 50°Brix e para concentrações maiores comportou-se como fluido pseudoplástico.

SAENZ & COSTELL (1986) estudaram o comportamento reológico de três produtos derivados de limão: suco clarificado e concentrado a 62°Brix; suco não clarificado e concentrado a 45,5°Brix; triturado de limão a 9,5°Brix.

O suco clarificado a 62°Brix apresentou escoamento newtoniano apenas entre 7° C e 50°C. O comportamento do suco não clarificado foi do tipo plástico para a temperatura de 7°C e pseudoplástico para temperaturas entre 22°C e 50°C. O triturado se comportou como fluido plástico para temperaturas entre 7°C e 50°C. Para valores de tensão de cisalhamento superiores à tensão de escoamento estes dois últimos se comportaram como pseudoplásticos, o que confirma segundo os autores, o papel que as pectinas e a polpa suspensa tem nas características de comportamento deste tipo de produto.

CASTALDO et alii (1984), estudando purê de maçã observaram que o uso de pectinases e celulasas influem decisivamente nas propriedades reológicas do produto, diminuindo a tensão inicial (τ_0) e o índice de consistência (K).

O mesmo foi observado por GHERARDI et alii (1985) estudando purê de pêra, os quais notaram que as mudanças no comportamento reológico seguiram-se a alterações no conteúdo de pectinas, polpa e sólidos insolúveis.

GARCIA et alii (1974), observaram que purês de frutas ao serem clarificados alteravam seu comportamento reológico, passando de pseudoplásticos a newtonianos.

TANGLERTPAIBUL & RAO (1987) estudando propriedades de escoamento de concentrado de tomate afirmam que o conteúdo de pectina no suco de tomate teve pequena influência sobre o índice de comportamento (n). Afirmam que o valor de (n) não varia com o conteúdo de pectina.

MANOHAR et alii (1990) estudaram propriedades de escoamento de polpa de manga e afirmam que o conteúdo de pectina teve um efeito pronunciado sobre a viscosidade. O índice de comportamento e a energia de ativação não variaram muito com o conteúdo desta pectina. Uma redução de 5,7% no conteúdo de pectina reduziu a viscosidade em aproximadamente 50%.

IBARZ et alii (1992) trabalharam com suco de pêssago despectinizado e clarificado nas concentrações de 40 a 69°Brix e temperaturas de 5 a 45°C e 60°C, nas quais observaram comportamento newtoniano das amostras em todos os casos devido, no seu entender, a ausência de pectinas e polpa suspensa.

IBARZ et alii (1996) constatou comportamento newtoniano no suco comercial de maracujá, à várias temperaturas. Segundo os autores, a baixa concentração de sólidos no suco foi responsável por tal comportamento.

2.8 INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE MEDIDAS NA REOLOGIA

Segundo PELEGRINE (1999), provavelmente, a dificuldade frequentemente encontrada na reprodução de muitos dados experimentais encontrados na literatura pode ser explicada através do uso dos diferentes sistemas de medidas utilizados.

GEHRKE (1996), mediu a viscosidade dos sucos concentrados de caju, laranja, limão e maracujá, com objetivo de comparar resultados obtidos nos sistemas de medidas de placas paralelas e cilindros concêntricos, e observou uma diferença no valor da viscosidade aparente para dois reogramas, para uma mesma temperatura e concentração.

SMITH et alii (1984) afirmam que quando um fluido não newtoniano é reologicamente testado através de viscosímetros de cilindros concêntricos, existe um erro de medida relacionado com a magnitude do espaço vazio existente entre os cilindros externo e interno. Segundo os autores, o valor desse erro se aproxima de zero, conforme a razão entre os raios dos dois cilindros se aproxima da unidade.

Das observações acima, pode-se concluir como é importante a indicação de um sistema de medidas utilizado em testes reológicos tanto a minimização dos erros como também as comparações e reproduções dos dados.

2.9 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA

A temperatura é um dos fatores que mais afetam a viscosidade das polpas de frutas, já que a maioria destas apresentam-se na forma de sólidos dispersos em meios líquidos. Um aumento de temperatura neste caso faz com que a viscosidade da fase líquida diminua, aumentando o movimento das partículas em suspensão, diminuindo, conseqüentemente, a viscosidade da polpa.

GINER et alii (1996), ao analisar a influência da temperatura e concentração na reologia do suco clarificado de cereja também notaram que um aumento na temperatura resultou no decréscimo da sua viscosidade; efeitos opostos na viscosidade do mesmo suco foram notados conforme o teor de sólidos solúveis aumentou.

IBARZ et alii (1987) analisaram o comportamento reológico dos sucos de maçã e pêra, com teor de sólidos solúveis ao redor de 70° Brix e a

diferentes temperaturas, na faixa de 5 a 60°C, observando um comportamento newtoniano para todos os casos, além de um considerável decréscimo na viscosidade à temperaturas mais elevadas. Efeito similar foi observado pelo mesmo autor, quando foi analisado o comportamento reológico do suco clarificado de pêsego, na mesma faixa de temperatura.

SAENZ & COSTELL (1986) obtiveram, em relação a produtos extraídos de limão clarificados e não clarificados, que quanto maior for a temperatura menor será a viscosidade, menor será a consistência e menor a tensão de escoamento para suco de limão clarificado e não clarificado, sendo que a variação da viscosidade com a temperatura é do tipo exponencial. O efeito da temperatura sobre o suco clarificado foi maior do que sobre o suco não clarificado, parecendo indicar que a presença de polpa e pectinas diminuem a influência da temperatura no comportamento reológico destes produtos.

VITALI & RAO (1984) também trabalharam com a interação temperatura-constituintes de sucos e concluíram que a viscosidade aparente e o índice de consistência são mais sensíveis ao conteúdo de polpa para temperaturas mais altas. Ao contrário, os coeficientes que representam os valores limites para a viscosidade aparente e para o índice de consistência no caso de conteúdo de polpa zero isto é, soro, decresceram com o incremento da temperatura.

VARSHNEY & KUMBHAR (1978) estudaram o escoamento de sucos de abacaxi e laranja e observaram que as curvas de escoamento do suco original de abacaxi a 7°Brix mostraram padrões newtonianos a 30°C e apresentaram algum desvio a 45°C, acusando pequena dilatância. A

pseudoplasticidade aumentou com o aumento da concentração. Mantendo a concentração do suco de abacaxi, com o aumento da temperatura obtiveram um decréscimo no índice de comportamento (n) exceto para 7°Brix. Também observaram um decréscimo no fator de consistência. Foi observado um comportamento newtoniano apenas a 13°Brix e 45°C. Em todas as demais concentrações e temperaturas observaram um comportamento pseudoplástico. Afirmam ainda que como a concentração cresceu o coeficiente de consistência também aumentou, mas o índice de comportamento de fluxo decresceu. Os valores de (n) índice de comportamento para suco de abacaxi foram mais altos que os de suco de laranja em condições idênticas, indicando pseudoplasticidade mais pronunciada no suco de abacaxi. Os autores presumem que a pseudoplasticidade foi provocada pela polpa fina suspensa nos sucos.

2.10 INFLUÊNCIA DAS PARTÍCULAS SUSPENSAS NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO

Na descrição de WHITTEMBERGER & NUTTING (1957) a consistência depende largamente da quantidade, forma, grau de subdivisão e caráter das paredes celulares presentes. Vários fatores influenciam a quantidade de paredes celulares no suco, dentre eles estão a maturidade, diferenças de espessura das paredes celulares e maneira de extrair ou fragmentar os frutos para fazer o suco.

HAND et alii (1955) estudando viscosidade de suco de tomate verificaram que larga faixa de viscosidades pode ser obtida por ajuste da despulpadeira. A despulpadeira mostrou ter grande influência no controle da viscosidade. Estudo microscópico indicou que a maior parte da viscosidade é

devida principalmente ao número e forma das partículas suspensas. Dizem estes autores que partículas alongadas tem maior efeito sobre a viscosidade que partículas esféricas. Assim, fragmentação de partículas celulares com forma predominantemente esférica em um suco, por fragmentação parcial, aumentaria a viscosidade.

Embora dois sucos possam conter quantidades idênticas de paredes celulares eles podem ter diferentes consistência por causa de diferentes configurações ou arranjo estrutural das paredes (QUEIROZ,1998)

Em geral paredes de forma laminar ou em forma de bastão ou ainda fragmentadas oferecem mais resistência ao escoamento e dão sucos com estruturas mais estáveis do que paredes esféricas. A irregularidade da forma da parede celular depende muito do tratamento mecânico nas paredes recebido durante a manufatura do suco (WHITTEMBERGER & NUTTING, 1957).

SARAVACOS (1970) estudando purês de pêra, pêssego e maçã, afirma que a viscosidade depende principalmente da concentração, tamanho e forma das partículas suspensas sendo a contribuição do soro, para a referida propriedade, relativamente pequena, exceto em purês concentrados.

WHITTEMBERGER & NUTTING (1957) já haviam obtido resultados semelhantes: a consistência de suco de tomate depende em parte da sua concentração química e em parte da sua estrutura física. Constataram que a consistência dos sucos variou com a estrutura dos constituintes insolúveis. Sucos contendo quantidades variáveis de paredes celulares mostraram grande incremento na consistência, enquanto que sucos com numerosa quantidade de grânulos insolúveis, mas sem a presença de paredes celulares, foi pouco

afetado. Em seu trabalho o suco de tomate foi homogeneizado, transformando partículas dissolvidas esféricas em partículas com forma alongada e reduzindo seu tamanho, o que provocou incremento na consistência do suco. Os resultados indicam a importância de estruturas celulósicas tanto na manutenção da consistência como no aumento desta após a homogeneização.

Para uma mesma temperatura a magnitude do índice de comportamento (n) decresceu com o incremento no conteúdo de polpa, isto é, o incremento no conteúdo de polpa tornou as amostras mais pseudoplásticas. Os autores atribuem o fenômeno possivelmente ao incremento na interação partícula-partícula, partícula-soro e competição por hidratação pela água disponível, da polpa e de vários solutos. O incremento no índice de consistência também seria devido a estas hidratações (VITALI & RAO, 1984).

JINESCU (1974), afirma que em soluções de partículas de quartzo suspensas em água, com diâmetro maior que 10 microns, a viscosidade aumenta linearmente com o diâmetro da partícula.

MISSAIRE et alii (1991) trabalhando com maçã, obtiveram que a magnitude da tensão de escoamento de suspensões de polpa de maçã aumentou com o incremento do conteúdo de polpa e a tensão de escoamento das suspensões aumentou com o incremento no tamanho das partículas, em concordância com os resultados a respeito das suspensões não alimentícias citadas por JINESCU (1974).

HARPER & EL SAHRIGI (1965) estudando propriedades microestruturais de suspensões densas de esferas com diâmetro maior que 20

nm afirmam que o comportamento microestrutural de suspensões coloidais depende do tamanho das partículas, estado de agregação e fração do volume.

QIU & RAO (1988), trabalhando com compota de maçã homogeneizada e partículas com uma grande faixa de distribuição de tamanhos mostraram que a tensão de escoamento deste produto aumenta com o decréscimo no tamanho médio das partículas, resultado oposto ao relatado por JINESCU (1974). Os autores atribuem a diferença nos resultados ao fato de se ter produtos estruturados e não estruturados.

TRIFIRÒ et alii (1987) examinaram a influência do conteúdo e do tamanho de partículas suspensas sobre as propriedades reológicas em purê de damasco e concluíram que o incremento no tamanho da partícula conduzia a um progressivo decréscimo no valor do índice de consistência (K) e um incremento no índice de comportamento (n). Ao contrário, o efeito do tamanho das partículas decresceu consideravelmente com o decréscimo da concentração de partículas em suspensão e quase pareceu ocorrer uma inversão da dependência porque ao se aumentar o diâmetro da partícula, o índice de consistência (K) tendeu a um leve aumento e o índice de comportamento (n) a uma leve diminuição. Os autores acrescentam que as partículas que constituem a polpa tendem a formar agregados que resultam tanto mais estáveis quanto menores forem as dimensões das partículas. Afirmam também que o refinamento do purê tem um efeito amplo e oposto: de um lado aumenta a fluidez pela remoção de um certo percentual de polpa e de outro aumenta um pouco a viscosidade por causa da fragmentação mecânica da partícula.

COSTELL et alii (1982) estudando a reologia de purê de damasco afirmam que o índice de consistência (K) depende principalmente da percentagem de polpa e do tamanho médio das partículas suspensas; o grau de pseudoplasticidade, representado pelo valor do índice de comportamento (n), está muito relacionado com o tamanho médio das partículas da fase dispersa; a tensão inicial de escoamento (τ_o), depende das percentagens de polpa e de células rompidas, do tamanho médio das partículas, da acidez e do conteúdo de substâncias pécicas. A tensão de escoamento de Bingham (τ_b), do conteúdo de polpa, percentagem de células rompidas e da acidez; a viscosidade a um gradiente de deformação infinito (η_∞), depende da viscosidade do soro, do tamanho médio das partículas e da acidez. Os pesquisadores concluem: quanto maior é o tamanho médio das partículas suspensas, menor é o valor do índice de comportamento (n) e portanto o comportamento do purê é mais pseudoplástico.

Isto concorda com a teoria de que a pseudoplasticidade dos sistemas dispersos é o reflexo de uma alteração estrutural provocada pelo cisalhamento. Este cisalhamento produz uma ruptura progressiva na estrutura formada pelas partículas e macromoléculas até induzir que elas se orientem em sentido paralelo ao escoamento, resultados idênticos aos obtidos por (HOLDSWORTH, 1973).

A estreita relação entre índice de consistência (K) e o índice de comportamento (n), parâmetros que definem o caráter pseudoplástico do escoamento do purê de damasco, e a quantidade e características da polpa confirmam a teoria de que nos sistemas dispersos o caráter não newtoniano do

comportamento reológico está diretamente relacionado com as características da fase dispersa. Experimentalmente foi comprovado que a eliminação da polpa por centrifugação dá lugar a uma importante modificação reológica. Observou-se que o comportamento do produto resultante (soro) é newtoniano ou plástico de Bingham (COSTELL & DURAN, 1982b).

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Matéria prima e obtenção da polpa

A manga utilizada neste trabalho é de variedade Keitt e foi selecionada de um único lote proveniente da região sul de Minas Gerais. A manga foi selecionada entre as de melhor aspecto, levando-se em conta a aparência e o grau de maturação.

O teste de maturação foi realizado utilizando-se um texturômetro da marca Texture Analyser, modelo TA - TX2, com objetivo de padronizar a maturação da fruta. A escolha da ponta de prova e a profundidade de penetração na superfície da amostra foi feita de maneira a que os testes se aproximassem o máximo possível da avaliação realizada pelos dedos humanos quando se estima o grau de maturidade de uma fruta pela apalpação.

Dentre as pontas de prova disponíveis no equipamento, foi escolhida um ponta circular plana com $1,0\text{cm}^2$ de área, semelhante, em forma e área de contato, a um dedo humano. No teste é fixada uma penetração de 5mm em um número total de 10 exemplares inteiros com casca e verifica-se a força necessária para provocar esta penetração. A manga selecionada foi lavada, descascada e removido o caroço.

A manga foi processada em despulpadeira Figura (3.1) com tela de 1,6mm de abertura. Essa abertura foi escolhida visando-se um máximo rendimento na extração da polpa, conforme prática industrial, o que produziu um polpa bem homogênea.

A polpa foi para um congelador de placa, visando um congelamento rápido do material para evitar a formação de grandes cristais de gelo na superfície e danificação das estruturas celulares, além de inibir ações enzimáticas. Após quatro horas, o material foi retirado e embalado à vácuo em sacos de polietileno para diminuir o contato com o ar. O produto embalado foi armazenado em freezer horizontal a -20°C .

Parte da polpa integral foi centrifugada, parte despectinizada, e o restante conservado na sua forma integral, para a realização dos testes reológicos. Dentre as etapas de produção da polpa de manga, o estudo reológico é o de maior interesse nesta pesquisa. Isto porque os equipamentos envolvidos no processamento como: bombas, trocadores de calor, sistemas de filtração e as próprias tubulações, tem que ser dimensionadas levando em consideração o comportamento reológico do material. Certamente as características organolépticas do produto também demandam o estudo do seu comportamento reológico, mas este não é o objetivo deste trabalho.

O fluxograma para obtenção da polpa de manga utilizada neste trabalho está na Figura (3.2).

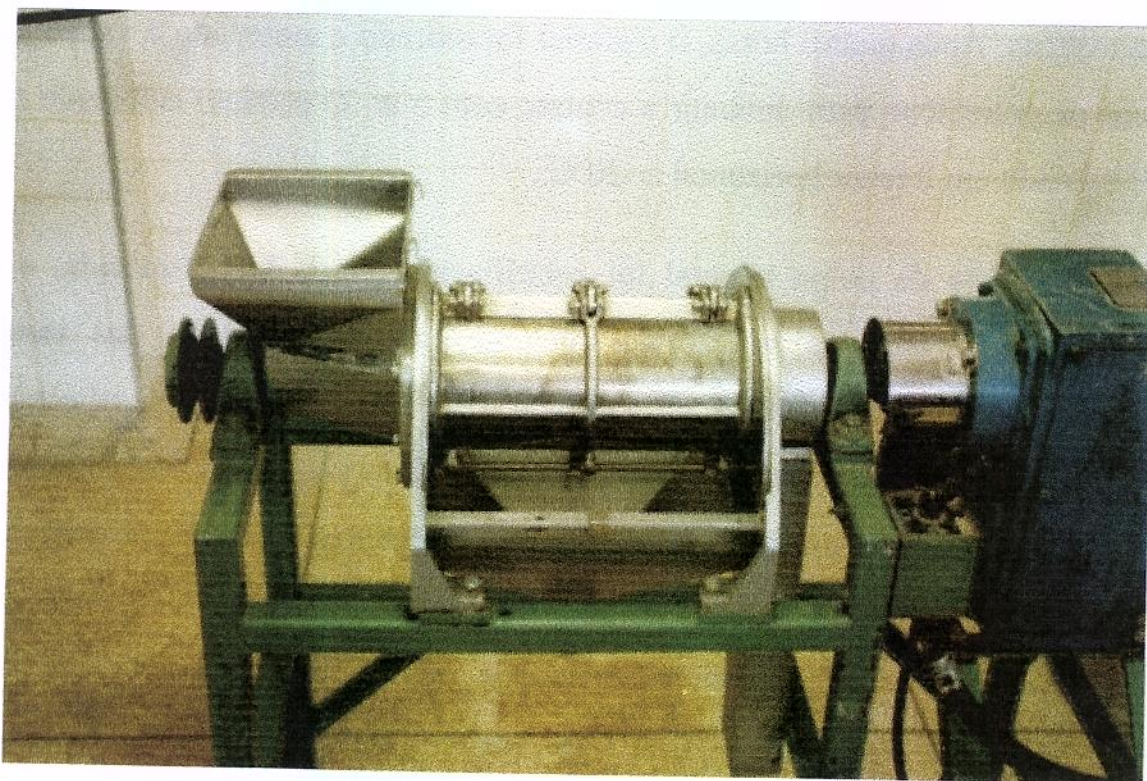


Figura 3.1-Despolpadeira utilizada na obtenção da polpa de manga

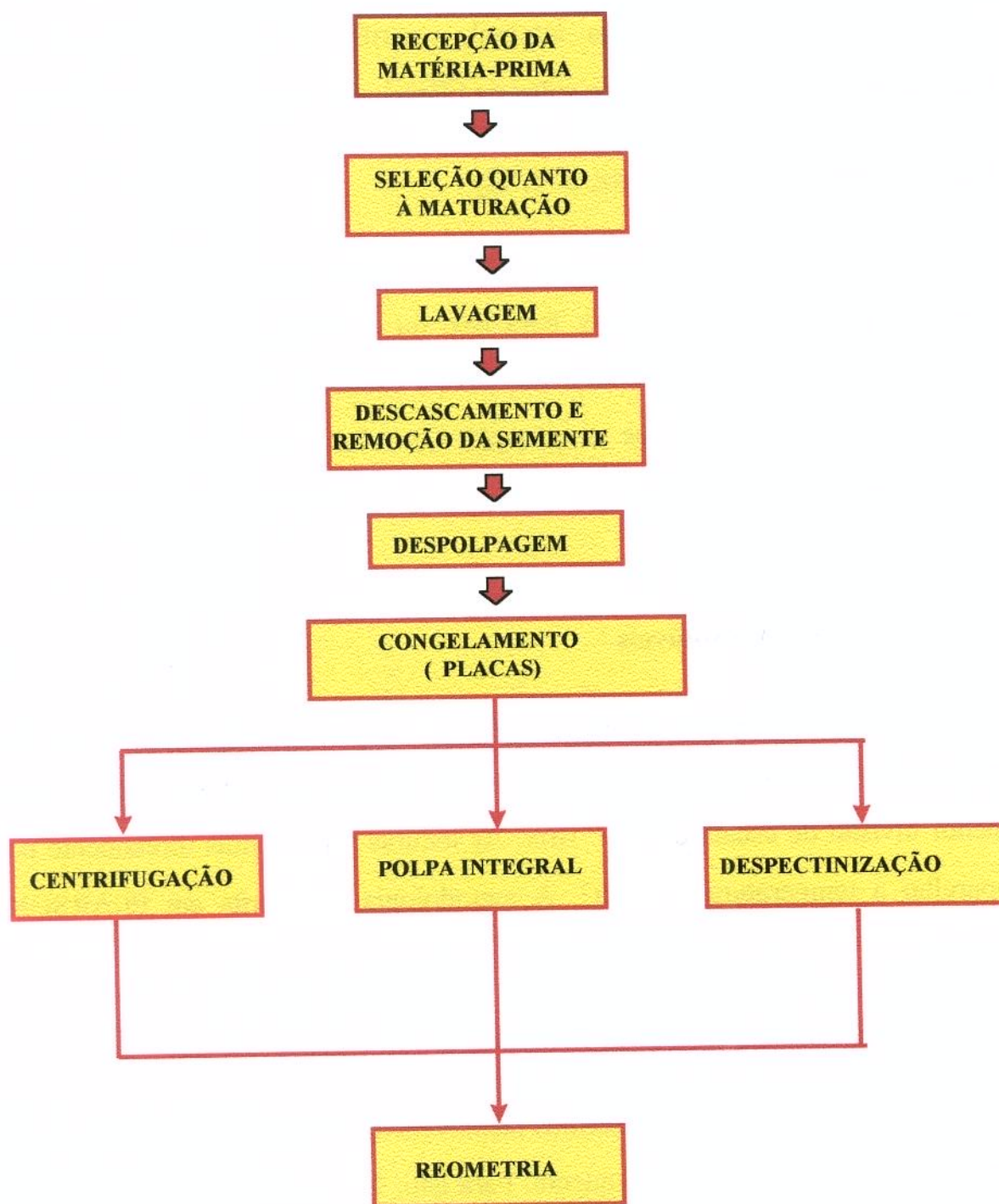


Figura 3.2 - Fluxograma para obtenção da polpa de manga

3.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA POLPA

Na polpa de manga integral, centrifugada e despectinizada foi determinado: pH, teor de sólidos solúveis (°Brix), pectina e sólidos insolúveis.

3.2.1 pH (método Adolfo Lutz, nº 4.7.2)

O pH da polpa de manga foi determinado segundo método Adolfo Lutz por processo eletrométrico. Para isso foi utilizado um pHmetro, marca Mettler Toledo, modelo 320 com divisão na escala de 0,01. O aparelho foi calibrado usando-se soluções tampão pH 4,0 e 7,0 e em seguida foi feita a leitura direta do pH da polpa, com a imersão do eletrodo no béquer contendo a amostra.

3.2.2 Teor de sólidos solúveis

A determinação do teor de sólidos solúveis foi feita em termos de brix em refratômetro de bancada, da marca Warszawar, modelo RL3, com menor divisão de escala de 0,5 °Brix. As leituras foram feitas diretamente no aparelho à temperatura de 24°C. A metodologia é descrita em PEARSON (1973).

3.2.3 Teor de sólidos insolúveis (Método Adolfo Lutz, nº 13.6.4)

A análise do teor de sólidos insolúveis da polpa foi feita por filtração da amostra dissolvida em água quente. Para isto, 200ml de água quente (50°C) foram adicionadas à 50gramas de polpa, em seguida a mistura foi aquecida até ebulição. Após manter em ebulição por 20 minutos, a amostra foi filtrada em

papel de filtro e deixada em estufa a 100-105°C. Em seguida o papel de filtro foi pesado.

3.3 CENTRIFUGAÇÃO

Parte da polpa de manga foi centrifugada para a remoção das partículas em suspensão. Para este fim, utilizou-se centrífuga da marca Sorvall Instruments, modelo RC5C, com rotor SS-34. A polpa foi centrifugada a 15000 rpm durante 40 minutos, equivalente a 2G, condição esta para reduzir o teor dos sólidos insolúveis a quase zero. Após a centrifugação da polpa, foi feita a determinação de teor de sólidos insolúveis da mesma, sendo menor que 0,04mg/g conforme Tabela (4.1) e portanto desconsiderado.

3.4 DESPECTINIZAÇÃO

A polpa de manga foi despectinizada, usando-se a enzima Pectinex 3XL (com temperatura ótima de 50°C e pH ótimo de 4,5), fabricada pela Nordisk S/A. A pectina foi adicionada à polpa integral a 50°C na proporção de 1% em volume, com agitação de 50 minutos, condições ideais, segundo o fabricante.

3.5 REOMETRIA

Foi estudado o comportamento reológico da polpa de manga nas temperaturas de (10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C e 60°C), nas formas integral, centrifugada e despectinizada e sólidos solúveis correspondente a 16,6°Brix.

As medidas reológicas foram feitas no reômetro Haake Rotovisco modelo RV - 20. A escolha desse equipamento deveu-se à possibilidade de

obter um controle eficiente da temperatura de ensaio uma vez que a quantidade da amostra é pequena. O reômetro Haak Rotovisco é conectado a um micro computador para controlar sua operação, registrando a cada 2,4s os dados de temperatura, tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente. Os experimentos foram feitos em triplicata utilizando-se para cada repetição uma nova amostra, igual à anterior, para evitar possíveis efeitos de tempo. O tempo de cada corrida foi de 4min, completando um total de 20 pontos, sendo 2min. para velocidade de rotação crescente e 2min. para a decrescente. Segundo recomendações do fabricante, para garantia de temperatura, a amostra foi deixada em repouso no reômetro por um minuto, antes de iniciar cada corrida.



Figura 3.3-Reômetro Haake Rotovisco, modelo RV - 20.

Os sistemas de medidas utilizados para cada tipo de amostra foram os cilindros concêntricos e de placas paralelas, descritos a seguir.

3.5.1 Reômetro de Cilindros Concêntricos

O sistema utilizado no experimento foi com cilindros concêntricos com 10ml da amostra para a realização dos testes. Neste sistema de medidas, o máximo valor da taxa de deformação alcançada foi de 300 s^{-1} , com o espaço anular entre os cilindros medindo 1,0mm. As figuras 3.4 e 3.5 mostram o sistema de cilindros concêntricos para o reômetro Haake Rotovisco, RV-20.



Figura 3.4 - Sistema de medida ZA-30 - Reômetro Haake Rotovisco



Figura 3.5 - Sistema de medida ZA-30 - Reômetro Haake Rotovisco

3.5.2 Reômetro de Placas Paralelas

O sistema utilizado foi de placas de 30 e de 45mm de diâmetro, em ambos os casos separadas por uma distância de 0,5 e 1,0mm, conforme Figuras 3.6 a 3.9.

Quando o diâmetro das placas for de 45mm, os máximos valores da taxa de deformação poderá chegar a 900 e 500s^{-1} , quando a distância entre as placas for de 0,5mm e 1,0mm, respectivamente.

Com as placas de 30mm de diâmetro, os máximos valores alcançados da taxa de deformação são de 580 s^{-1} , para a distância entre as placas de 0,5mm e de 290 s^{-1} , quando a distância entre as placas for de 1,0mm.

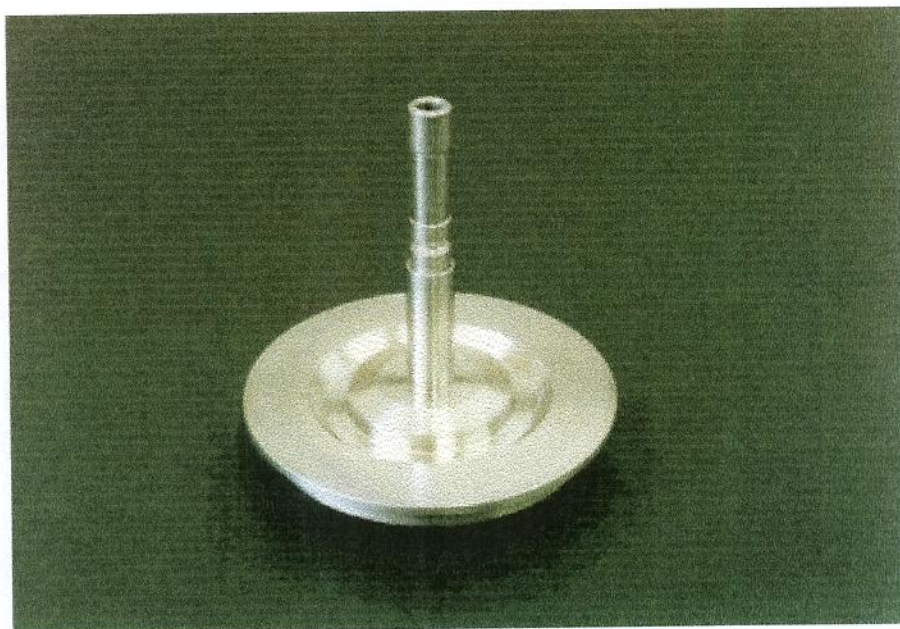


Figura 3.6-Sistema de placas Paralelas pq 45mm do Reômetro Haake Rotovisco RV-20



Figura 3.7-Sistema de placas Paralelas pq 45mm do Reômetro Haake Rotovisco RV-20



Figura 3.8-Sistema de placas Paralelas pq 30mm do Reômetro Haake Rotovisco RV-20.



Figura 3.9-Sistema de placas Paralelas pq 30mm do Reômetro Haake Rotovisco RV-20.

3.6 - Reometria usando cilindros concêntricos - obtenção de τ e $\dot{\gamma}$

A teoria em que se baseia a reometria em cilindros concêntricos é explicada por Krieger & Elrod (1953).

Considerando-se a geometria do reômetro, o torque em um dado ponto r é dado por:

$$T = 2\pi r h \tau \quad (3.1)$$

onde:

r = raio interno do cilindro

h = altura do cilindro

τ = tensão de cisalhamento

Portanto, a tensão de cisalhamento na parede do cilindro interno é dada por:

$$\tau_B = \frac{T}{2\pi R_B^2 h} \quad (3.2)$$

onde:

T = torque

R_B = raio interno do cilindro

h = altura do cilindro interno

τ_B = tensão de cisalhamento no cilindro

A velocidade angular é dada por:

$$\Omega = \frac{V}{r} \quad (3.3)$$

onde:

V = velocidade linear

r = raio interno do cilindro

Ω = velocidade angular

que também pode ser expressa da seguinte forma:

$$\Omega = \int_{\tau_B}^{\tau_c} \frac{\dot{\gamma}}{2\tau} d\tau \quad (3.4)$$

onde:

τ_B = tensão de cisalhamento na parede do cilindro interno

τ_c = tensão de cisalhamento na parede do copo

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação

Diferenciando a Equação 3.4 em relação a τ_B , tem-se:

$$\frac{d\Omega}{d\tau_B} = \frac{1}{2\tau_B} [\dot{\gamma}(\tau_B) - \dot{\gamma}(\tau_c)] \quad (3.5)$$

Desenvolvendo a Equação 3.5 em série de Euler-Maclaurin, o procedimento desenvolvido, conduz a seguinte expressão:

$$\dot{\gamma} = \frac{\Omega}{\ln \varepsilon} \left(1 + \ln \varepsilon \frac{d \ln \Omega}{d \ln \tau_B} + \left[\frac{(\ln \varepsilon)^2}{3\Omega} \frac{d^2 \Omega}{d(\ln \tau_B)^2} \right] - \left[\frac{(\ln \varepsilon)^4}{45\Omega} \frac{d^4 \Omega}{d(\ln \tau_B)^4} \right] + \dots \right) \quad (3.6)$$

onde:

$$\varepsilon = \frac{R_c}{R_B} \quad (3.7)$$

R_c = raio do copo

R_B = raio do cilindro interno

Aproximando a série acima no segundo termo o erro é da ordem de $\frac{1}{3} \left[\frac{(\ln \varepsilon)^2}{\Omega} \frac{d^2 \Omega}{d(\ln \tau_B)^2} \right]$ enquanto que se a aproximação for feita no terceiro termo o erro se reduz para $\frac{1}{45} \left[\frac{(\ln \varepsilon)^4}{\Omega} \frac{d^4 \Omega}{d(\ln \tau_B)^4} \right]$.

Elaborando-se um gráfico de Ω em função de τ_B em coordenadas logarítmicas, a inclinação da curva obtida é dada por:

$$M = \frac{d \ln \Omega}{d \ln \tau_B} \quad (3.8)$$

Quando o termo $M \ln \varepsilon$ for menor que 0,2 a taxa de deformação poderá ser calculada pela expressão simplificada:

$$\dot{\gamma} = \frac{\Omega}{\ln \varepsilon} (1 + M \ln \varepsilon) \quad (3.9)$$

Ainda segundo estes autores, quando o termo $M \ln \varepsilon$ situa-se entre 0,2 e 1,0 a taxa de deformação pode ser calculada através de:

$$\dot{\gamma} = \left[\frac{\Omega}{\ln \varepsilon} \right] \left[1 + M \ln \varepsilon \frac{(\ln^2 \varepsilon)}{3} + \frac{(\ln^2 \varepsilon)}{3} \frac{dM}{d \ln \tau_B} \right] \quad (3.10)$$

A construção das curvas reológicas a partir dos dados obtidos no reômetro segue o seguinte procedimento:

- Obtém-se a medida de torque no equipamento a uma dada velocidade angular;
- Converte-se o torque em tensão de cisalhamento na parede do cilindro interno, pela Equação 3.2;
- Calcula-se o parâmetro M pela Equação 3.8;
- Calcula-se os gradientes de velocidade ($\dot{\gamma}$) corrigidos para o comportamento não-newtoniano através da Equação 3.9 ou 3.10.

É importante lembrar que o procedimento acima representa o desenvolvimento teórico em que se baseia o reômetro de cilindros concêntricos.

Porém, os equipamentos comerciais já dispõem de constantes de operação com as quais são calculados τ e $\dot{\gamma}$.

3.7 PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos foram processados com o software ORIGIN 3.5, e as curvas obtidas ajustadas aos modelos reológicos de Casson, Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Mizrahi-Berk e Herschel-Bulkley, para os quais, foram analisados os seguintes parâmetros estatísticos:

R^2 - Coeficiente de determinação - Mede a proporção da variação total da média explicada pela regressão, definido como a soma quadrática total:

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

onde:

SRQ=soma quadrática devido à regressão

SQT=soma quadrática total

$\bar{y}$ =média amostral

X^2 - qui-quadrado - Expressa a diferença entre os valores previstos (esperados) pelo modelo e os valores obtidos experimentalmente (observados):

$$X^2 = \sum (y_{obs} - y_{pre})^2$$

onde:

χ^2 = teste do Qui-quadrado

Y_{obs} = valor experimental

Y_{pre} = valor previsto pelo modelo

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

SSR - soma dos quadrados dos resíduos - Identifica o erro no ajuste da curva.

4-RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da polpa

Os resultados de pH, °Brix, teor de pectina e de sólidos insolúveis determinados para a polpa de manga integral, centrifugada e despectinizada de variedade Keitt utilizado neste trabalho estão na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Características físico-químicas da polpa de manga.

Parâmetros	integral	centrifugada	despectinizada
pH	4,47	4,47	4,42
° Brix	16,60	16,05	16,20
Pectina (%)	0,98	0,98	--
Sólidos insolúveis (g/100g)	1,08	0,04	1,18

4.2 Comportamento Reológico

4.2.1 Sistema de medidas

Os gráficos da taxa de deformação versus tensão de cisalhamento obtidos por diferentes sistemas de medidas, para a polpa de manga integral, nas temperaturas de 10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, encontram-se nas Figuras 4.1 a 4.6. Os resultados apresentados são a média das triplicatas. Os resultados dos experimentos individuais estão no Apêndice.

Para os ajustes foram utilizados as curvas ascendentes e descendentes, sendo tomado o valor médio da tensão de cisalhamento para

cada taxa de deformação. Nos reogramas verifica-se que a leitura é confiável para $\dot{\gamma}$ a partir de 50s^{-1} para todos os sistemas de medidas, como pode ser observado nas Figuras 4.1 a 4.6. No entanto este trabalho tem como objetivo a descrição do comportamento reológico para aplicação às operações industriais de processamento e nesses casos a taxa de deformação é sempre maior que 100s^{-1} e apenas os casos de partida de equipamentos, principalmente de agitação e bombeamento apresentariam interesse nos baixos valores de $\dot{\gamma}$. Segundo BRANCO (1995), nas aplicações industriais é importante o conhecimento dos parâmetros reológicos pois, além do consumo de energia para bombear um suco com maior viscosidade, há problemas devido à incorporação de ar, acarretando problemas de operação da bomba e ações indesejáveis como oxidação e contaminação.

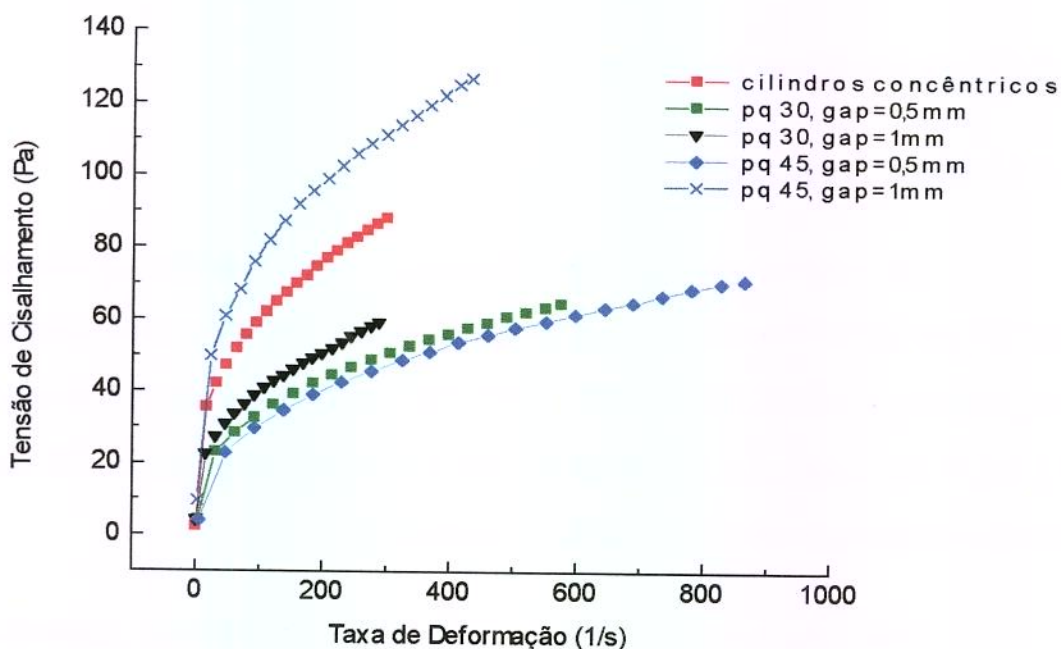


Figura 4.1-Reograma da polpa de manga integral para os diferentes sistemas de medidas a 10°C .

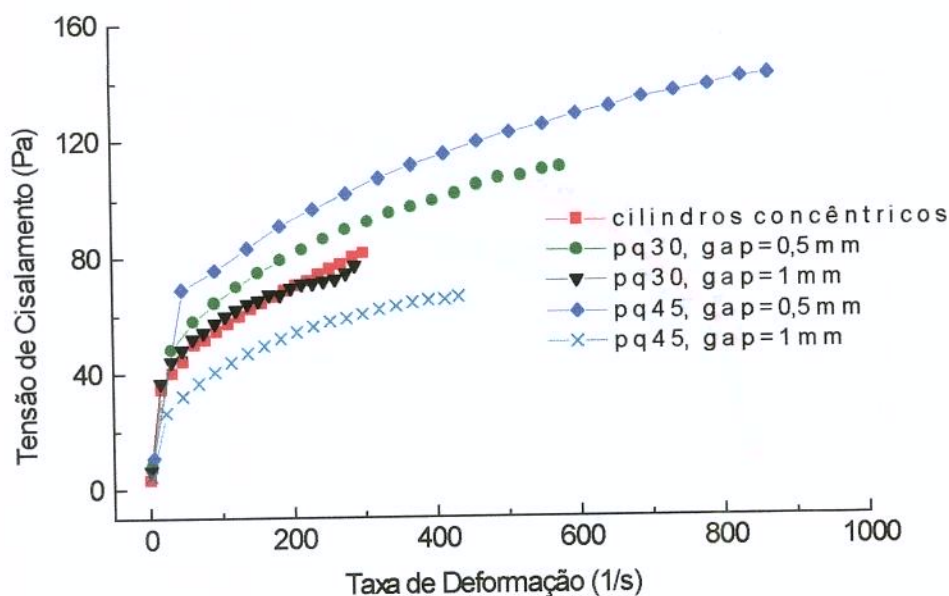


Figura 4.2-Reograma da polpa de manga integral para os diferentes sistemas de medidas a 20°C.

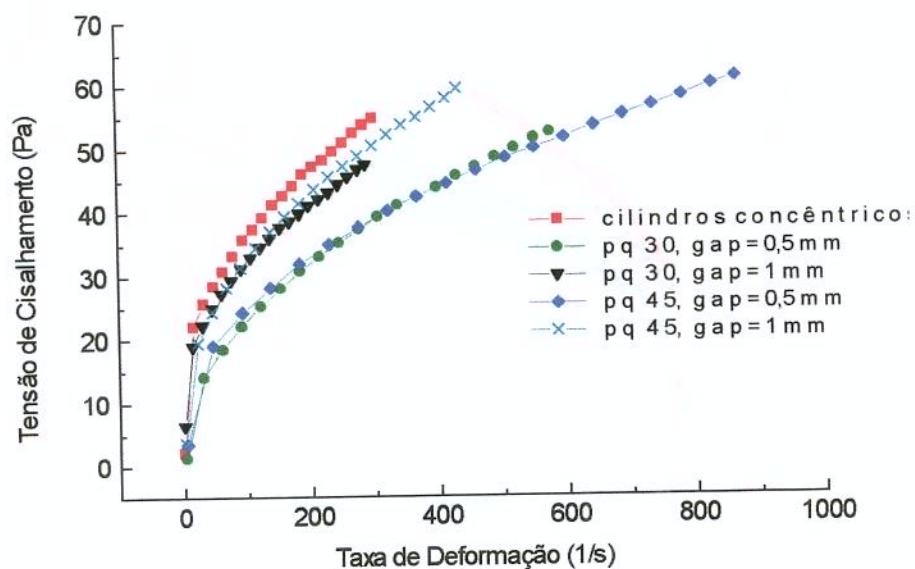


Figura 4.3-Reograma da polpa de manga integral para os diferentes sistemas de medidas a 30°C.

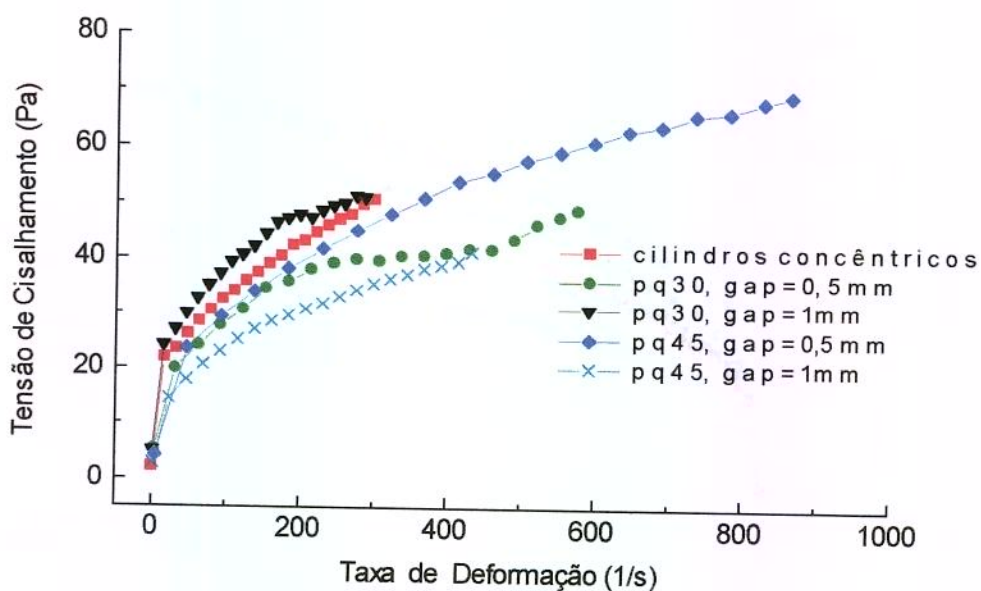


Figura 4.4-Reograma da polpa de manga integral para os diferentes sistemas de medidas a 40°C.

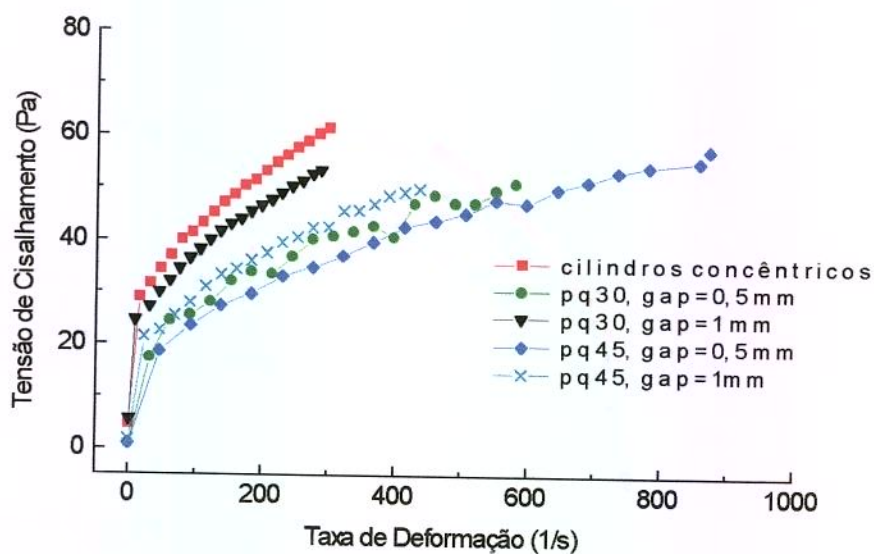


Figura 4.5-Reograma da polpa de manga integral para os diferentes sistemas de medidas a 50°C.

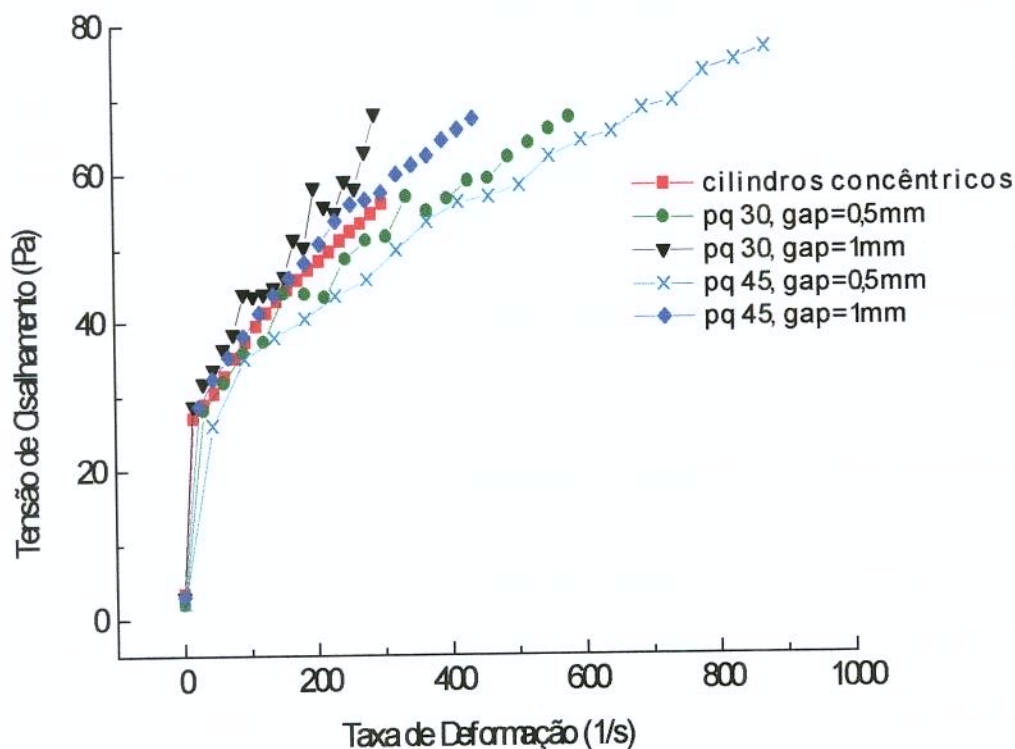


Figura 4.6-Reograma da polpa de manga integral para os diferentes sistemas de medidas a 60°C.

Nas Figuras 4.1 a 4.6 observa-se que, para uma certa taxa de deformação, diferentes valores de tensão de cisalhamento são obtidos, dependendo do sistema de medida utilizado. Este fato evidencia o comportamento não newtoniano, conforme observações feitas por VIDAL (1997), QUEIROZ (1998) e PELEGRINE (1999), lembrando também que os valores da taxa de deformação apresentados nos reogramas são aqueles fornecidos pelo fabricante e definidos para fluidos de características newtonianas.

Para a polpa de manga integral pode-se observar a adequação de todos os sistemas de medidas utilizados, já que as curvas são consistentes, com exceção das placas paralelas de 30mm com gap=0,5mm na temperatura de 60°C.

GEHRKE (1996), observou diferentes valores na viscosidade aparente para os diferentes sistemas de medidas em sucos concentrados à temperatura e concentração constantes, sendo coerente com os resultados das Figuras 4.1 a 4.6.

4.2.2 Reometria de Cilindros Concêntricos

Dentre os modelos de Mizrahi-Berk, Hercshel-Bulkey, Lei da Potência e Casson utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa de manga, o de Mizrahi-Berk proporcionou melhores parâmetros de ajuste, apresentando os menores valores de X^2 e de SSR, além dos valores mais elevados para o coeficiente de determinação R^2 . Porém, todos eles tem valores desses parâmetros de controle aceitáveis para serem escolhidos como representativos do comportamento reológico das polpas.

Por conveniência de posterior ajuste dos parâmetros reológicos do modelo à uma dependência com a temperatura, foram escolhidos os modelos de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral, Lei da Potência para polpa de manga centrifugada e Casson para despectinizada.

As Tabelas 4.2 a 4.8 apresentam os valores dos parâmetros obtidos através do ajuste aos reogramas dos modelos de Mizrahi-Berk, Lei da Potência e Casson respectivamente, para polpas integral, centrifugada e despectinizada.

Os resultados dos ajustes obtidos utilizando-se os demais modelos reológicos estão nas tabelas do Apêndice.

Tabela 4.2-Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral.

	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
K_{OM}	3,41	4,12	3,47	3,81	4,57	4,51
K_M	1,12	0,68	0,41	0,20	0,20	0,14
n_M	0,29	0,35	0,40	0,48	0,48	0,54
erro K_{OM}	0,06	0,02	0,09	0,11	0,07	0,13
erro K_M	0,04	0,11	0,04	0,04	0,02	0,04
erro n_M	0,00	0,02	0,02	0,03	0,01	0,04
X²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SSR	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03
R²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Os valores das constantes K_{OM} , K_M e n_M do modelo de Mizrahi-Berk bem como sua análise estatística nas temperaturas de ensaio estão na Tabela 4.2. O parâmetro K_{OM} , elevado ao quadrado, é a tensão inicial para o produto escoar. Com a variação da temperatura o parâmetro K_{OM} , variou na faixa de 3,41 a 4,57.

Da Tabela 4.2 verifica-se o valor do índice de comportamento (n_M) menor que um (1) para todos os casos, mostrando que a polpa de manga integral apresenta comportamento pseudoplástico. Com o aumento da temperatura, observou-se um aumento no índice de comportamento (n_M) e uma diminuição no parâmetro índice de consistência (K_M).

Na literatura foram encontradas poucas referências de ajuste do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral.

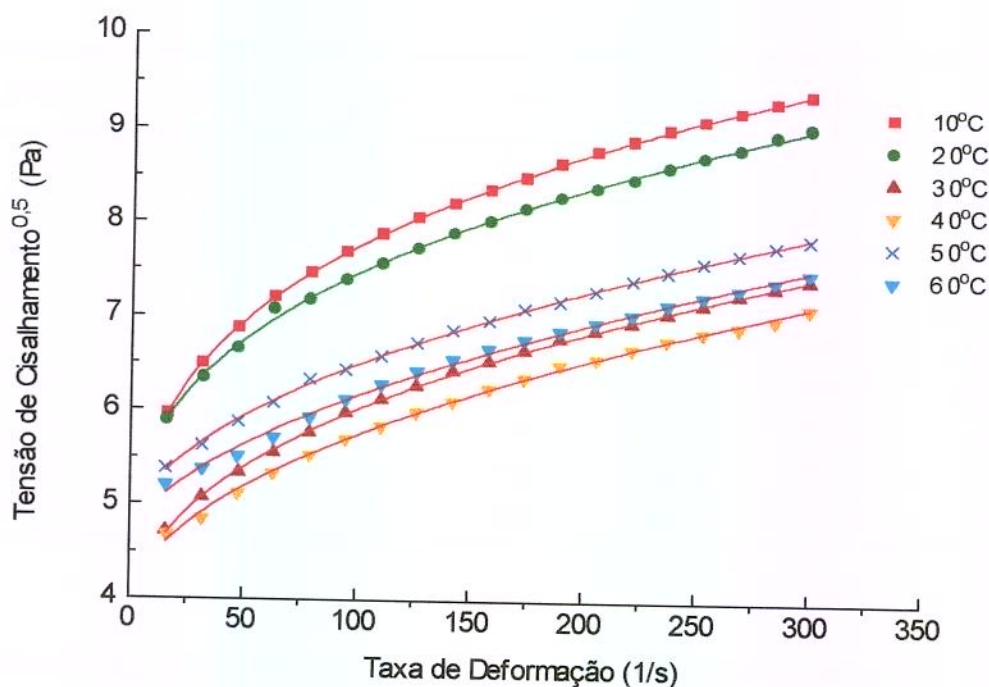


Figura 4.7-Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.

A temperatura é um dos fatores que mais afetam a viscosidade das polpas de frutas, já que a maioria destas apresentam-se na forma de sólidos dispersos em meios líquidos. Um aumento da temperatura neste caso faz com que a viscosidade da fase líquida diminua, aumentando a mobilidade das partículas em suspensões, diminuindo consequentemente a viscosidade da polpa.

Na Figura 4.7 verifica-se que a viscosidade diminui com o aumento da temperatura até 40°C. Para as temperaturas de 50°C a 60°C observa-se um

aumento da viscosidade o que pode ser explicado por uma possível gelatinização do amido presente na polpa de manga. Segundo BOTREL (1994), durante o desenvolvimento da manga, uma das principais alterações químicas é o pronunciado aumento no teor de amido, o qual passa de 1 para 13%.

Tabela 4.3-Parâmetros do modelo Lei da Potência para polpa de manga centrifugada.

	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
K_M	0,45	0,32	0,25	0,20	0,15	0,09
n_M	0,69	0,71	0,72	0,73	0,74	0,77
erro K_M	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
erro n_M	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02
X²	0,06	0,06	0,02	0,03	0,02	0,04
SSR	1,16	1,09	0,44	0,61	0,44	0,69
R²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Com a variação da temperatura o parâmetro K_M, mostrou-se na faixa de 0,09 a 0,45. Da Tabela 4.3 verifica-se o valor do índice de comportamento (n_M) menor que um (1) para todos os casos, mostrando que a polpa de manga centrifugada apresenta comportamento pseudoplástico. Com a variação da temperatura, o índice de comportamento (n_M) mostrou-se na faixa 0,69 a 0,77 e observa-se uma diminuição no parâmetro K_M (índice de consistência) e um aumento no índice de comportamento (n_M).

Os ajustes referentes à Tabela 4.3 podem ser visualizados na Figura 4.8 onde observa-se uma certa tendência da polpa de manga apresentar comportamento newtoniano quando os sólidos suspensos são removidos e a temperatura é alta. Dos resultados com as polpas de manga integral e

centrifugada, pode-se observar que os sólidos suspensos exercem grande influência no seu comportamento reológico.

Na Figura 4.8 verifica-se que a viscosidade diminui com o aumento da temperatura até 60°C.

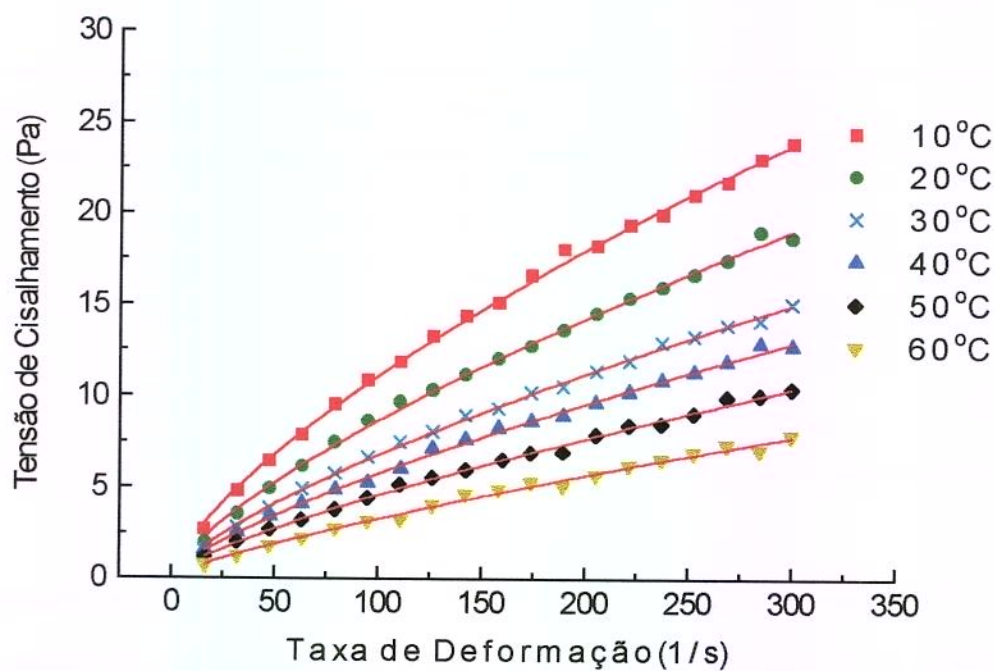


Figura 4.8-Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga centrifugada descrita pelo modelo Lei da Potência.

Os resultados apresentados na Figura 4.8 foram coerentes com as observações feitas por GINER (1996), ao analisar a influência da temperatura na reologia do suco clarificado de cereja, observando que um aumento na temperatura resultou no decréscimo da sua viscosidade.

Foram encontradas poucas referências, na literatura, tratando da reologia de polpa de manga não concentrada.

Tabela 4.4-Parâmetros do modelo de Casson para manga despectinizada.

	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
K_{OM}	2,37	1,60	1,21	1,92	2,34	3,12
K_M	0,12	0,09	0,06	0,07	0,06	0,03
erro K_{OM}	0,04	0,06	0,05	0,07	0,06	0,07
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X²	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
SSR	0,05	0,10	0,08	0,17	0,13	0,13
R²	0,98	0,95	0,92	0,87	0,81	0,75

Para a polpa de manga despectinizada não foi possível um bom ajuste dos parâmetros reológicos, em função da temperatura, aos reogramas apresentados na Figura 4.9. Os parâmetros de ajuste encontram-se na Tabela 4.4, sendo utilizado o modelo de Casson, pois este foi o que melhor resultados apresentou neste caso.

Com a variação da temperatura o parâmetro K_{OM}, mostrou-se na faixa de 1,21 a 3,12. Na Tabela 4.4 vê-se que o índice de consistência (K_M), diminuiu com o aumento da temperatura, ficando na faixa de 0,03 a 0,12.

MONOHAR et alii (1990), citados por PELEGRINE (1999), que estudaram o efeito das pectinas nas propriedades reológicas da polpa de manga, e concluíram que a remoção da pectina fez com que o valor do índice de consistência (K_M) diminuísse. Os resultados da Tabela 4.4 confirmam um comportamento pseudoplástico para a polpa de manga despectinizada, sendo que a Figura 4.9 ilustra os resultados da Tabela 4.4.

Para a polpa de manga despectinizada, observa-se uma diminuição na viscosidade aparente até a temperatura de 30°C. Para as temperaturas de 40°C a 60°C observa-se um aumento da viscosidade o que pode novamente ser explicado por uma possível gelatinização do amido presente.

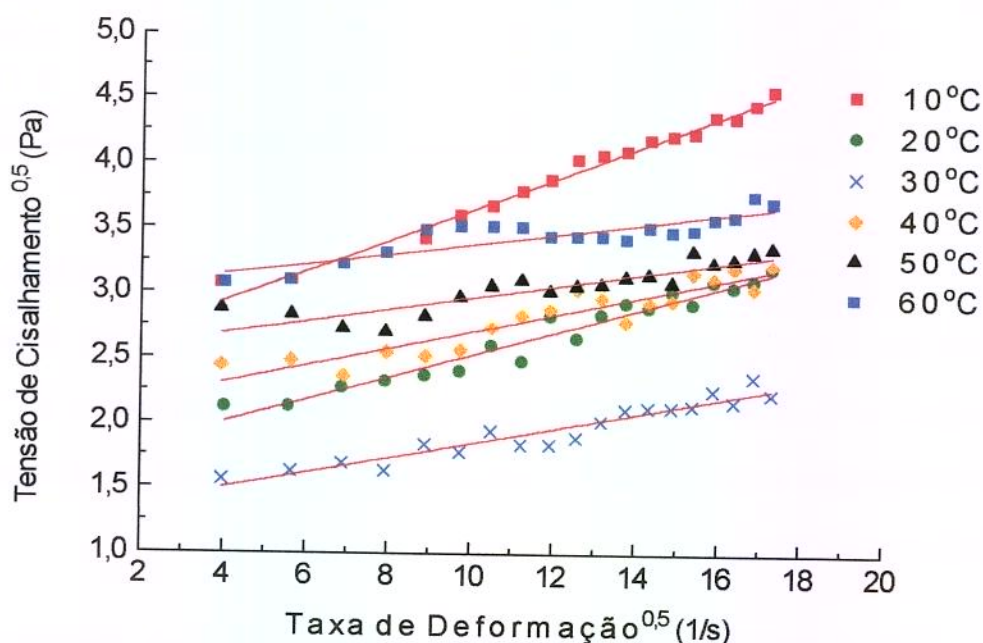


Figura 4.9-Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga despectinizada descrita pelo modelo de Casson

4.2.3 Reometria de placas Paralelas

GEHRKE (1996), mediu a viscosidade dos sucos concentrados de caju, laranja, limão e maracujá, com o objetivo de comparar resultados obtidos nos diferentes sistemas de medidas de placas paralelas e cilindros concêntricos, e observou uma diferença no valor da viscosidade aparente nesses reogramas, para uma mesma temperatura e concentração.

Com a variação da temperatura o parâmetro K_{OM} , mostrou-se na faixa de -1,92 a 4,14. Na Tabela 4.5 verifica-se o valor do índice de comportamento (n_M) menor que um (1) para todos os casos. Com o aumento da temperatura, o índice de comportamento (n_M) mostrou-se na faixa 0,12 a 0,43 e o parâmetro índice de consistência (K_M), mostrou-se na faixa 0,29 a 4,74.

Observando os resultados da Tabela 4.5, verifica-se que a polpa de manga integral medida em placas paralelas pq 45 com distância entre elas de 1,0mm também apresenta característica pseudoplástica. Os ajustes referentes à tabela 4.5 podem ser visualizados na Figura 4.10.

Tabela 4.5-Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral, pq 45; gap=1mm.

	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
K_{OM}	1,62	-1,92	1,83	0,81	3,43	4,14
K_M	2,91	4,74	1,06	1,53	0,29	0,29
n_M	0,19	0,12	0,28	0,21	0,41	0,43
erro K_{OM}	0,51	2,18	0,10	0,41	0,26	0,18
erro K_M	0,38	1,92	0,06	0,30	0,10	0,06
erro n_M	0,01	0,03	0,00	0,02	0,04	0,03
X^2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SSR	0,01	0,04	0,00	0,01	0,05	0,03
R^2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Os resultados mostrados nas Figuras 4.7 e 4.10, referentes ao sistema de cilindros concêntricos e placas paralelas pq 45, com distância (gap) de 1,0mm, mostram a adequação desses dois sistemas de medidas. Porém, o valor máximo da taxa de deformação é de $500s^{-1}$ e valores maiores são atingidos

apenas para o sistema de placas separadas de 0,5mm, o que nem sempre produziu resultados consistentes, como evidenciam as Figuras 4.11 a 4.13.

Segundo PELEGRINE (1999) e GEHRKE (1996), provavelmente a dificuldade frequentemente encontrada na reprodução de muitos dados experimentais encontrados na literatura pode ser pelo uso de diferentes sistemas de medidas.

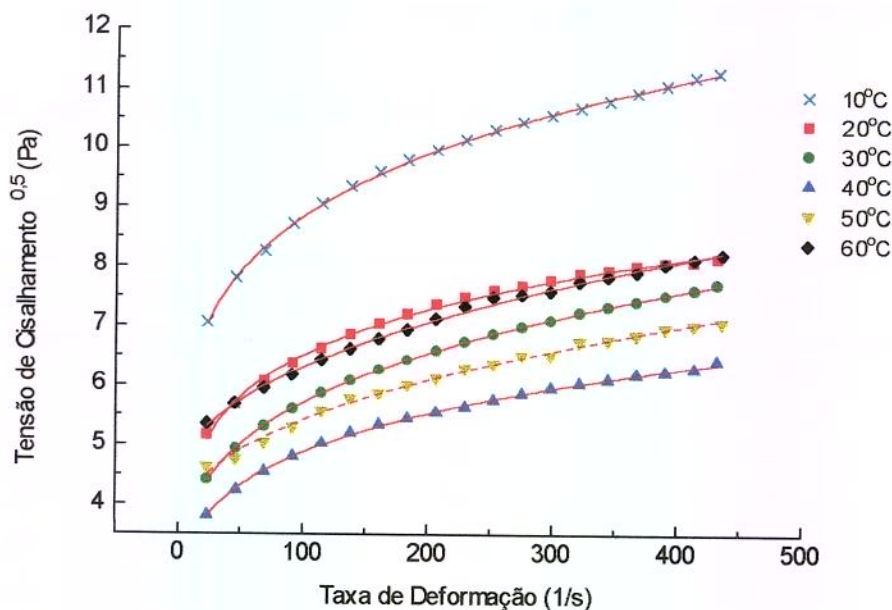


Figura 4.10-Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk, pq 45; gap=1mm.

Comparando os resultados das Figuras 4.7 e 4.10, observa-se praticamente a mesma descrição do comportamento reológico. Observa-se uma diminuição na viscosidade aparente nos valores até a temperatura de 40°C. Para

as temperaturas de 50°C a 60°C observa-se um aumento da viscosidade. Esse aumento já explicado anteriormente como possível influência do amido.

Tabela 4.6-Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral, pq 45; gap=0,5mm.

	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
K_{OM}	0,17	5,53	1,52	0,03	2,00	3,73
K_M	2,15	0,82	1,00	2,29	0,74	0,32
n_M	0,19	0,30	0,27	0,19	0,29	0,40
erro K_{OM}	0,21	0,46	0,12	0,87	0,35	0,35
erro K_M	0,14	0,23	0,06	0,63	0,18	0,11
erro n_M	0,00	0,03	0,00	0,02	0,02	0,04
X²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SSR	0,00	0,05	0,00	0,03	0,02	0,09
R²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Com a variação da temperatura o parâmetro K_{OM}, mostrou-se na faixa de 0,03 a 3,73. Da Tabela 4.6 verifica-se o valor do índice de comportamento (n_M) menor que um (1) para todos os casos. Com a variação da temperatura, o índice de comportamento (n_M) mostrou-se na faixa 0,19 a 0,40 e o parâmetro índice de consistência (K_M), mostrou-se na faixa 0,32 a 2,29.

Observa-se pelos resultados da Tabela 4.6, que a polpa de manga integral medida em placas paralelas pq 45 com distância de 0,5mm também apresenta características pseudoplásticas. Os ajustes referentes à Tabela 4.6 podem ser visualizados na figura 4.11. Na Figura 4.11, referente à polpa de manga integral, observa-se que o sistema de placas paralelas pq 45 com distância entre elas de 0,5mm, não é o mais indicado para os testes reológicos

do produto. Pela Figura 4.11 verifica-se bons reogramas para todas as temperaturas, porém não há definição clara para o efeito da temperatura. Isso indica que, talvez a presença dos sólidos suspensos é predominante durante o cisalhamento em região tão estreita. Comparando os resultados das Figuras 4.10 e 4.11, observa-se praticamente o mesmo tipo de comportamento reológico.

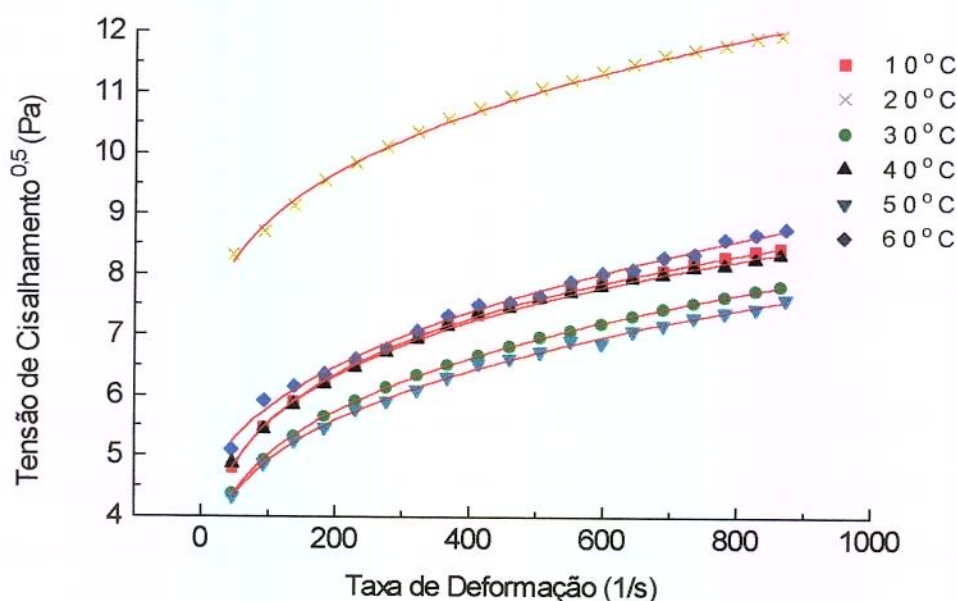


Figura 4.11-Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk, pq 45; gap=0,5mm

De maneira geral, o reograma referente ao sistema de placas paralelas de 45mm com distância de 1,0mm apresentou-se mais viável para a análise do comportamento reológico da polpa de manga integral, visto que os

reogramas obtidos estão mais separados permitindo melhor definição desse comportamento. Conforme é mostrado na Figura 4.10.

Tabela 4.7-Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral, pq 30; gap=1,0mm.

	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
K_{OM}	2,83	-3,50	2,81	1,61	4,29	4,94
K_M	0,81	7,62	0,61	1,88	0,18	0,07
n_M	0,31	0,08	0,33	0,19	0,49	0,66
erro K_{OM}	0,12	4,16	0,08	1,36	0,11	0,28
erro K_M	0,07	3,95	0,04	1,08	0,04	0,05
erro n_M	0,01	0,03	0,01	0,05	0,03	0,11
X²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
SSR	0,00	0,02	0,00	0,08	0,02	0,33
R²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97

Os valores das constantes K_{OM}, K_M e n_M do modelo de Mizrahi-Berk bem como sua análise estatística nas temperaturas de ensaio estão na Tabela 4.7. Verifica-se o valor do índice de comportamento (n_M) menor que um (1) para todos os casos. Com a variação da temperatura, o índice de comportamento (n_M) mostrou-se na faixa 0,08 a 0,66 e o parâmetro índice de consistência (K_M), mostrou-se na faixa 0,07 a 7,62. Os ajustes referentes à Tabela 4.7 podem ser visualizados na Figura 4.12.

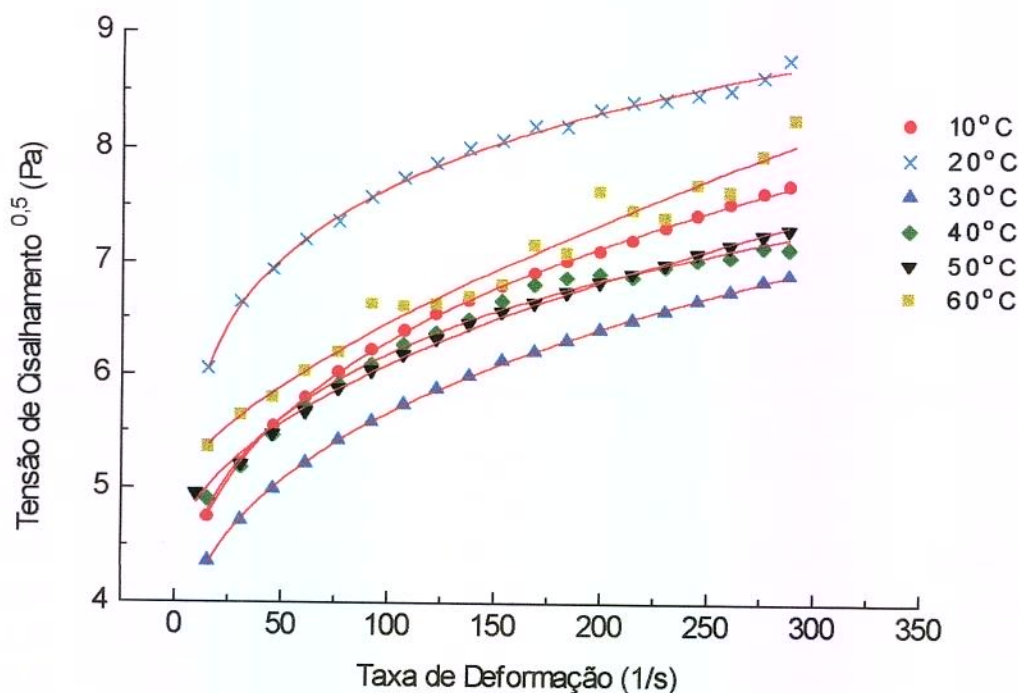


Figura 4.12-Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk, $pq = 30$; $gap = 1,0mm$

Com a variação da temperatura o parâmetro K_{OM} , mostrou-se na faixa de -2,12 a 4,05. Da tabela 4.8 verifica-se o valor do índice de comportamento (n_M) menor que um (1) para todos os casos. Com a variação da temperatura, o índice de comportamento (n_M) mostrou-se na faixa 0,10 a 0,41 e o parâmetro índice de consistência (K_M), mostrou-se na faixa 0,29 a 4,68.

Da Tabela 4.2 a 4.8, observa-se o valor do índice de comportamento (n_M) menor que 1 (um) para todos os casos, mostrando que as polpas de manga integral, centrifugada e despectinizada apresentam características pseudoplásticas e pouco variou com os diferentes sistemas de medidas.

É importante ressaltar a dificuldade para obter resultados confiáveis a temperaturas superiores a 60°C nas condições experimentais empregadas. Segundo GEHRKE (1996) pode haver influência significativa de evaporação durante a corrida experimental, levando inclusive à suposições de tixotropia.

Tabela 4.8-Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral, pq 30; gap=0,5mm.

	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
K_{0M}	1,88	2,09	0,81	-2,12	0,10	4,05
K_M	1,21	2,51	1,16	4,68	2,22	0,29
n_M	0,25	0,19	0,26	0,10	0,18	0,41
erro K_{0M}	0,14	0,47	0,18	7,87	2,49	0,43
erro K_M	0,08	0,35	0,10	7,12	1,90	0,16
erro n_M	0,00	0,01	0,01	0,10	0,07	0,06
X²	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
SSR	0,00	0,00	0,00	0,23	0,21	0,15
R²	0,99	0,99	0,99	0,97	0,98	0,98

Comparando os resultados das Figuras 4.12 e 4.13, observa-se praticamente o mesmo comportamento reológico, tanto para as placas paralelas de 30mm com distância de 1,0mm quanto placas paralelas de 30mm com distância de 0,5mm. Observa-se que não houve uma diminuição sensível nos valores da viscosidade aparente para os dois sistemas.

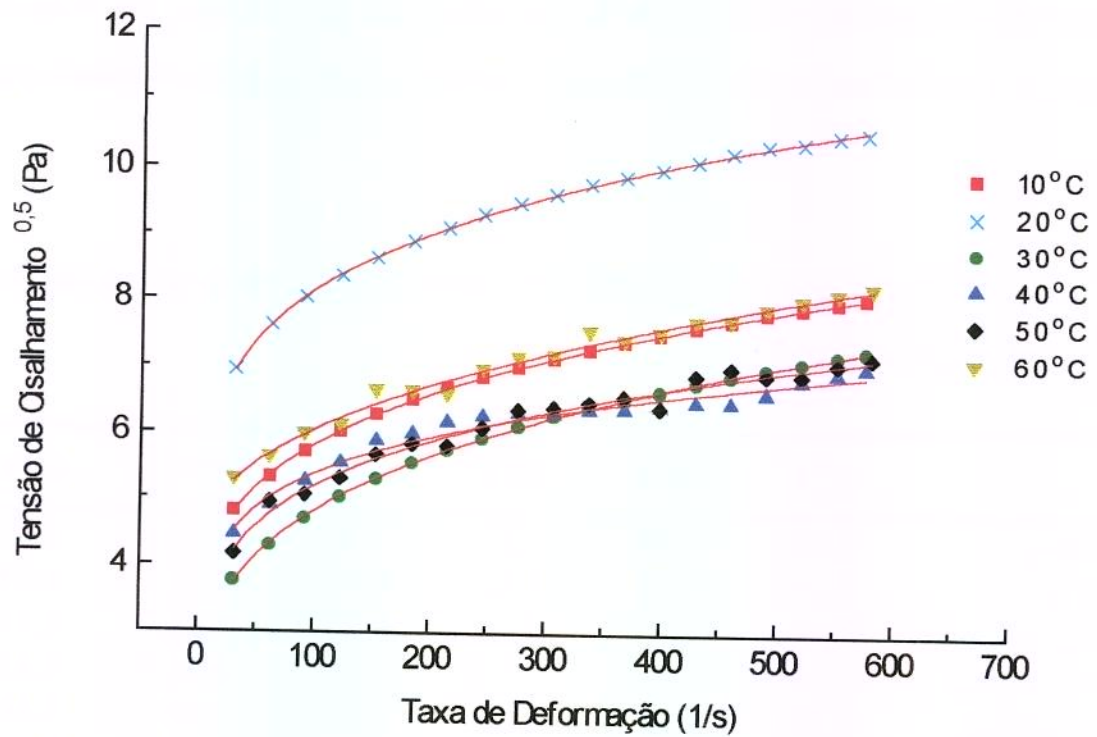


Figura 4.13-Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk, pq 30; $\text{gap} = 0,5 \text{ mm}$.

4.3 VISCOSIDADE APARENTE

Nas Figuras que seguem, 4.14 a 4.16, os pontos marcados representam as viscosidades aparentes dadas diretamente da polpa de manga integral, centrifugada e despectinizada enquanto que as linhas contínuas são os resultados do modelo de Mizrahi-Berk ajustado aos reogramas obtidos com o sistema de cilindros concêntricos ZA-30 e que foi utilizado no cálculo da viscosidade aparente.

Os valores obtidos para n_M (índice de comportamento) confirmam essa pseudoplasticidade. Pela Figura 4.14, observou-se, a partir da taxa de deformação de 200, que a viscosidade aparente tende a ficar constante para as temperaturas de 10 a 60°C.

Exper.

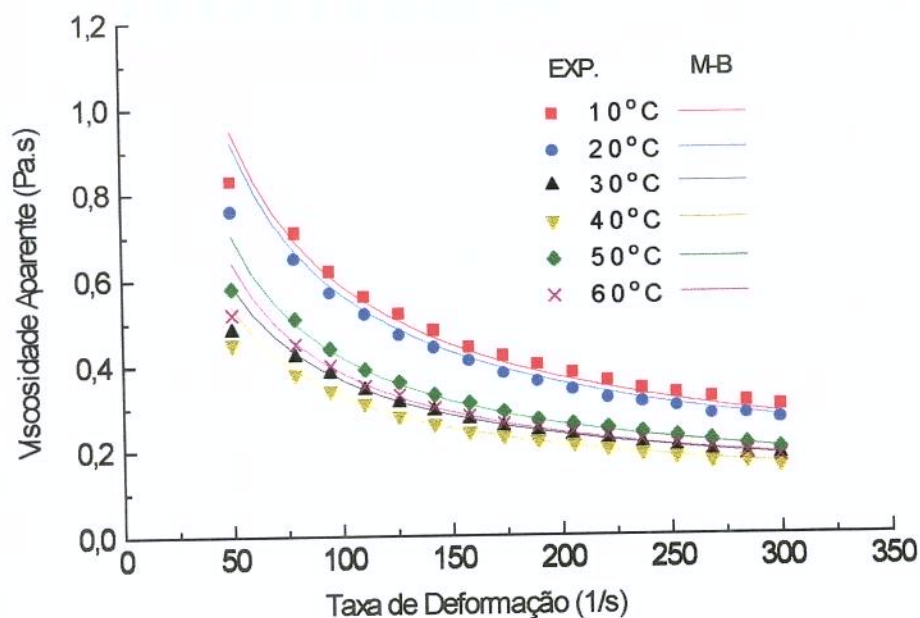


Figura 4.14-Viscosidade aparente da polpa de manga integral.

Na Figura 4.15 os resultados obtidos indicam uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação até a temperatura de 60°C, mostrando o comportamento pseudoplástico para o suco de manga centrifugado, em todas as temperaturas analisadas (Figuras 4.8 e 4.15). Os valores obtidos para n_M (índice de comportamento) confirmam essa pseudoplasticidade.

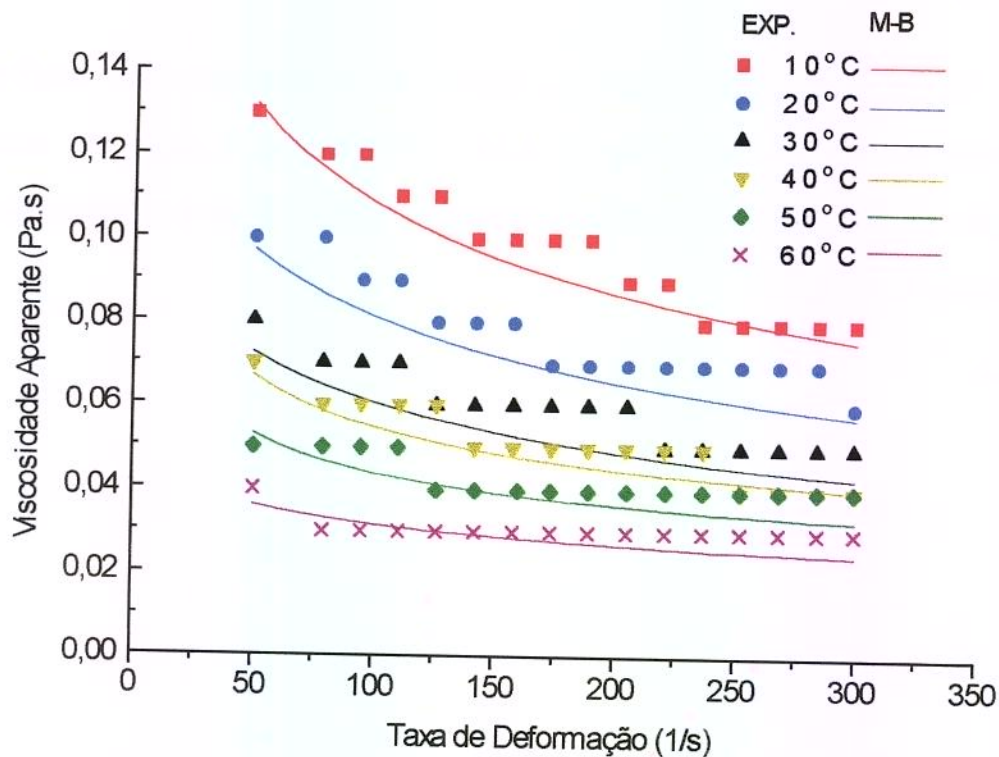


Figura 4.15-Viscosidade aparente da polpa de manga centrifugada.

A Figura 4.15, mostra os resultados experimentais de viscosidade aparente obtidos no sistema de cilindros concêntricos. Para todas as temperaturas nota-se a tendência assintótica para um valor constante com o aumento da taxa de deformação, um comportamento pseudo-newtoniano, se a

viscosidade aparente for medida apenas para valores de taxa de deformação maiores que 200s^{-1} .

Na Figura 4.15 os experimentos mostram que, com a centrifugação, ocorre uma redução acentuada da viscosidade aparente, facilitando o escoamento do suco e a troca de calor durante o processamento. Sabe-se que quanto menor a viscosidade do fluido, menor é a perda de carga durante o escoamento, diminuindo os custos de potência com bombeamento e consequentemente os custos energéticos.

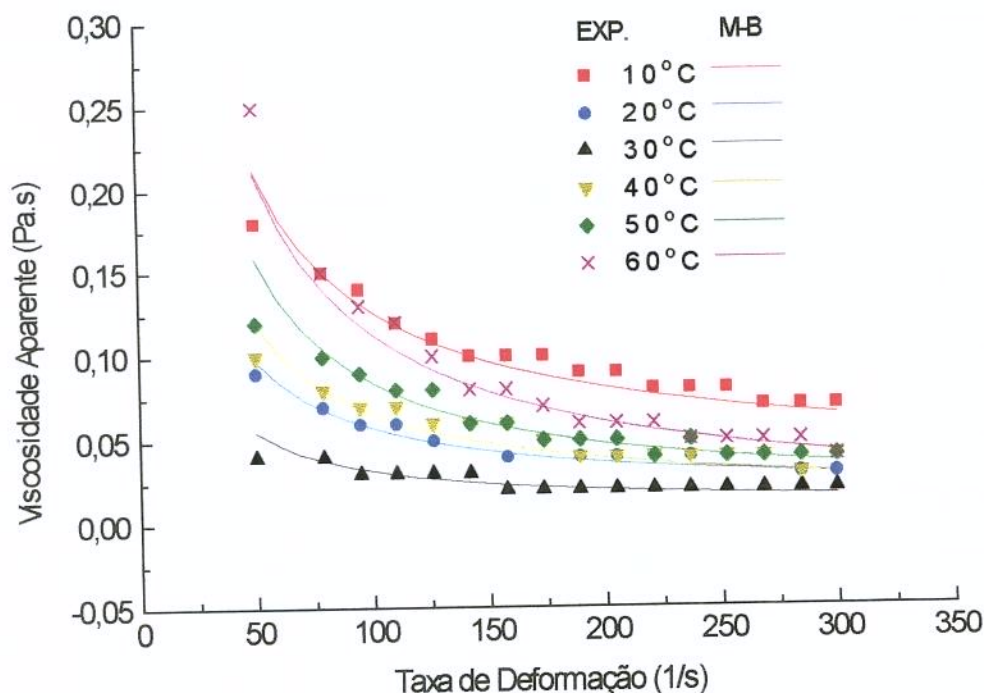


Figura 4.16-Viscosidade aparente da polpa de manga despectinizada.

Observando a Figura 4.16 os resultados obtidos indicam uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação até a temperatura de 30°C e para as temperaturas de 40°C a 60°C observa-se um aumento dessa viscosidade. Verificou-se comportamento pseudoplástico para o suco de manga despectinizado em todas as temperaturas analisadas (Figuras 4.9 e 4.16). Os valores obtidos para n_M (índice de comportamento) confirmam essa pseudoplasticidade.

A Figura 4.16 contém os resultados experimentais de viscosidade aparente obtidos no sistema de cilindros concêntricos. Para todas as temperaturas nota-se a tendência a um valor constante com o aumento da taxa de deformação, indicando, a tendência assintótica, um comportamento pseudo-newtoniano.

4.3.1 Viscosidade Aparente para diferentes sistemas de medidas

As Figuras 4.17 a 4.22 apresentam os resultados medidos de viscosidade aparente obtidos com os diferentes sistemas de medidas utilizados neste trabalho. Observando as figuras 4.10 a 4.13, observa-se que os sistemas de placas paralelas pq45 e pq30 separadas por uma distância de 0,5mm e 1,0mm produziram bons resultados para a polpa de manga integral.

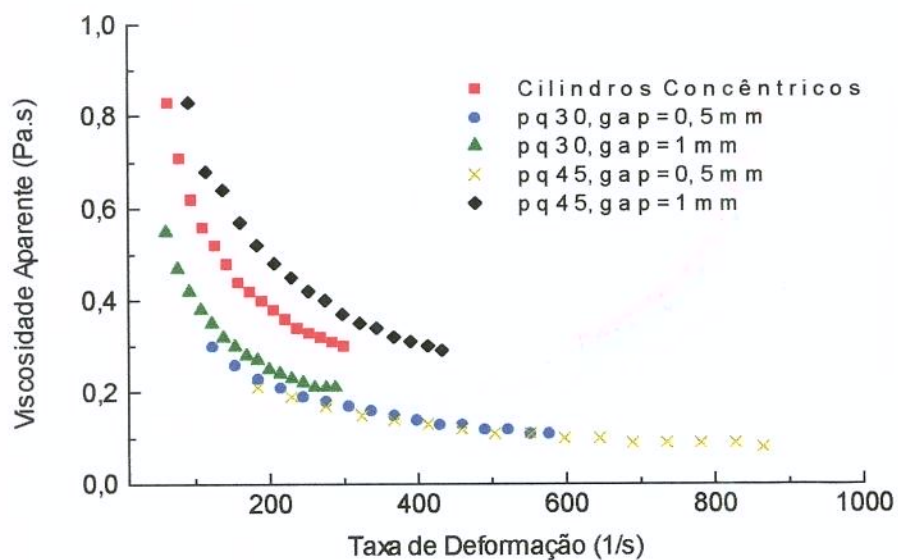


Figura 4.17-Viscosidade aparente da polpa de manga integral a 10°C obtida em diferentes sistemas de medidas.

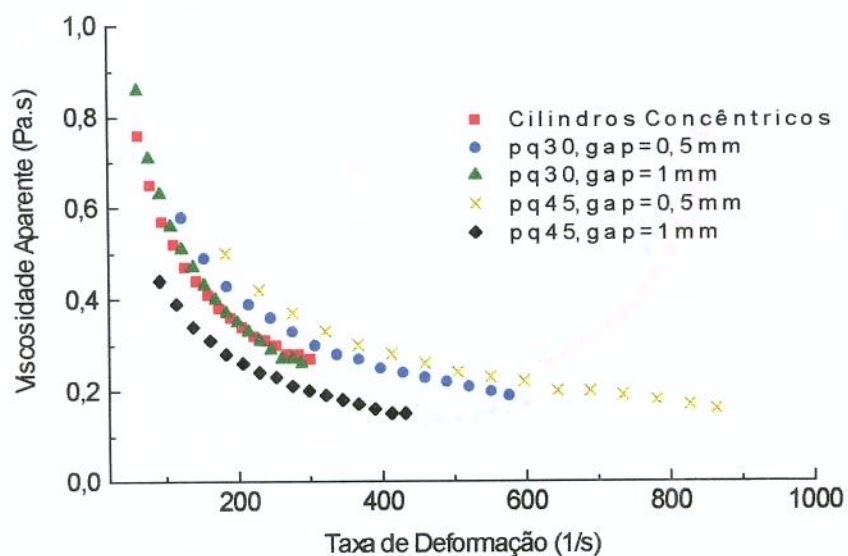


Figura 4.18-Viscosidade aparente da polpa de manga integral a 20°C obtida em diferentes sistemas de medidas.

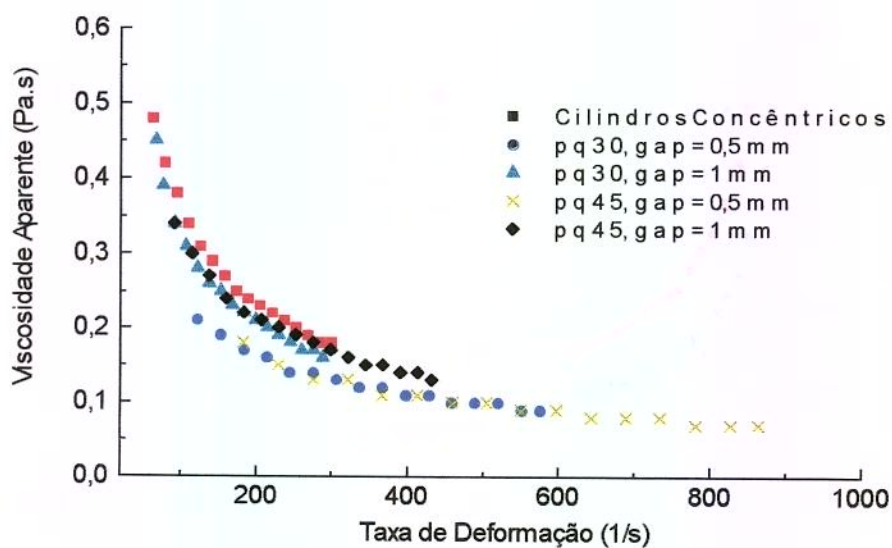


Figura 4.19-Viscosidade aparente da polpa de manga integral a 30°C obtida em diferentes sistemas de medidas

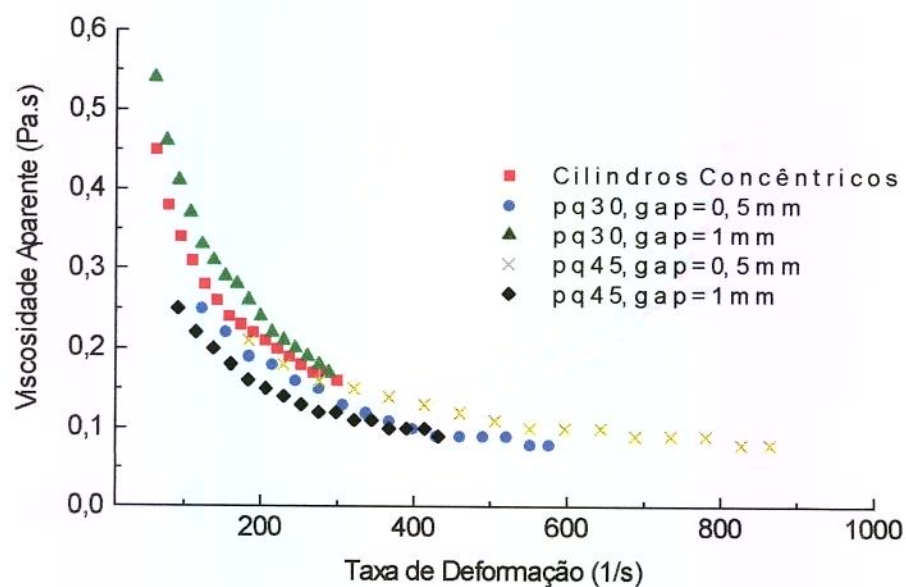


Figura 4.20-Viscosidade aparente da polpa de manga integral a 40°C obtida em diferentes sistemas de medidas.

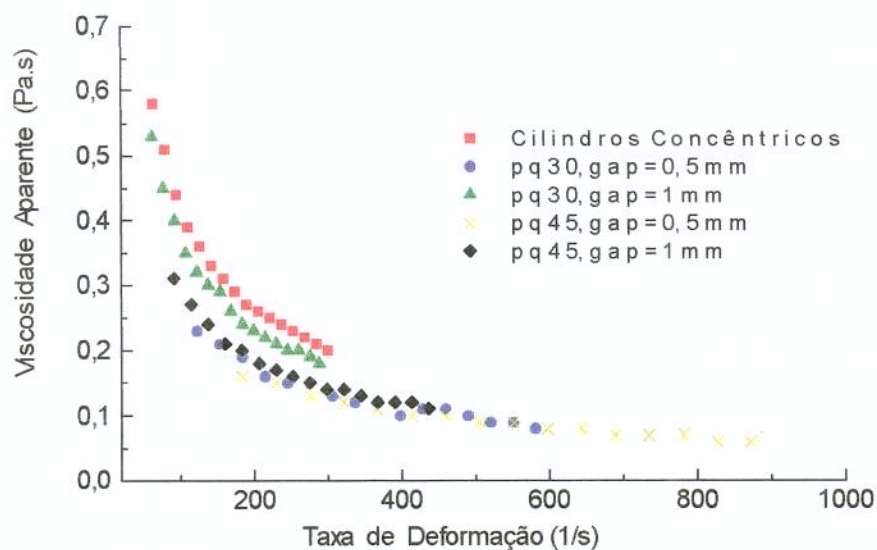


Figura 4.21-Viscosidade aparente da polpa de manga integral a 50°C obtida em diferentes sistemas de medidas.

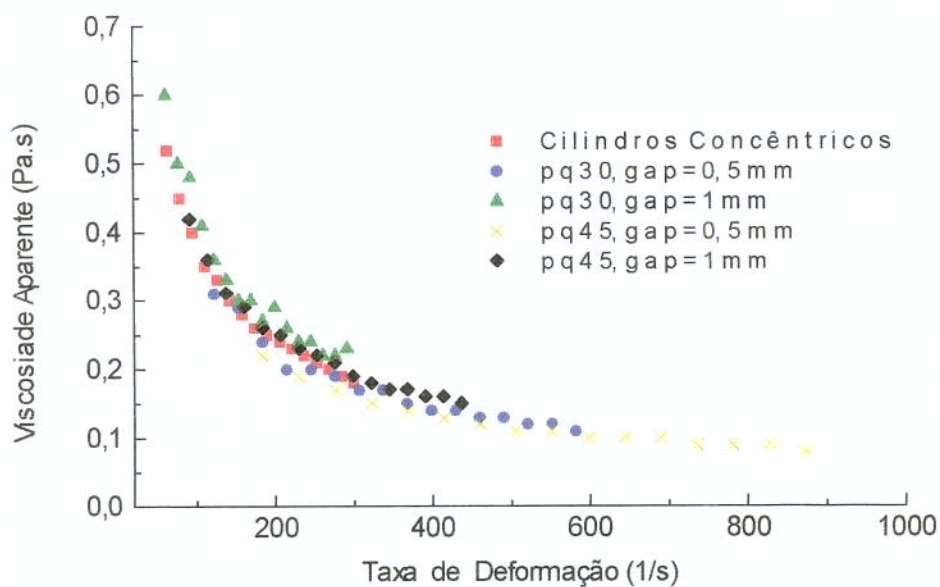


Figura 4.22-Viscosidade aparente da polpa de manga integral a 60°C obtida em diferentes sistemas de medidas.

As Figuras 4.17 a 4.22 indicam uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, mostrando comportamento pseudoplástico, para todos os sistemas de medidas.

Nota-se que o valor da viscosidade aparente situa-se na faixa de 0,8 a 0,1 Pa.s para todas as situações ensaiadas. Quanto ao efeito do sistema de medida x temperatura, verifica-se que para 10°C ocorrem as maiores discrepâncias entre os resultados obtidos para os diferentes sistemas de medidas. Na temperatura de 60°C essas diferenças estão quase imperceptíveis. Esse comportamento deve ser devido à maior mobilidade dos sólidos suspensos, uma vez que a fase líquida tem viscosidade menor nas temperaturas mais altas.

No entanto é notável o efeito global no resultado da viscosidade aparente, uma vez que é praticamente impossível detectar o efeito da temperatura quando se comparam as figuras 4.19 (30°C), 4.20 (40°C), 4.21 (50°C), e 4.22 (60°C). Aí está demonstrado que é, muitas vezes, inadequado analisar o efeito da temperatura no comportamento reológico, considerando apenas a viscosidade aparente.

4.4 RAZÃO ENTRE AS VISCOSIDADES APARENTES

Como em cilindros concêntricos, os ensaios reológico de Mizrahi-Berk foi o que apresentou as melhores correlações, esse ajuste foi utilizado no cálculo das viscosidades aparentes das diferentes polpas, na discussão a seguir.

As Figuras 4.23 a 4.25 apresentam a relação entre as viscosidades aparentes da polpa de manga integral, centrifugada e despectinizada, calculadas como:

$$\varepsilon = \eta_{api} / \eta_{apj} \quad (4.1)$$

Onde:

η_{api} = Viscosidade Aparente da polpa na condição i;

η_{apj} = Viscosidade Aparente da polpa na condição j.

Esses gráficos têm como objetivo mostrar o efeito relativo dos sólidos suspensos e da pectina no comportamento reológico da polpa de manga.

Os dados de viscosidade aparente das polpas, estão nas tabelas do apêndice.

A Figura 4.23 mostra que o efeito dos sólidos suspensos na polpa de manga integral é maior para baixas taxas de deformação. Porém esse efeito dos

sólidos suspensos na polpa de manga integral é decrescente até taxas de deformação em torno de 150 s^{-1} e a partir daí o efeito tende a uma relação constante para taxa de deformações mais altas. Segundo PELEGRINE (1999), isso indica um comportamento favorável para diminuir o efeito de sedimentação em prateleira.

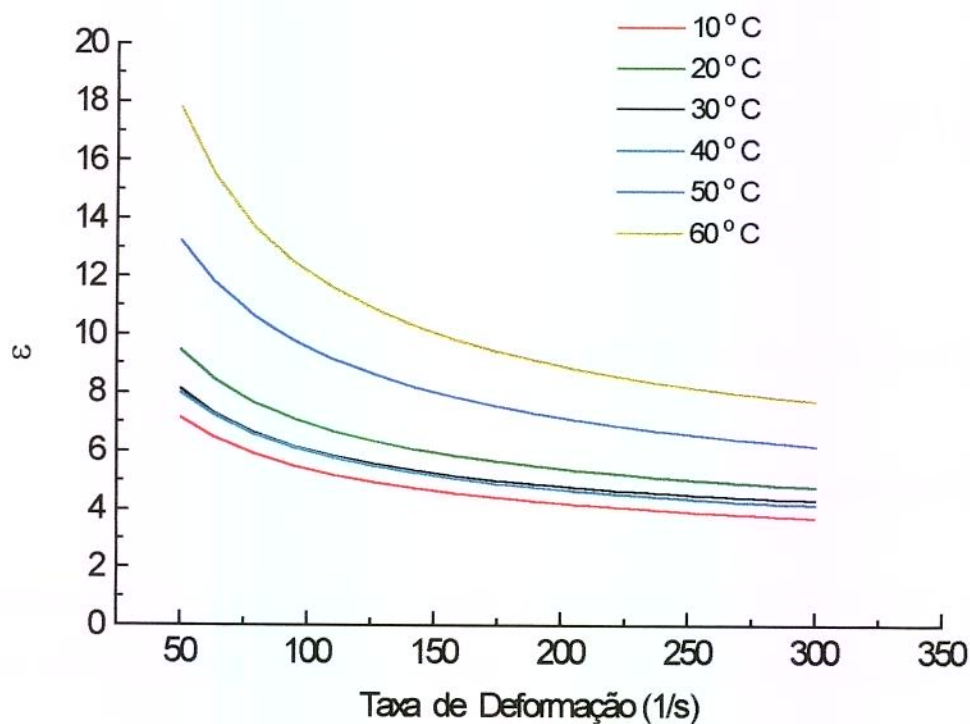


Figura 4.23-Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) da polpa de manga integral e centrifugada.

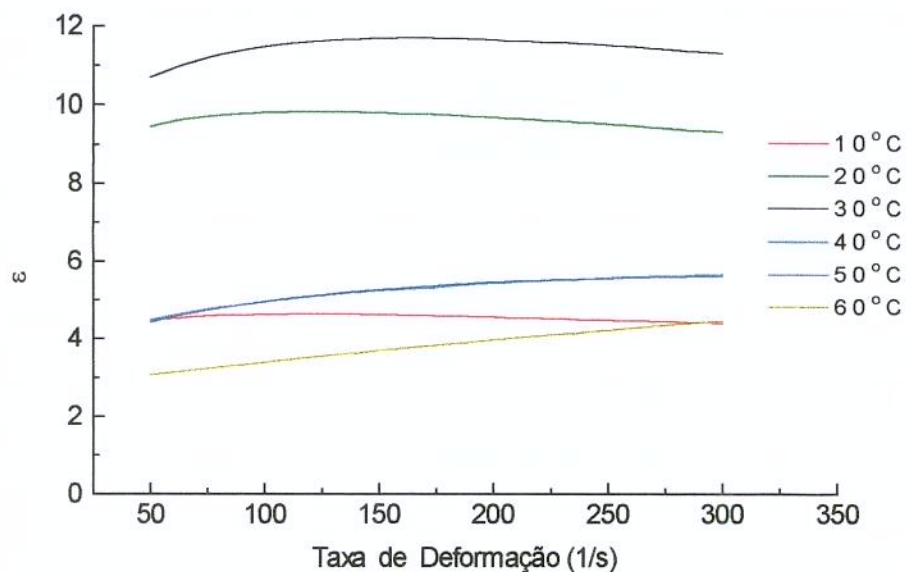


Figura 4.24-Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) da polpa de manga integral e despectinizada.

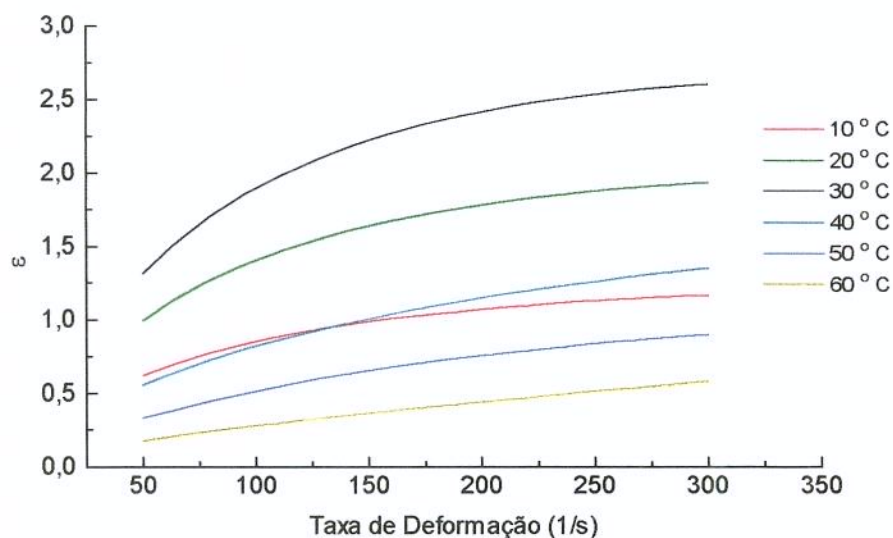


Figura 4.25-Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) da polpa de manga centrifugada e despectinizada.

As Figuras 4.24 e 4.25 mostram que a relação entre as viscosidades aparentes aumentam até a temperatura de 30°C. Para as temperaturas de 40°C a 60°C observa-se que essa relação diminui. O efeito dos sólidos suspensos e pectina é crescente até taxas de deformação em torno de 50s⁻¹ e a partir daí o efeito tende a uma relação constante para taxa de deformações mais altas.

Segundo PELEGRINE (1999), a presença da pectina exerce efeito crescente na viscosidade aparente com a taxa de deformação, tanto na polpa de manga integral quanto na centrifugada, quando comparada com a polpa despectinizada.

4.5 EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE OS PARÂMETROS REOLÓGICOS

O efeito da temperatura sobre os parâmetros reológicos que representam o índice de consistência (K_M) dos modelos Mizhari-Berk, Lei da Potência e Casson foram ajustados através do software ORIGIN, usando-se o comportamento descrito pelo modelo de Arrhenius $\ln K_M = A + BT^{-1}$.

Nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9, estão resultados das corridas experimentais para o sistema de cilindros concêntricos para polpa de manga integral, centrifugada e despectinizada respectivamente. Portanto, esses serão os resultados experimentais aos quais serão reajustados os parâmetros de comportamento reológico, para ficarem representados em função da temperatura.

Para os modelos de Mizhari-Berk, e de Casson onde existe o termo de tensão inicial K_{OM} , e considerando que esse parâmetro não foi medido, sendo portanto apenas o resultado de um ajuste de curva, não foi buscada sua dependência com a temperatura. O novo valor, recalculado é apenas o resultado de um novo ajuste, agora usando os novos parâmetros.

Como o caso de polpa de manga integral está descrita pelo modelo Mizhari-Berk, buscou-se uma dependência do tipo linear para o índice de comportamento (n_M) em função da temperatura, como representado na Figura 4.26. Nessa Figura destacou-se o ponto relativo à temperatura de 40°C (313K), para evidenciar que ele não foi utilizado na obtenção da reta de ajuste.

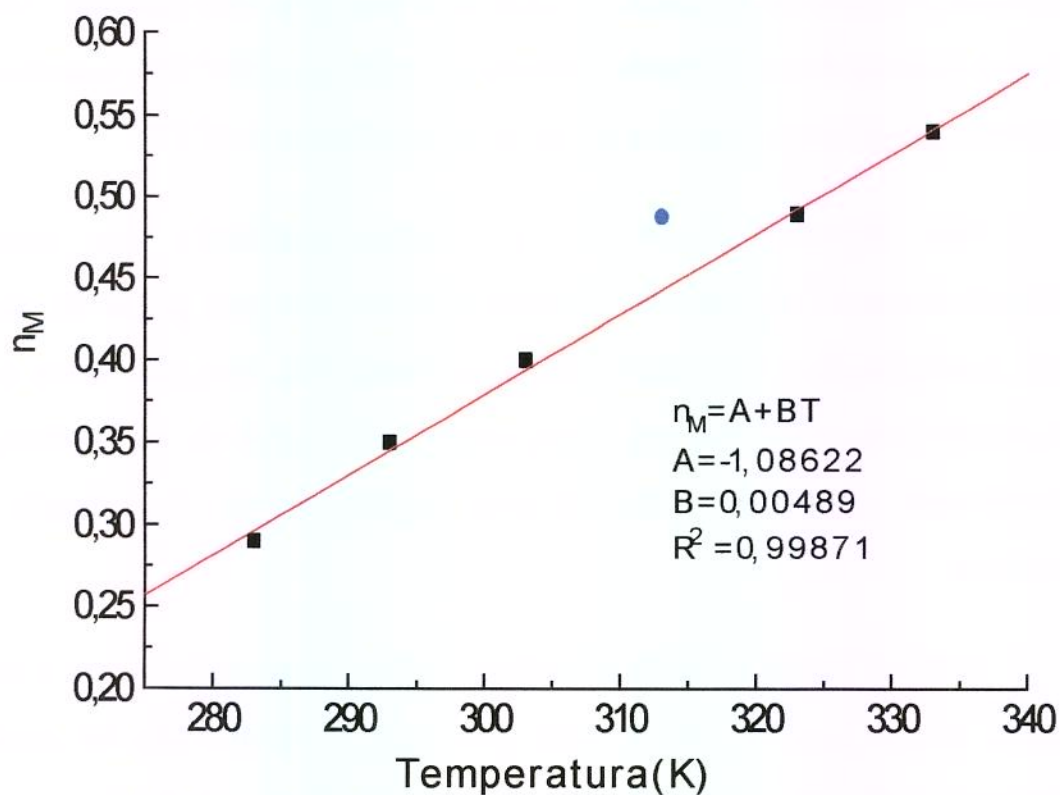


Figura 4.26-Efeito da temperatura sobre o parâmetro n_M Mizhari-Berk para polpa de manga integral.

Na Tabela 4.9 estão os parâmetros do índice de comportamento (n_M) ajustados ao reograma e aqueles obtidos pelo ajuste de uma dependência linear com a temperatura conforme ilustrado na Figura 4.26.

Tabela 4.9-Parâmetros de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral

Temperatura (°C)	n_M (ajuste ao reograma)	n_M (por $n_M=A+BT$)
10	0,29	0,30
20	0,35	0,35
30	0,40	0,40
40	0,49	0,44
50	0,49	0,49
60	0,54	0,54

Para a descrição do parâmetro K_M (índice de consistência), buscou-se uma dependência do tipo Arrhenius $\ln K_M = A + BT^{-1}$, para K_M em função da temperatura, como representado na Figura 4.27. O ponto relativo à temperatura de 40°C (313K) não foi considerado para este ajuste.

Na Tabela 4.10 estão os parâmetros K_M (índice de consistência), ajustados ao reograma e aqueles obtidos pelo reajuste de uma dependência tipo Arrhenius com a temperatura, conforme ilustrado na Figura 4.27.

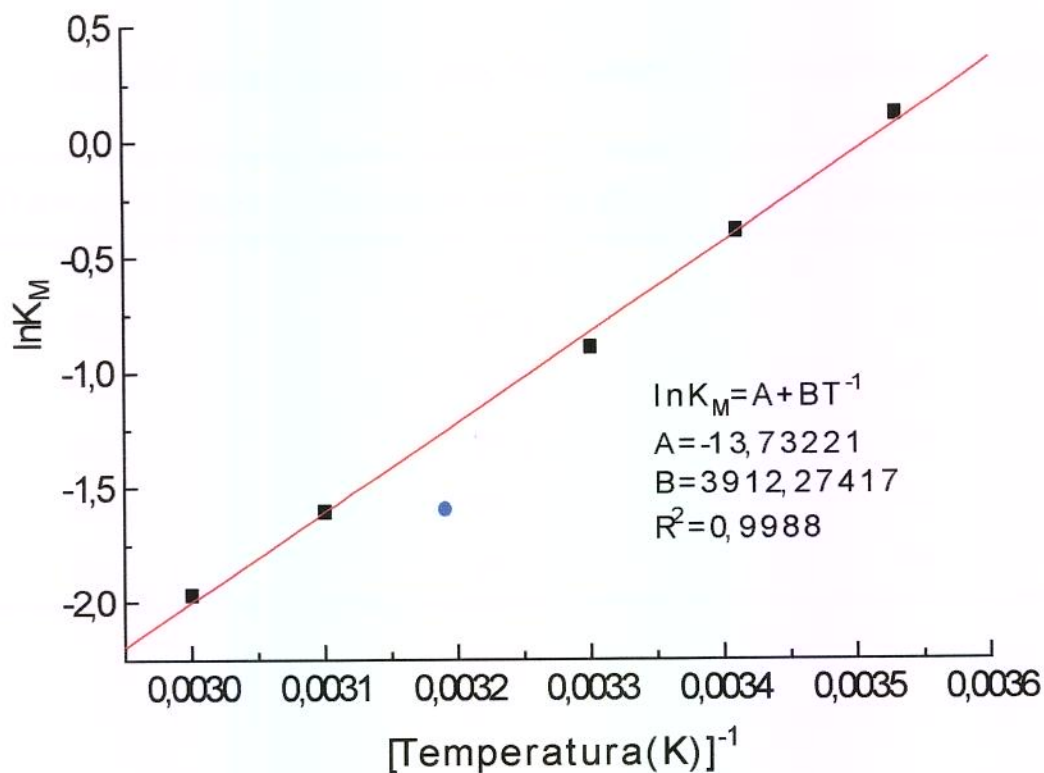


Figura 4.27-Efeito da temperatura sobre o parâmetro K_M Mizrahi-Berk (M-B) para polpa de manga integral.

Tabela 4.10-Parâmetros de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral

Temperatura (°C)	K_M (ajuste ao reograma)	K_M ($\ln K_M = A + BT^{-1}$)
10	1,12	1,08
20	0,68	0,68
30	0,41	0,49
40	0,21	0,29
50	0,20	0,20
60	0,14	0,14

Na Figura 4.28 os pontos marcados representam os valores fornecidos diretamente no levantamento dos reogramas. As linhas contínuas representam o modelo Mizrahi-Berk com os novos parâmetros K_M e n_M ajustados pela dependência com a temperatura, valores esses dados na Tabelas 4.9 e 4.10. Neste caso o novo parâmetro K_{OM} foi obtido a partir de uma regressão linear, usando-se os pontos experimentais e os novos valores de K_M e n_M fornecidos pela dependência com a temperatura.

Comparando-se as curvas das Figuras 4.28 e 4.7, nota-se que este procedimento de recalculer os parâmetros reológicos é perfeitamente admissível.

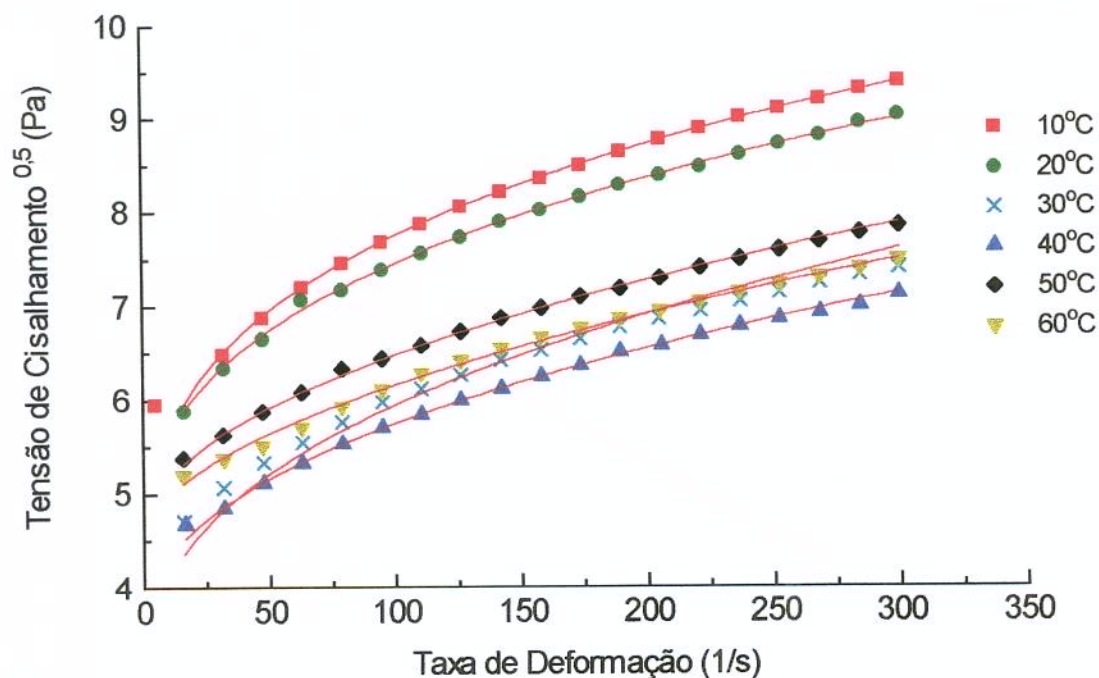


Figura 4.28-Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Tabela 4.11-Parâmetros de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral

Temperatura (°C)	K_{OM} (ajuste ao reograma)	K_{OM} (recalculado)
10	3,41	3,49
20	4,12	4,13
30	3,47	2,90
40	3,81	3,54
50	4,57	4,53
60	4,51	4,51

Como o caso de polpa de manga centrifugada está descrita pelo modelo Lei da Potência, buscou-se uma dependência do tipo linear para o índice de comportamento (n_M) em função da temperatura, como representado na Figura 4.29.

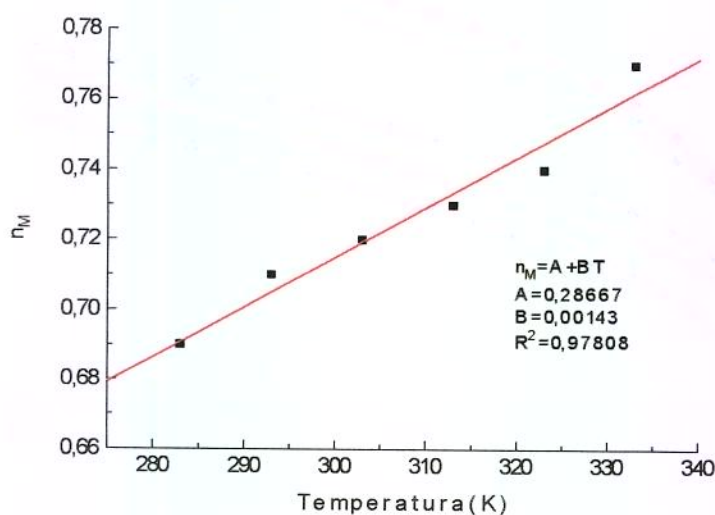


Figura 4.29-Efeito da temperatura sobre o parâmetro n_M (Lei da Potência) para polpa de manga centrifugada.

Na Tabela 4.12 estão os parâmetros do índice de comportamento (n_M) ajustados, ao reograma e aqueles obtidos pelo reajuste de uma dependência linear com a temperatura conforme ilustrado na Figura 4.29.

Tabela 4.12-Parâmetros da Lei da Potência para polpa de manga centrifugada

Temperatura (°C)	n_M (ajuste ao reograma)	n_M (por $n_M = A + BT$)
10	0,69	0,69
20	0,71	0,71
30	0,72	0,72
40	0,73	0,73
50	0,74	0,75
60	0,77	0,76

Como a polpa de manga centrifugada está descrita pelo modelo Lei da Potência, buscou-se uma dependência do Arrhenius, $\ln K_M = A + BT^{-1}$ para K_M (índice de consistência) em função da temperatura, como representado na Figura 4.30.

Na Tabela 4.13 estão os parâmetros K_M (índice de consistência) ajustados, ao reograma e aqueles obtidos pelo reajuste de uma dependência tipo Arrhenius com a temperatura, conforme ilustrado na Figura 4.30.

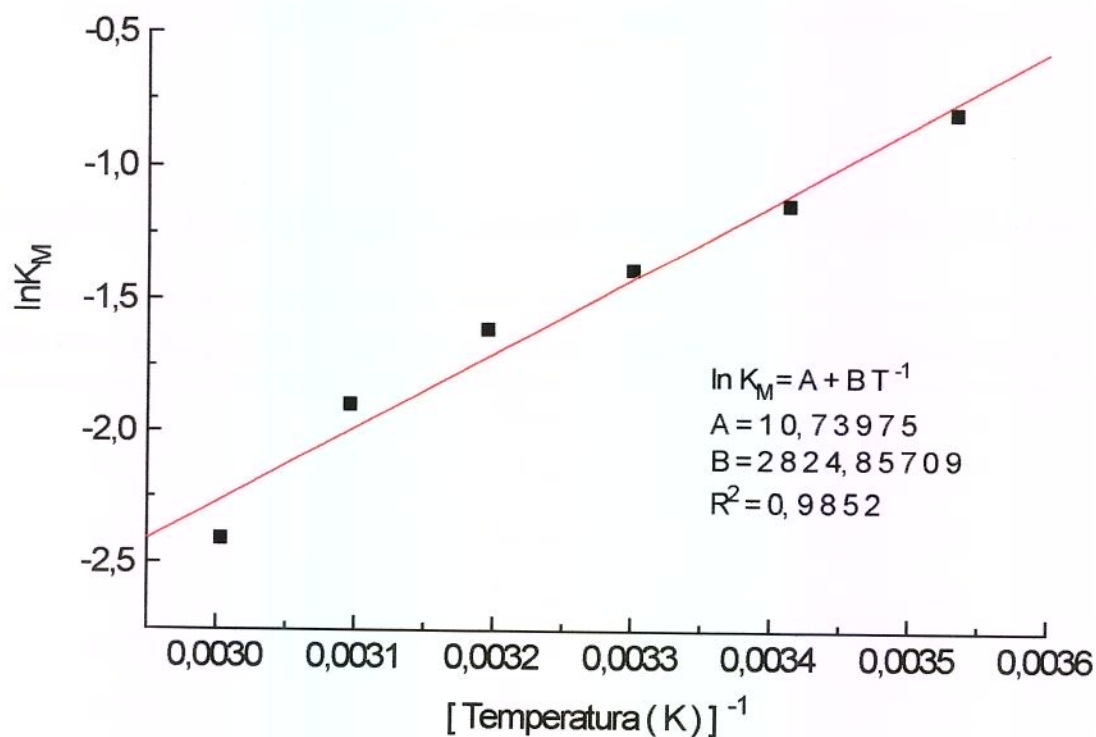


Figura 4.30-Efeito da temperatura sobre o parâmetro K_M (Lei da Potência) para polpa de manga centrifugada.

Tabela 4.13-Parâmetros da Lei da Potência para polpa de manga centrifugada

Temperatura (°C)	K_M (ajuste ao reograma)	K_M ($\ln K_M = A + B T^{-1}$)
10	0,45	0,46
20	0,32	0,33
30	0,25	0,24
40	0,20	0,18
50	0,15	0,14
60	0,09	0,10

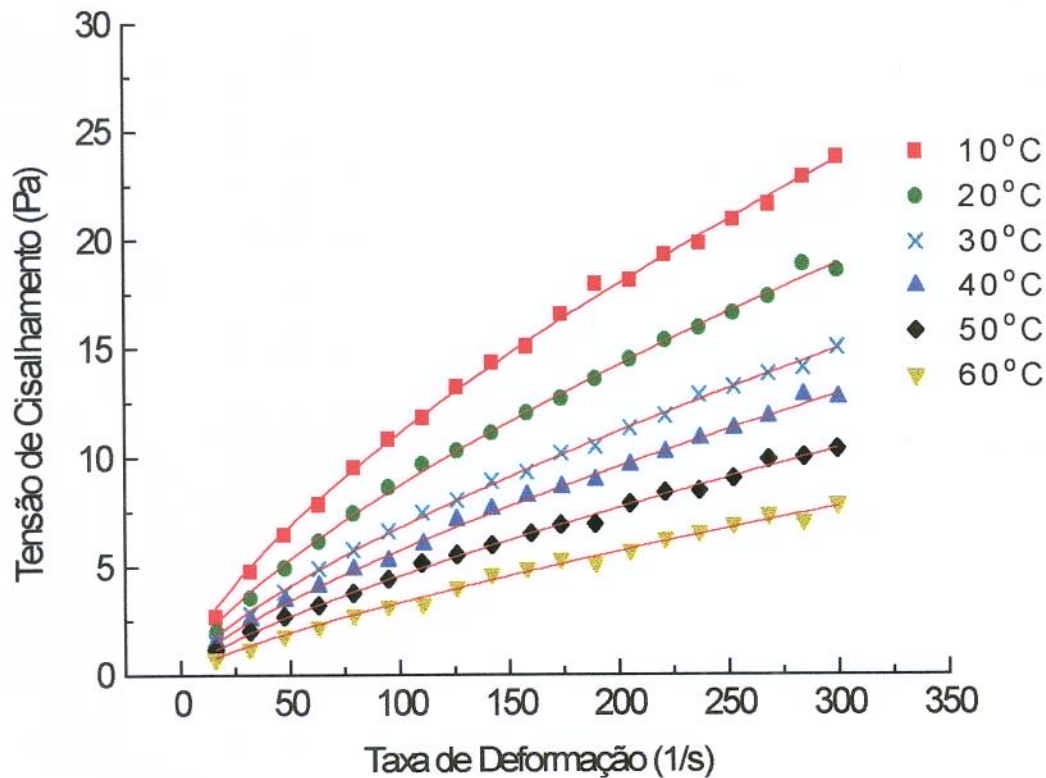


Figura 4.31-Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga centrifugada descrita pelo modelo Lei da Potência.

Na Figura 4.31 os pontos marcados representam os valores dados pelo reômetro e fornecidos diretamente no levantamento dos reogramas. As linhas contínuas representam o modelo Lei da Potência com os novos parâmetros K_M e n_M ajustados. Comparando-se com a Figura 4.8 nota-se que o novo ajuste está muito bom.

Como o caso de polpa de manga despectinizada está descrita pelo modelo de Casson buscou-se uma dependência do tipo Arrhenius, $\ln K_M = A + BT^{-1}$ para K_M (índice de consistência) em função da temperatura, como representado na Figura 4.32.

Na Tabela 4.14 estão os parâmetros K_M (índice de consistência) ajustados, ao reograma e aqueles obtidos pelo reajuste de uma dependência tipo Arrhenius com a temperatura, conforme ilustrado na Figura 4.32. Para esse reajuste não foram considerados os pontos relativos às temperaturas de 40°C (313K) e 50°C (323K).

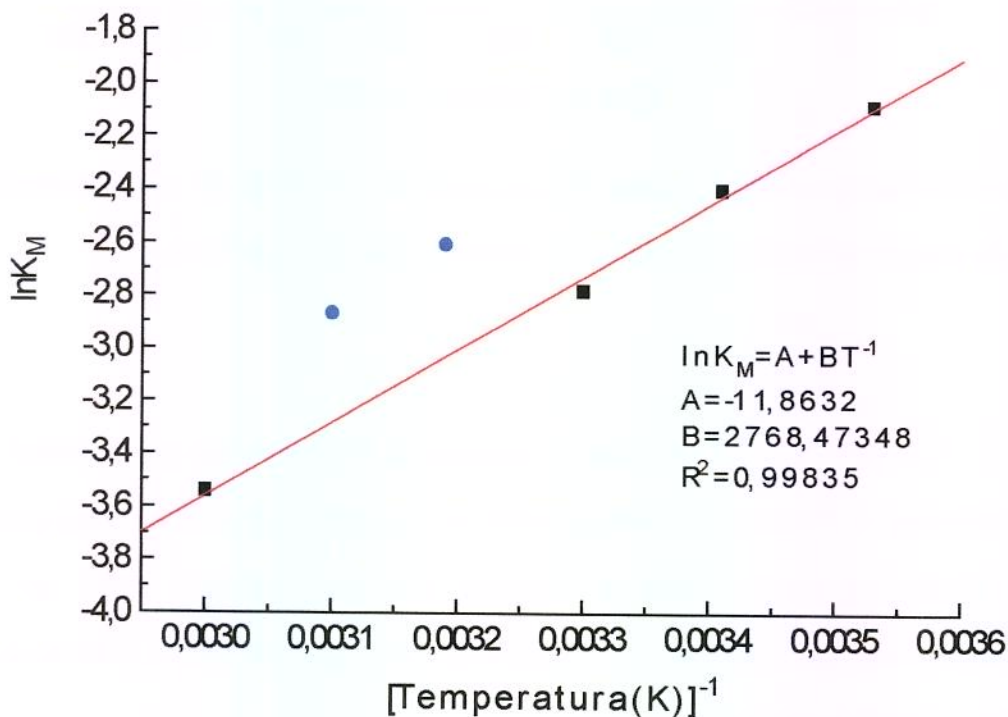


Figura 4.32-Efeito da temperatura sobre o parâmetro K_M (Casson) para polpa de manga despectinizada.

Tabela 4.14-Parâmetros de Casson para polpa de manga despectinizada

Temperatura (°C)	K_M (ajuste ao reograma)	K_M ($\ln K_M = A + BT^{-1}$)
10	0,12	0,12
20	0,09	0,09
30	0,06	0,06
40	0,07	0,05
50	0,06	0,04
60	0,03	0,03

Na Figura 4.33 os pontos marcados representam os valores dados pelo reômetro e fornecidos diretamente no levantamento dos reogramas. As linhas contínuas representam o modelo de Casson com os novos parâmetros K_M (índice de consistência) reajustados pela dependência com a temperatura, valores esses dados na Tabela 4.15.

Neste caso o novo parâmetro K_{OM} foi obtido a partir de uma regressão linear usando-se os pontos experimentais e o novo valor de K_M (índice de consistência) fornecido pela sua dependência com a temperatura.

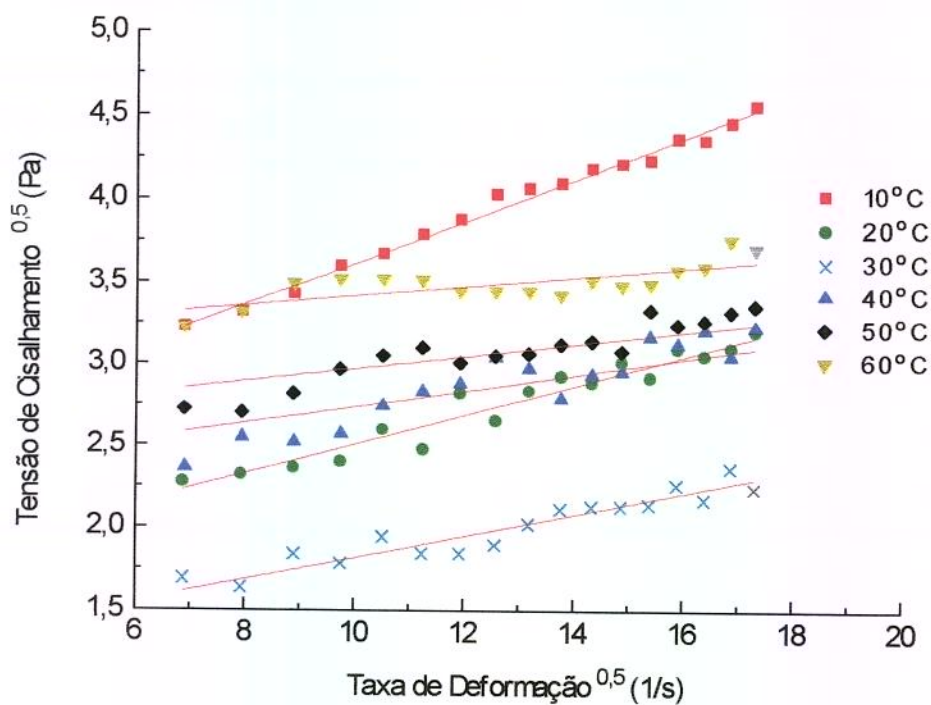


Figura 4.33-Relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de manga despectinizada descrita pelo modelo de Casson

Tabela 4.15-Parâmetros de Casson para polpa de manga despectinizada

Temperatura (°C)	K_{OM} (ajuste ao reograma)	K_{OM} (recalculado)
10	2,37	2,37
20	1,60	1,62
30	1,21	1,16
40	1,92	2,25
50	2,34	2,60
60	3,12	3,13

Comparando-se com as curvas das Figuras 4.33 e 4.8 nota-se que o fato de ter desprezado os pontos relativos às temperaturas de 40°C (313K) e 50°C (323K), não afetou a qualidade da descrição do comportamento usando os novos parâmetros recalculados. Portanto, estes são os novos ajustes para os modelos que descrevem o comportamento reológico das polpas de manga, levando agora em consideração a dependência dos parâmetros reológicos com a temperatura. A sua vantagem é que esses parâmetros, índice de consistência (K_M) e índice de comportamento (n_M), estão descritos de maneira mais coerente pois todos podem ser representados diretamente em função da temperatura. Essa representação é muito mais conveniente, principalmente para uso em algoritmos de cálculos de processos e de equipamentos.

5-CONCLUSÕES

Quanto ao trabalho desenvolvido, pode-se concluir que:

- 1) Nos reogramas a leitura é confiável para $\dot{\gamma}$ a partir de 50s^{-1} , para todos os sistemas de medidas;
- 2) Todas as amostras ensaiadas apresentaram comportamento pseudoplástico em todos os sistemas de medidas;
- 3) Para a polpa de manga integral obteve-se uma adequação de todos os sistemas de medidas utilizados, já que as curvas são bem consistentes, com exceção das placas paralelas de 30mm, gap=0,5mm na temperatura de 60°C. Daí ser possível recomendar qualquer dos sistemas utilizados;
- 4) Dentre os modelos de Mizrahi-Berk, Lei da Potência e Casson utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa de manga, o de Mizrahi-Berk, proporcionou melhores parâmetros de ajuste, apesar dos outros dois também se mostraram aceitáveis, como pode ser visto pelos parâmetros estatísticos de ajuste.
- 5) Para a polpa de manga integral, a viscosidade diminui com o aumento da temperatura até 40°C. Para as temperaturas de 50°C a 60°C ocorre um aumento da viscosidade;
- 6) Para a polpa de manga centrifugada, a viscosidade diminui com o aumento da temperatura até 60°C;

7) Para a polpa de manga despectinizada, a viscosidade diminui com o aumento da temperatura até 30°C. Para as temperaturas de 40°C a 60°C ocorre um aumento da viscosidade;

8) O sistemas de cilindros concêntricos e as placas paralelas pq 45, com distância de 1,0mm, são os mais adequados à caracterização reológica das polpas ensaiadas;

9) A relação entre viscosidade aparente das polpas ensaiadas tem um comportamento decrescente no caso integral/centrifugada, quase constante para integral/despectinizada e crescente no caso centrifugada/despectinizada. Estas relações podem ser um indicador da facilidade ou dificuldade para sedimentação de partículas suspensas, conforme discutido por PELEGRINE (1999);

10) A tentativa de correlacionar os parâmetros reológicos com a temperatura, conforme exposto no item 4.5, teve sucesso em todos os casos. No caso de polpas integral e despectinizada, os resultados mostram um inversão na dependência com a temperatura na região 30°C, 40°C e 50°C. Resultados como esses não aparece na literatura por que são feitos ajustes para cada temperatura sem interesse de obter uma descrição contínua para a dependência, principalmente do índice de consistência (K_M), em função da temperatura, como feito neste trabalho.

6-SUGESTÕES

1) Sugerimos ampliar o estudo da dependência dos parâmetros reológicos com a temperatura, principalmente daqueles casos com alto teor de sólidos insolúveis, onde se observou uma inversão no comportamento do índice de consistência (K_M).

2) Sugerimos o estudo da polpa centrifugada, adicionada de sólidos suspensos da própria fruta, porém separados em diferentes tamanhos de partículas. Estes casos têm interesse na estabilidade das polpas e também no desempenho de equipamento como filtros e centrífugas.

7-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMSTALDEN, L. C. **Estudo da deposição de hesperidina em evaporadores da indústria de citrus**. Campinas (SP): UNICAMP, 1996. 94p. Tese de Doutorado.
- BIRD, R. B; STEWART, W. E. ; LIGHTFOOT, E. N. Fenômenos de Transporte Editorial Reverté, S.A. ; 1960.
- BOTREL, N. **Inf. Agropec.**, Belo Horizonte, v.17, n.179, p.55-60, 1994.
- BRANCO, I. G. **Suco de laranja concentrado-comportamento reológico a baixas temperaturas**. Campinas (SP), UNICAMP, 1995. 88p. Tese de Mestrado.
- CASSON, N. , 1959, A flow equation for pigment-oil suspensions of the printing ink type, in Rheology of Disperse Suspensions, C. C. Mill (Ed), (Pergamon press, New York).
- CASTALDO, D.; TRIFIRÒ A.; GHERARDI, S., ZAMBELLI, G., BAZZARINI, R. Caratterizzazione reologica di puree di mela trattate con enzimi fluidicanti. **Industria Conserve**, v.59, n.2, p.109-115, 1984.
- CEREZAL, P.; BATISTA, A. R.; PIÑERA, R. M. Evaluation de cultivares de mango para la elaboracion de pulpas. **Alimentaria**, n. 260,29-31, 1995.
- COSTELL, E.; DURAN, L, Reología fisico-química de los zumos y purés de frutas. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v.22, n.1, p80-94, 1982.

- COSTELL, E.; DURAN, L. Reología físico-química del puré de albaricoque. Parte I. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v.22, n.3, p.381-394, 1982b.
- CUNHA, G. A. P. C. ; SAMPAIO, J. M. M.; NASCIMENTO, A. S. N. N. ; FILHO, H. P. S.; MEDINA, V. M. Manga para exportação: aspectos técnicas da produção, **FRUPEX - Manual de Exportação de Frutas**. Brasília, 1994.
- CHARM, S. Viscometry of on-newtonian food materials. **Food Research**, Chicago, 25(3): 351-362, 1960
- CRANDALL, P. G. , CHEN, C. S. and CARTER, R. D. Models for predicting viscosity of orange juice concentrate. **Food Technology**, nº 36, vol. 5, p. 245-252, 1982.
- DALMO, L. S. NEIDE, B. ; VÂNIA, D. C. ; H. V. R. ; FLÁVIO, A. A. C. Características físicas e químicas de vinte cultivares de mangueira (*Mangífera indica* L.), Uberaba-Mg. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.10, n. 2 p. 49-54, 1988.
- EZELL, G. H. Viscosity of concentrated orange and grapefruit juices. **Food Technology**, v.13, p.9-13, 1959.
- FEITOSA, T.; MUNIZ, C. R.; BASTOS, M. S. R.; OLIVEIRA, M. E. B.; OLIVEIRA, S. Perfil Microbiológico de frutas produzidas e comercializadas no estado do Ceará e Rio Grande do Norte. **In: Congresso**

Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 15., 1996, Poços de Caldas, MG.

FORMAGGIO, G. J. **Projeto, construção e ensaio de um viscosímetro capilar**. Campinas(SP), UNICAMP, 1982. 87p. Tese de Mestrado.

FODA, Y. H.; McCOLLUM, J. P. Viscosity as affected by various constituents of tomato juice. **Journal of Food Science**, v.35, p.333-338, 1970.

GASPARETTO, C. A. **Comportamento Reológico dos Fluidos Reais**. São Carlos, S.P. 1983.

GARCIA, R.; RIVERA, J.; ROLZ, C. Rheological properties of some tropical fruit products and their enzymic clarification. **Proc. IV Int. Cong. Food Sci. & Tech.**, v.2, p.18-26, 1974.

GEHRKE, T. **Reometria de suco concentrado de frutas**. Campinas(SP), UNICAMP, 1996. 52p. Tese de Mestrado.

GINER, J.; IBARZ, A.; GARZA, S.; XHIAN-QUAN, S. Rheology of Clarified Cherry Juices. **Journal of Food Engineering**, v.30, n.1/2, p.147-154, 1996

GOVIER, G. W. **The flow of complex mixtures in pipes**. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1972.

GHERARDI, S.; CASTALDO, D.; TRIFIRO', A. Effect of liquefying enzymes on pear purees: relationships between analytical composition and rheological properties. **Fluess. Obst.**, v.12, p. 639-644, 1985.

-
- HAND, D. B.; MOYER, J. C.; RANSFORD, J. R.; HENING, J. C.; WHITTEMBERGER, R. T. Effect of processing conditions on the viscosity of tomato juice. **Food Technology**, v.9, p.228-235, 1955.
- HARPER, J. C. Viscometric behaviour in relation to evaporation of fruit purees. **Food Technology**, v.14, p.557-61, 1960.
- HARPER, J. C.; EL SAHRIGI, A. F. Viscometric behaviour of tomato concentrates. **Journal of Food Science**, v.30, p.470-476, 1965.
- HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, v.2, n.4, p.393-418, 1971.
- HOLDSWORTH, S. D. Consistency and texture of fruit product. **Food Manufacture**, v.48, p.25-27, 1973.
- HULME, A. C. The biochemistry of fruit and their products. London: **Academic Press**, 1970, v. 2, 788p.
- IBARZ, A.; GONZALEZ, C.; ESPLUGAS, S.; VICENTE, M.; Rheology of clarified fruit juices: I - peach juices. **Journal of Food Engineering**, v.15, n.1, p.49-61, 1992.
- IBARZ, A.; PAGAN, J.; MIGUELSANZ, R. Rheology of clarified fruit juices: II - blackcurrant juices. **Journal of Food Engineering**, v.15, n.1, p.63-73, 1992.

- IBARZ, A.; VICENTE, M.; GRAELL, J. Rheological behaviour of apple juice and pear juice and their concentrates. **J. Food Engineering**, v.6, p.257-67, 1987.
- IBARZ, A.; GONÇALVES, C.; EXPLUGAS, S. Rheology of Clarified Passion Fruit Juices. **Fruit Processing**, v.6, n.8, p.330-333, 1996.
- JINESCU, V. V. The rheology of suspensions. **Int. Chem. Engineering**, v.14, n.3, p.397-420, 1974.
- JIMENES, G. & DURAN, L. Propriedades reológicas de produtos derivados de frutas y tomate. **Revista de agroquímica y tecnologia de Alimentos**, Valência, 19(2): 203-216, 1979.
- KRIEGER, C. L. & ELROD, H. Direct determination of the flow curves of non-newtonian fluids. Shearing rate in the concentric viscometer. **Journal of Applied Physics**, 24 (2); 134-136, february, 1953.
- LARRAURI, J. A.; BORROTO, B.; HOMBRE, R.; CRUZ, H. Elaboracion de Mermelada Concentrada a partir de cascaras de mangos. **Alimentaria**, n. 277, p.53-56, 1996.
- LOZANO, J. E.; IBARZ, A. Thixotropic Behaviour of Concentrated Fruit Pulps. **Lebensmittel-wissenschaft & Technologie**, v. 27, n.1, p.16-18, 1994.

- MANOHAR, B.; RAMAKRISHNA, P.; RAMTEKE, R. S. Effect of pectin content on flow Properties of mango pulp concentrates. **Journal of Texture Studies**, v.21, p.179-190, 1990.
- MANOHAR, B.; RAMAKRISHNA, P.; UDAYASANKAR, K. Some physical properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) Juice concentrates. **Journal of Food Engineering**, v.13, n.4, p.241-258, 1991.
- MEDINA, J. C. BLEINROTH, E. W. DE MARTIN, Z. J. QUAST, D. G. HASHIZUME, T. FIGUEIREDO, N. M. S. CANTO, W. L. BICUDO NETO, L. C. Manga da cultura ao processamento e comercialização, Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas (**Série Frutas Tropicais**), n. 8, 1981.
- MENJIVAR, J. A. & RHA, C. K. Viscoelastic effect in concentrated protein dispersions. **Rheol. Acta, Darmstadt**, 19(2): 212-219, 1980.
- MIZRAHI S. and BERK, Z. Flow behaviour of concentrad orange juice: mathematical treatament. **Journal of Texture** n. 1, v. 3. p. 69-79, 1972.
- MISSAIRE, F.; QIU, C. G.; RAO, M. A. Research Note - Yield stress of structured and unstructured food suspensions. **Journal of Texture Studies**, v.21, n.4, 1991.
- NAGY, S. , CHEN, C. S. , SHAW, P. E. Fruit juice processing technology. Agscience, **Inc. Alburquerque**, Flórida. 1993. 713p.

- NAGY, S, SHAW, P. E. Tropical and subtropical fruits; composition properties and uses. Connecticut: **The Avi Publishing Company**, 1980. 570p.
- ONOFRE, P. M. **Redução da viscosidade em suco de laranja com tratamento enzimático**. Campinas: UNICAMP, 1995. 71p. tese de Mestrado.
- PEARSON, D. **Laboratory Techniques in Food Analysis**. London: London Butterwoths, 1973. p. 58-60.
- PELEGRINE, D. H. **Comportamento Reológico das polpas de manga e abacaxi**. Campinas, UNICAMP, 1999, 114p. Tese de Mestrado.
- PINTO, A. C. de Q. & GENUÍ, P. J. de C. Qualidade de frutos de seis variedades de mangas (*Manfigera indica* L.), brasileiras cultivadas na região dos cerrados. Planaltina, CPAC, 1981, 11p. (CPAC, **Boletim**, 4).
- PRADO, M. E. T. **Vida de prateleira e perda de vitamina C durante o armazenamento de um alimento de umidade intermediária obtido da mistura suco-polpa de manga (*Mangifera indica* L.). desenvolvimento de modelos matemáticos**. Lavras (MG): UFL. 1994. 112p. Tese de Mestrado.
- QUEIROZ, A. J. M. , VIDAL, J. R. M. , VIDAL, B. C. , GASPARETTO, C. A. Influência dos sólidos suspensos na reologia do suco de abacaxi. **Encontro sobre escoamento em meios porosos**, (ENEMP), XXIV. 1996, Uberlândia-MG.

- QUEIROZ, A. J. **Análise do Comportamento Reológico dos Sucos de Abacaxi e Manga**. Campinas, UNICAMP, 1998. 109. Tese de Doutorado.
- QIU, C-G.; RAO, M. A. Role of pulp content and particle size in yield stress of apple sauce. **Journal of Food Science**, v.54, n.4, p.1165-1170, 1988.
- RAO, M. A. BOURNE, M. C. & COOLEY, H. J. Flow properties of tomato concentrates. **J. Texture Studies**, Westport, 12(4): 521-538, 1981.
- RAO, M. A. Rheology of liquid foods - **J. Texture Studies**, v. 8 (2), p.135-168, 1977.
- RAO, M.A. Rheological properties of fluid foods. In: RAO, M. A. & RIZVI, S. S. H. (eds) , **Engineering properties of foods**, p. 1-47, MARCEL DEKKER, New York, **Food Science and Technology** series, n. 19, 1986.
- RAO, M. A. Rheology of liquid foods - a review. **Journal of Texture Studies**, v.8, n.2, p.135-68, 1977.
- RAO, M. A. & RIZVI, S. S. **Engineering Properties of Foods**, New York, Marcel Dekker, 1986
- RAO, M.A.; OTOYA PALOMINO, L. N.; BERNHARDT, L. W. Flow properties of tropical fruit purees. **Journal of Food Science**, v.39, p.160-161, 1974.

- RAO, M. A. and COOLEY, H. J. Applicability of flow models with yield for tomato concentrates. **Journal of food process engineering**, n.3, v.6, p159-173, 1982.
- RODRIGUES, J. A. S. ; PINHEIRO, R. V. R. ; MANICA, I. ; CASALI, V. W. D. & CONDÊ, A. R. Comportamento de dez variedades de manga (*Mangifera indica* L.) em Viçosa e Visconde do Rio Branco, Ceres, Viçosa, 24 (136): 580-95, nov / dez. 1977.
- ROEHRIG, G. K. L. The physiological effects of dietary fiber: a review. **Food Hydrocolloids**, v.2, n.1, p. 1-18, 1988.
- SARAVACOS, G. D. Tube viscometry of fruit purees and juices. **Food Technology**, v.22, n.12, p.1585-1588, 1968.
- SARAVACOS, G. D. Effect of temperature on viscosity of fruits juice and purees. **Journal of Food Science**, v.35, p.122-125, 1970.
- SAENZ, C.; COSTELL, E. Comportamiento reológico de productos de limón. Influência de la temperatura y de la concentracion. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v.26, n.4, p.581-588, 1986.
- SALUNKE, D. K. & DESAI, B. B. Postharvest biotechnology of fruits. **Boca Raton**, CRC Press. 1984. v. 1, p. 77-93.
- SARAVACOS, G. C. & MOYER, J. C. Tube viscometry of tomato juice and concentrates. Geneva, N. Y. , New York State. Agricultura Experiment

- Station. Cornell University. Department of Food Science and Technology, 11p, 1967.
- SUNFELD, E. **Propriedades reológicas do suco clarificado de caju (Anacardium occidentale, Linn)**, Exame de qualificação para Doutorado, UNICAMP (SP), 1994, 80p.
- SCHRAMM, G. **Introduction to Practical Viscometry**. Germany: Gebrueder HAAKE, 1981. 116p.
- SKELLAND, A. H. P. **Non-Newtonian flow and heat transfer**. New York, John Wiley & Sons, 469p, 1967.
- SMITH, R. E.; PARK, A. Effect of Gap Errors in Rotacional Concentric Cylinder Viscometers. **Journal of Rheology**, v. 28, n.2, p.155-160, 1984.
- TRAVAGLINI, D.; CARVALHO, P. R. N.; RUIZ, F. S.; SHIROSE, I. Processamento de Flocos de Manga em Secador do tipo Monocilíndrico Rotativo. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.2, p.193-202, 1994.
- TANGLERTPAIBUL, T.; RAO, M. A. Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size and methods of concentration. **Journal of Food Science**, v.52, n.1, p.141-145, 1987.
- TORREST, R. S. Rheogical properties of aqueous solutions of the polimer natosol 250 HHR. **Journal of Rheology**, 26 (2): 143-151, 1982.

- TELIS J. R. & GASPARETTO, C. A. Parâmetros de escoamento do suco de laranja concentrado utilizando dados da força de arraste atuando sobre uma esfera. **XXI Encontro sobre escoamento em meios porosos**. Ouro Preto, Minas gerais. Anais, v. 1, 243-254, 1993.
- TELIS, J. R. and VIEIRA, J. A. G. Reologia de fluidos alimentícios com taxa de deformação intermediária utilizando o reômetro de esfera descendente. **Encontro sobre escoamento em meios porosos**, (ENEMP)-São Carlos, Anais, IV. 1, 323-334, 1992.
- TRIFIRO', A.; SACCANI, G.; GHERARDI, S.; BIGLIARDI, D. Effect of content and sizes of suspended particles on the rheological behaviour of apricot purees. **Industria Conserve**, v.62, p.97-104, 1987.
- VAQUEZ-SALINAS, C. LAKSHMINARROYANA, S. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, p. 1646-1648, 1985.
- VAN WAZER, R. J. , LYONS, J. W. ; KIM, K. I. & COLWELL, R. E. Viscosity and flow measurement: a laboratory hadbrook of rheology. New York, **In terscience Publishers**, 406p, 1963.
- VARSHNEY, N. N.; HUMBHAR, B. K. Effect of concentration and temperature on rheological properties of pineapple and orange juices. **Journal of Food Science Technology**, v.15, p.53-55, 1978.
- VIDAL, J. R. M. B. **Estudo reológico do suco de manga - efeito dos sólidos insolúveis**. Campinas, 1997. 81p. Dissertação (Mestre em Engenharia de

- Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- VITALI, A. A.; RAO, M. A. Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: serum viscosity and effect of pulp content. **Journal of Food Science**, v.49, n.3, p.876-881, 1984.
- VITALI, A. A.; RAO, M. A. Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: Effect of temperature and concentration. **Journal of Food Science**, v.49, n.3, p.882-888, 1984.
- VITALI, A. A.; **Comportamento reológico de purê de goiaba (*Psidium guajava* L.) em função da concentração e temperatura**. São Carlos: USP, 1981. 151. Tese de Mestrado.
- VOCADLO, J. J. and CHARLES, M. E. Measurement of yield stress of fluid. Like Viscoplastic Substances. **Can. J. Chem. Eng.** 49; p. 576-582, 1971.
- WATSON, E. L. Rheological behaviour of apricot purees and concentrates. **Can. Agr. Eng.**, v.10, p.8-11, 1968.
- WHITTEMBERGER, R.T.; NUTTING, G. C. Effect of tomato cell structures on consistency of tomato juice. **Food Technology**, v.13, p.19-22, 1957.

8-APÊNDICE

8.1-RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Tabela A1 Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley (H-B) para manga integral, pq 45; gap=1mm.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	7,39	-10,22	6,13	2,17	13,02	19,12
K_M	13,80	15,75	2,99	3,60	1,24	1,45
n_M	0,35	0,26	0,47	0,39	0,56	0,57
erro K_{0M}	3,11	7,29	0,46	1,52	1,69	1,50
erro K_M	1,49	4,65	0,15	0,65	0,39	0,32
erro n_M	0,01	0,03	0,00	0,02	0,04	0,03
X²	0,27	0,49	0,01	0,09	0,41	0,35
SSR	4,43	7,90	0,28	1,49	6,63	5,73
R²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela A2 modelo de Herschel-Bulkley (H-B) para manga integral, pq 45; gap=1mm.

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
49,88	26,73	19,53	14,56	21,41	28,65	23,45
60,95	32,23	24,40	18,01	22,68	32,36	45,38
68,42	36,80	28,28	20,74	25,44	35,38	68,77
76,02	40,62	31,47	23,15	28,10	38,20	91,52
82,12	44,01	34,51	25,32	31,08	41,38	115,00
87,31	47,06	37,08	27,21	33,50	43,85	138,00
92,06	49,63	39,41	28,66	34,50	46,08	160,80
95,72	52,02	41,55	29,74	36,22	48,18	183,70
99,12	54,36	43,62	30,82	37,67	50,80	206,85
102,67	56,13	45,60	31,90	39,71	53,83	230,00
106,15	57,97	47,39	33,15	40,68	56,07	252,75
108,95	58,98	48,97	34,44	42,57	56,63	275,55
111,35	60,44	50,60	35,58	42,67	57,63	298,65
114,15	62,21	52,32	36,48	45,68	60,08	322,10
116,70	63,16	53,81	37,32	45,90	61,33	344,90
119,55	64,34	55,04	38,37	47,10	62,57	367,60
122,40	65,12	56,58	38,89	48,63	64,63	390,75
125,30	65,30	58,03	39,52	49,32	66,05	413,80
127,10	66,31	59,48	41,36	49,99	67,45	436,30

Tabela A3 Parâmetros do modelo (Lei da Potência) para manga integral, pq 45; gap=1,0mm

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	17,54	9,74	5,26	4,58	6,12	8,70
n_H	0,32	0,31	0,39	0,35	0,34	0,33
erro K_{0M}	0,22	0,29	0,10	0,10	0,35	0,47
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
X²	0,33	0,55	0,14	0,09	1,03	1,67
SSR	5,76	9,37	2,48	1,65	17,58	28,48
R²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98

Tabela A4 modelo (Lei da Potência) para manga integral, pq 45; gap=1,0mm

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
49,88	26,73	19,53	14,56	21,41	28,65	23,45
60,95	32,23	24,40	18,01	22,68	32,36	45,38
68,42	36,80	28,28	20,74	25,44	35,38	68,77
76,02	40,62	31,47	23,15	28,10	38,20	91,52
82,12	44,01	34,51	25,32	31,08	41,38	115,00
87,31	47,06	37,08	27,21	33,50	43,85	138,00
92,06	49,63	39,41	28,66	34,50	46,08	160,80
95,72	52,02	41,55	29,74	36,22	48,18	183,70
99,12	54,36	43,62	30,82	37,67	50,8	206,85
102,67	56,13	45,60	31,90	39,71	53,83	230,00
106,15	57,97	47,39	33,15	40,68	56,07	252,75
108,95	58,98	48,97	34,44	42,57	56,63	275,55
111,35	60,44	50,60	35,58	42,67	57,63	298,65
114,15	62,21	52,32	36,48	45,68	60,08	322,10
116,70	63,16	53,81	37,32	45,90	61,33	344,90
119,55	64,34	55,04	38,37	47,10	62,57	367,60
122,40	65,12	56,58	38,89	48,63	64,63	390,75
125,30	65,30	58,03	39,52	49,32	66,05	413,80
127,10	66,31	59,48	41,36	49,99	67,45	436,30

Tabela A5 Parâmetros do modelo de Casson para manga integral, pq 45; gap=1,0mm

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	6,23	4,59	3,66	3,29	3,80	4,49
n_H	0,24	0,18	0,19	0,15	0,16	0,18
erro K_{0M}	0,11	0,11	0,06	0,06	0,04	0,03
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X²	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
SSR	0,38	0,36	0,11	0,13	0,07	0,04
R²	0,98	0,97	0,99	0,98	0,99	0,99

Tabela A6 modelo de Casson para manga integral, pq 45; gap=1,0mm

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
7,06	5,17	4,41	3,81	4,62	5,35	4,84
7,80	5,67	4,93	4,24	4,76	5,68	6,73
8,27	6,06	5,31	4,55	5,04	5,94	8,29
8,71	6,37	5,60	4,81	5,30	6,18	9,56
9,06	6,63	5,87	5,03	5,57	6,43	10,75
9,34	6,86	6,08	5,21	5,78	6,62	11,77
9,59	7,04	6,27	5,35	5,87	6,78	12,61
9,78	7,21	6,44	5,45	6,01	6,94	13,55
9,95	7,37	6,60	5,55	6,13	7,12	14,38
10,13	7,49	6,75	5,64	6,30	7,33	15,16
10,30	7,61	6,88	5,75	6,37	7,48	15,89
10,43	7,67	6,99	5,86	6,52	7,52	16,60
10,55	7,77	7,11	5,96	6,53	7,59	17,28
10,68	7,88	7,23	6,03	6,75	7,75	17,94
10,80	7,94	7,33	6,10	6,77	7,83	18,57
10,93	8,02	7,41	6,19	6,86	7,91	19,17
11,06	8,06	7,52	6,23	6,97	8,03	19,76
11,19	8,08	7,61	6,28	7,02	8,12	20,34
11,27	8,14	7,71	6,43	7,07	8,21	20,88

Tabela A7 Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley (H-B) para manga integral, pq 45; gap=0,5mm.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	0,42	35,17	5,06	-2,59	6,87	18,38
K_M	5,02	6,27	2,28	6,41	1,82	0,91
n_M	0,39	0,42	0,47	0,35	0,49	0,61
erro K_{0M}	0,86	4,68	0,53	3,58	1,88	2,38
erro K_M	0,30	1,47	0,13	1,45	0,44	0,32
erro n_M	0,00	0,02	0,00	0,02	0,03	0,04
X²	0,03	1,16	0,02	0,37	0,32	1,13
SSR	0,48	18,60	0,36	6,03	5,23	18,13
R²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela A8 modelo de Herschel-Bulkley (H-B) para manga integral, pq 45; gap=0,5mm.

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
23,06	69,11	19,16	23,68	18,72	26,12	44,67
29,82	75,80	24,32	29,42	23,72	35,15	92,84
34,87	83,51	28,33	34,09	27,54	38,03	137,85
39,20	91,22	32,03	38,23	29,81	40,57	183,40
42,71	96,96	35,03	41,78	33,32	43,74	229,60
45,80	102,21	37,72	45,11	35,02	45,96	276,45
48,86	107,30	40,26	48,01	37,28	49,96	321,95
51,25	111,75	42,48	50,94	39,88	53,70	367,80
53,86	115,50	44,51	53,96	42,82	56,35	413,75
55,97	119,55	46,55	55,46	43,97	57,05	460,00
57,89	122,75	48,55	57,72	45,37	58,52	505,85
59,83	125,55	50,06	59,24	47,95	62,38	551,20
61,67	128,95	51,71	60,99	47,33	64,51	598,90
63,60	131,65	53,60	62,96	50,07	65,63	644,15
65,04	134,85	55,30	63,81	51,58	68,81	690,15
67,05	136,90	56,77	65,75	53,41	69,76	735,45
68,90	138,90	58,30	66,31	54,52	73,84	781,55
70,46	141,60	59,99	68,04	55,51	75,30	828,20
71,30	142,55	61,14	69,22	57,74	76,97	872,65

Tabela A9 Parâmetros do modelo (Lei da Potência) para manga integral, pq 45; gap=0,5mm

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	5,17	21,68	3,75	5,41	3,81	5,59
n_H	0,38	0,27	0,41	0,37	0,39	0,38
erro K_{0M}	0,04	0,75	0,07	0,15	0,16	0,41
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
X²	0,02	2,98	0,11	0,36	0,48	2,74
SSR	0,49	50,68	1,94	6,25	8,22	46,72
R²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98

Tabela A10 modelo (Lei da Potência) para manga integral, pq 45; gap=0,5mm

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
23,06	69,11	19,16	23,68	18,72	26,12	44,67
29,82	75,80	24,32	29,42	23,72	35,15	92,84
34,87	83,51	28,33	34,09	27,54	38,03	137,85
39,20	91,22	32,03	38,23	29,81	40,57	183,40
42,71	96,96	35,03	41,78	33,32	43,74	229,60
45,80	102,21	37,72	45,11	35,02	45,96	276,45
48,86	107,30	40,26	48,01	37,28	49,96	321,95
51,25	111,75	42,48	50,94	39,88	53,70	367,80
53,86	115,50	44,51	53,96	42,82	56,35	413,75
55,97	119,55	46,55	55,46	43,97	57,05	460,00
57,89	122,75	48,55	57,72	45,37	58,52	505,85
59,83	125,55	50,06	59,24	47,95	62,38	551,20
61,67	128,95	51,71	60,99	47,33	64,51	598,90
63,60	131,65	53,60	62,96	50,07	65,63	644,15
65,04	134,85	55,30	63,81	51,58	68,81	690,15
67,05	136,90	56,77	65,75	53,41	69,76	735,45
68,90	138,90	58,30	66,31	54,52	73,84	781,55
70,46	141,60	59,99	68,04	55,51	75,30	828,20
71,30	142,55	61,14	69,22	57,74	76,97	872,65

Tabela A11 Parâmetros do modelo de Casson para manga integral, pq 45; gap=0,5mm

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	4,09	7,30	3,60	4,13	3,59	4,31
n_H	0,15	0,16	0,14	0,14	0,13	0,15
erro K_{0M}	0,09	0,07	0,06	0,10	0,06	0,06
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X²	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
SSR	0,27	0,18	0,14	0,32	0,12	0,12
R²	0,98	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99

Tabela A12 modelo de Casson para manga integral, pq 45; gap=0,5mm

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
4,80	8,31	4,37	4,86	4,32	5,11	6,68
5,46	8,70	4,93	5,42	4,87	5,92	9,63
5,90	9,13	5,32	5,83	5,24	6,16	11,74
6,26	9,55	5,65	6,18	5,45	6,36	13,54
6,53	9,84	5,91	6,46	5,77	6,61	15,15
6,76	10,11	6,14	6,71	5,91	6,77	16,62
6,99	10,35	6,34	6,92	6,10	7,06	17,94
7,15	10,57	6,51	7,13	6,31	7,32	19,17
7,33	10,74	6,67	7,34	6,54	7,50	20,34
7,48	10,93	6,82	7,44	6,63	7,55	21,44
7,60	11,07	6,96	7,59	6,73	7,64	22,49
7,73	11,20	7,07	7,69	6,92	7,89	23,47
7,85	11,35	7,19	7,80	6,87	8,03	24,47
7,97	11,47	7,32	7,93	7,07	8,10	25,38
8,06	11,61	7,43	7,98	7,18	8,29	26,27
8,18	11,70	7,53	8,10	7,30	8,35	27,11
8,30	11,78	7,63	8,14	7,38	8,59	27,95
8,39	11,90	7,74	8,24	7,45	8,67	28,77
8,44	11,93	7,81	8,31	7,59	8,77	29,54

Tabela A13 Parâmetros do modelo de Herchel - Bulkley (H-B) para manga integral

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	16,44	21,15	14,08	15,74	22,55	21,17
K_M	5,35	3,37	1,69	0,93	1,08	0,78
n_M	0,45	0,50	0,55	0,63	0,62	0,66
erro K_{0M}	0,44	1,59	0,53	0,72	0,54	0,99
erro K_M	0,17	0,52	0,14	0,14	0,11	0,18
erro n_M	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04
X²	0,01	0,025	0,04	0,11	0,06	0,25
SSR	0,22	4,06	0,65	1,81	1,01	4,03
R²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela A14 Modelo de Herchel - Bulkley (H-B) para manga integral

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
35,52	34,67	22,19	21,90	28,99	27,05	15,71
42,18	40,26	25,75	23,55	31,68	28,90	31,76
47,37	44,33	28,48	26,22	34,54	30,43	47,19
51,91	50,07	30,82	28,45	37,01	32,64	62,83
55,70	51,56	33,31	30,61	40,14	35,18	78,86
59,10	54,66	35,80	32,59	41,51	37,47	94,72
62,13	57,25	37,48	34,16	43,34	39,53	110,45
65,01	59,82	39,29	35,96	45,3	41,33	126,05
67,55	62,38	41,30	37,43	47,20	42,99	142,00
70,02	64,46	42,69	39,09	48,64	44,51	157,85
72,25	66,66	44,28	40,49	50,43	45,86	173,55
74,81	68,74	46,02	42,39	51,58	47,23	189,20
77,06	70,45	47,23	43,27	53,19	48,40	205,10
79,09	72,02	48,33	44,68	54,90	49,67	221,00
81,26	74,19	49,73	45,98	56,25	51,14	236,70
82,95	76,10	51,03	47,06	57,71	52,36	252,35
84,83	77,65	52,54	47,89	59,06	53,43	268,20
86,76	80,15	53,81	49,00	60,42	54,75	284,20
88,35	81,57	54,88	50,70	61,55	56,10	299,45

Tabela A15 Parâmetros do modelo (Lei da Potência) para manga integral

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	13,22	13,36	7,60	7,16	11,16	9,88
n_H	0,33	0,31	0,34	0,33	0,29	0,29
erro K_{0M}	0,31	0,48	0,32	0,41	0,605	0,63
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
X²	0,62	1,33	0,75	1,19	1,77	2,03
SSR	10,60	22,64	12,84	20,29	30,18	34,64
R²	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97

Tabela A16 Modelo (Lei da Potência) para manga integral

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
35,52	34,67	22,19	21,90	28,99	27,05	15,71
42,18	40,26	25,75	23,55	31,68	28,90	31,76
47,37	44,33	28,48	26,22	34,54	30,43	47,19
51,91	50,07	30,82	28,45	37,01	32,64	62,83
55,70	51,56	33,31	30,61	40,14	35,18	78,86
59,10	54,66	35,80	32,59	41,51	37,47	94,72
62,13	57,25	37,48	34,16	43,34	39,53	110,45
65,01	59,82	39,29	35,96	45,30	41,33	126,05
67,55	62,38	41,30	37,43	47,20	42,99	142,00
70,02	64,46	42,69	39,09	48,64	44,51	157,85
72,25	66,66	44,28	40,49	50,43	45,86	173,55
74,81	68,74	46,02	42,39	51,58	47,23	189,20
77,06	70,45	47,23	43,27	53,19	48,40	205,10
79,09	72,02	48,33	44,68	54,90	49,67	221,00
81,26	74,19	49,73	45,98	56,25	51,14	236,70
82,95	76,10	51,03	47,06	57,71	52,36	252,35
84,83	77,65	52,54	47,89	59,06	53,43	268,20
86,76	80,15	53,81	49,00	60,42	54,75	284,20
88,35	81,57	54,88	50,70	61,55	56,10	299,45

Tabela A17 Parâmetros do modelo de Herchel-Bulkley (H-B) para manga centrifugada

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{OM}	-1,12	-0,9	-0,68	0,18	0,16	-0,29
K_M	0,65	0,48	0,36	0,17	0,132	0,131
n_M	0,63	0,65	0,66	0,74	0,76	0,72
erro K_{OM}	0,48	0,48	0,28	0,32	0,26	0,35
erro K_M	0,10	0,09	0,05	0,04	0,03	0,05
erro n_M	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,06
X²	0,05	0,05	0,01	0,03	0,02	0,04
SSR	0,84	0,87	0,31	0,60	0,43	0,66
R²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela A18 Modelo Herchel - Bulkley (H-B) para manga centrifugada

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
2,71	2,02	1,54	1,57	1,20	0,76	15,88
4,82	3,60	2,84	2,57	2,04	1,25	31,47
6,50	4,97	3,88	3,47	2,73	1,83	47,06
7,90	6,20	4,95	4,14	3,24	2,25	62,90
9,58	7,50	5,82	4,90	3,81	2,81	78,96
10,88	8,69	6,69	5,30	4,44	3,22	94,77
11,87	9,74	7,53	6,05	5,18	3,30	110,45
13,28	10,36	8,10	7,18	5,57	4,09	126,10
14,41	11,18	9,00	7,67	6,00	4,70	141,95
15,14	12,09	9,38	8,28	6,54	4,96	157,95
16,61	12,76	10,25	8,67	6,94	5,37	173,50
18,04	13,67	10,58	8,98	6,99	5,18	189,20
18,22	14,56	11,41	9,68	7,91	5,76	205,10
19,41	15,43	11,98	10,25	8,44	6,28	221,10
19,95	15,99	12,94	10,90	8,52	6,61	236,65
21,04	16,68	13,30	11,33	9,08	6,96	252,30
21,74	17,46	13,91	11,88	9,95	7,40	268,30
23,03	18,98	14,20	12,87	10,06	7,07	284,20
23,92	18,68	15,10	12,75	10,42	7,88	299,50

Tabela A19 Parâmetros do modelo (Lei da Potência) para manga centrifugada.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_M	0,45	0,32	0,25	0,20	0,15	0,09
n_M	0,69	0,71	0,72	0,73	0,74	0,77
erro K_M	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
erro n_M	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02
X^2	0,06	0,06	0,02	0,03	0,02	0,04
SSR	1,16	1,09	0,44	0,61	0,44	0,69
R^2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela A20 Modelo (Lei da Potência) para manga centrifugada

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
2,71	2,02	1,54	1,57	1,20	0,76	15,88
4,82	3,60	2,84	2,57	2,04	1,25	31,47
6,50	4,97	3,88	3,47	2,73	1,83	47,06
7,90	6,20	4,95	4,14	3,24	2,25	62,9
9,58	7,50	5,82	4,90	3,81	2,81	78,96
10,88	8,69	6,69	5,30	4,44	3,22	94,77
11,87	9,74	7,53	6,05	5,18	3,30	110,45
13,28	10,36	8,10	7,18	5,57	4,09	126,10
14,41	11,18	9,00	7,67	6,00	4,70	141,95
15,14	12,09	9,38	8,28	6,54	4,96	157,95
16,61	12,76	10,25	8,67	6,94	5,37	173,50
18,04	13,67	10,58	8,98	6,99	5,18	189,20
18,22	14,56	11,41	9,68	7,91	5,76	205,10
19,41	15,43	11,98	10,25	8,44	6,28	221,10
19,95	15,99	12,94	10,90	8,52	6,61	236,65
21,04	16,68	13,30	11,33	9,08	6,96	252,30
21,74	17,46	13,91	11,88	9,95	7,40	268,30
23,03	18,98	14,20	12,87	10,06	7,07	284,20
23,92	18,68	15,10	12,75	10,42	7,88	299,50

Tabela A21 Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley (H-B) para manga despectinizada

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	7,44	3,71	2,31	5,13	7,57	-14,28
K_M	0,17	0,05	0,00	0,04	0,00	20,53
n_M	0,75	0,83	1,00	0,82	1,17	0,05
erro K_{0M}	0,63	0,56	0,28	0,80	0,42	156,83
erro K_M	0,08	0,05	0,01	0,07	0,009	153,53
erro n_M	0,07	0,15	0,22	0,27	0,34	0,31
X²	0,15	0,16	0,06	0,31	0,22	0,35
SSR	2,41	2,56	1,07	5,09	3,53	5,68
R²	0,98	0,95	0,93	0,88	0,86	0,77

Tabela A22 Modelo de Herschel-Bulkley (H-B) para manga despectinizada

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
9,45	4,50	2,45	5,97	8,23	9,45	16,10
9,60	4,53	2,66	6,16	7,99	9,60	31,28
10,40	5,18	2,87	5,59	7,41	10,40	47,41
11,01	5,40	2,68	6,49	7,29	11,01	62,88
11,73	5,60	3,39	6,34	7,93	12,18	78,84
12,98	5,78	3,18	6,60	8,79	12,39	94,67
13,51	6,76	3,79	7,52	9,30	12,39	110,55
14,37	6,14	3,40	8,02	9,59	12,34	125,95
15,05	7,98	3,40	8,29	9,03	11,87	141,95
16,25	7,04	3,60	9,23	9,30	11,87	157,85
16,52	8,05	4,09	8,81	9,37	11,87	173,65
16,78	8,55	4,46	7,77	9,72	11,72	189,05
17,50	8,34	4,52	8,58	9,84	12,34	205,00
17,74	9,06	4,53	8,70	9,45	12,11	221,00
17,92	8,51	4,58	10,01	11,07	12,18	236,80
19,01	9,55	5,11	9,72	10,47	12,80	252,25
18,94	9,30	4,72	10,26	10,63	12,95	268,10
19,82	9,60	5,59	9,27	11,00	14,11	284,05
20,75	10,22	4,99	10,37	11,24	13,73	299,65

Tabela A23 Parâmetros do modelo de Casson para manga integral

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	5,15	5,11	3,96	3,86	4,61	4,37
n_H	0,25	0,22	0,20	0,18	0,18	0,18
erro K_{0M}	0,06	0,04	0,02	0,03	0,01	0,03
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SSR	0,11	0,07	0,02	0,02	0,00	0,03
R²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela A24 Modelo de Casson para manga integral

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
5,95	5,88	4,71	4,67	5,38	5,20	3,96
6,49	6,34	5,07	4,85	5,62	5,37	5,63
6,88	6,65	5,33	5,12	5,87	5,51	6,86
7,20	7,07	5,55	5,33	6,08	5,71	7,92
7,46	7,18	5,77	5,53	6,33	5,93	8,88
7,68	7,39	5,98	5,70	6,44	6,12	9,73
7,88	7,56	6,12	5,84	6,58	6,28	10,51
8,06	7,73	6,26	5,99	6,73	6,42	11,22
8,21	7,89	6,42	6,11	6,87	6,55	11,91
8,36	8,02	6,53	6,25	6,97	6,67	12,56
8,50	8,16	6,65	6,36	7,10	6,77	13,174
8,64	8,29	6,78	6,51	7,18	6,87	13,75
8,77	8,39	6,87	6,57	7,29	6,95	14,32
8,89	8,48	6,95	6,68	7,40	7,04	14,86
9,01	8,61	7,05	6,78	7,50	7,15	15,38
9,10	8,72	7,14	6,86	7,59	7,23	15,88
9,21	8,81	7,24	6,92	7,68	7,30	16,37
9,31	8,95	7,33	7,00	7,77	7,39	16,85
9,39	9,03	7,40	7,12	7,84	7,49	17,30

Tabela A25 Parâmetros do modelo de Casson para manga centrifugada.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	0,66	0,52	0,51	0,63	0,59	0,36
n_H	0,25	0,23	0,20	0,17	0,15	0,14
erro K_{0M}	0,10	0,09	0,06	0,02	0,02	0,03
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X²	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
SSR	0,52	0,45	0,21	0,03	0,03	0,05
R²	0,98	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99

Tabela A26 Modelo de Casson para manga centrifugada.

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
0,2000	0,2236	0,2646	0,6557	0,6633	0,4000	0,2828
1,6400	1,4213	1,2410	1,2530	1,0955	0,8718	3,9850
2,1900	1,8974	1,6852	1,6031	1,4283	1,1180	5,6098
2,5400	2,2294	1,9698	1,8628	1,6523	1,3528	6,8600
2,8107	2,4900	2,2249	2,0347	1,8000	1,5000	7,9310
3,0952	2,7386	2,4125	2,2136	1,9519	1,6763	8,8859
3,2985	2,9479	2,5865	2,3022	2,1071	1,7944	9,7350
3,4453	3,1209	2,7441	2,4597	2,2760	1,8166	10,5100
3,6442	3,2187	2,8461	2,6796	2,3601	2,0224	11,2290
3,7961	3,3437	3,0000	2,7695	2,4495	2,1680	11,9140
3,8910	3,4771	3,0627	2,8775	2,5573	2,2271	12,5680
4,0755	3,5721	3,2016	2,9445	2,6344	2,3173	13,1720
4,2474	3,6973	3,2527	2,9967	2,6439	2,2760	13,7550
4,2685	3,8158	3,3779	3,1113	2,8125	2,4000	14,3210
4,4057	3,9281	3,4612	3,2016	2,9052	2,5060	14,8690
4,4665	3,9988	3,5972	3,3015	2,9189	2,5710	15,3830
4,5869	4,0841	3,6469	3,366	3,0133	2,6382	15,8840
4,6626	4,1785	3,7296	3,4467	3,1544	2,7203	16,3800
4,7990	4,3566	3,7683	3,5875	3,1718	2,6590	16,8580
4,8908	4,3220	3,8859	3,5707	3,2280	2,8071	17,3060

Tabela A27 Parâmetros do modelo (Lei da Potência) para manga despectinizada.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	2,89	1,26	0,77	2,42	4,49	6,87
n_H	0,33	0,35	0,32	0,24	0,15	0,11
erro K_{0M}	0,27	0,18	0,13	0,35	0,51	0,53
erro K_M	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01
X²	0,49	0,26	0,11	0,42	0,41	0,33
SSR	8,48	4,46	1,86	7,14	6,89	5,72
R²	0,96	0,92	0,87	0,83	0,73	0,77

Tabela A28 Modelo(Lei da Potência) para manga despectinizada

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
9,45	4,50	2,45	5,97	8,23	9,45	16,10
9,60	4,53	2,66	6,16	7,99	9,60	31,28
10,4	5,18	2,87	5,59	7,41	10,4	47,41
11,01	5,40	2,68	6,49	7,29	11,01	62,88
11,73	5,60	3,39	6,34	7,93	12,18	78,84
12,98	5,78	3,18	6,60	8,79	12,39	94,67
13,51	6,76	3,79	7,52	9,30	12,39	110,55
14,37	6,14	3,40	8,02	9,59	12,34	125,95
15,05	7,98	3,40	8,29	9,03	11,87	141,95
16,25	7,04	3,60	9,23	9,30	11,87	157,85
16,52	8,05	4,09	8,81	9,37	11,87	173,65
16,78	8,55	4,46	7,77	9,72	11,72	189,05
17,50	8,34	4,52	8,58	9,84	12,34	205,00
17,74	9,06	4,53	8,70	9,45	12,11	221,00
17,92	8,51	4,58	10,01	11,07	12,18	236,80
19,01	9,55	5,11	9,72	10,47	12,80	252,25
18,94	9,30	4,72	10,26	10,63	12,95	268,10
19,82	9,60	5,59	9,27	11,00	14,11	284,05
20,75	10,22	4,99	10,37	11,24	13,73	299,65

Tabela A29 Parâmetros do modelo de Casson para manga despectinizada.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	2,46	1,66	1,27	2,05	2,51	2,99
n_H	0,11	0,08	0,05	0,06	0,04	0,03
erro K_{0M}	0,04	0,06	0,05	0,07	0,06	0,07
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X²	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
SSR	0,05	0,10	0,08	0,17	0,13	0,13
R²	0,98	0,95	0,92	0,87	0,81	0,75

Tabela A30 modelo de Casson para manga despectinizada

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
3,0741	2,1213	1,5653	2,4434	2,8688	3,0741	4,0125
3,0984	2,1284	1,6310	2,4819	2,8267	3,0984	5,5929
3,2249	2,2760	1,6941	2,3643	2,7221	3,2249	6,8855
3,3181	2,3238	1,6371	2,5476	2,7000	3,3181	7,9297
3,4249	2,3664	1,8412	2,5179	2,8160	3,4900	8,8792
3,6028	2,4042	1,7833	2,5691	2,9648	3,5199	9,7299
3,6756	2,6000	1,9468	2,7423	3,0496	3,5199	10,5140
3,7908	2,4779	1,8439	2,8320	3,0968	3,5128	11,2230
3,8794	2,8249	1,8439	2,8792	3,0050	3,4453	11,9140
4,0311	2,6533	1,8974	3,0381	3,0496	3,4453	12,5640
4,0645	2,8373	2,0224	2,9682	3,0611	3,4453	13,1780
4,0963	2,9240	2,1119	2,7875	3,1177	3,4235	13,7500
4,1833	2,8879	2,1260	2,9292	3,1369	3,5128	14,3180
4,2119	3,0100	2,1284	2,9496	3,0741	3,4799	14,8660
4,2332	2,9172	2,1401	3,1639	3,3272	3,4900	15,3880
4,3601	3,0903	2,2605	3,1177	3,2357	3,5777	15,8820
4,3520	3,0496	2,1726	3,2031	3,2604	3,5986	16,3740
4,4520	3,0984	2,3643	3,0447	3,3166	3,7563	16,8540
4,5552	3,1969	2,2338	3,2203	3,3526	3,7054	17,3100

Tabela A31 Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley (H-B) para manga integral, pq 30; gap=1,0mm.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	11,44	-11,17	10,15	2,07	19,31	26,18
K_M	2,97	27,50	2,23	9,15	1,08	0,30
n_M	0,48	0,20	0,49	0,29	0,60	0,85
erro K_{0M}	0,82	12,05	0,47	7,36	0,83	2,92
erro K_M	0,28	9,35	0,16	4,53	0,19	0,26
erro n_M	0,01	0,03	0,01	0,06	0,02	0,14
X²	0,06	0,49	0,02	0,82	0,18	4,49
SSR	0,97	7,93	0,34	13,17	2,93	71,92
R²	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,96

Tabela A32 modelo de Herschel-Bulkley (H-B) para manga integral, pq 30; gap=1,0mm.

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
22,60	36,73	18,98	24,08	24,51	28,76	15,53
27,27	44,14	22,25	26,94	27,13	31,84	30,77
30,84	48,14	24,95	29,91	29,93	33,61	45,58
33,67	51,87	27,31	32,69	32,18	36,45	60,75
36,36	54,32	29,44	35,12	34,58	38,51	76,40
38,81	57,41	31,28	37,18	36,47	43,97	92,02
40,91	59,93	33,00	39,32	38,25	43,73	107,00
42,80	62,00	34,64	40,66	40,00	44,03	122,35
44,35	64,11	36,00	42,14	41,65	44,88	137,80
46,16	65,19	37,63	44,42	43,03	46,40	153,15
47,81	67,23	38,65	46,35	44,09	51,34	168,25
49,28	67,20	39,86	47,16	45,43	50,37	183,50
50,59	69,5	41,05	47,78	46,60	58,30	198,95
51,97	70,65	42,09	47,26	47,68	55,81	214,35
53,57	71,03	43,15	48,62	48,91	54,88	229,55
55,20	71,73	44,41	49,45	50,25	59,13	244,75
56,69	72,41	45,51	49,85	51,27	58,17	260,05
58,15	74,35	46,72	51,15	52,57	63,04	275,65
59,17	77,02	47,48	50,93	53,36	68,13	290,55

Tabela A33 Parâmetros do modelo (Lei da Potência) para manga integral, pq 30; gap=1,0mm

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
Ko_M	8,15	19,18	6,86	10,46	10,28	9,73
n_H	0,34	0,24	0,33	0,28	0,28	0,32
erro Ko_M	0,24	0,39	0,21	0,42	0,65	1,16
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
X²	0,42	0,50	0,31	0,77	1,94	8,44
SSR	7,21	8,53	5,27	13,23	33,04	143,56
R²	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,93

Tabela A34 modelo (Lei da Potência) para manga integral, pq 30; gap=1,0mm

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
22,60	36,73	18,98	24,08	24,51	28,76	15,53
27,27	44,14	22,25	26,94	27,13	31,84	30,77
30,84	48,14	24,95	29,91	29,93	33,61	45,58
33,67	51,87	27,31	32,69	32,18	36,45	60,75
36,36	54,32	29,44	35,12	34,58	38,51	76,40
38,81	57,41	31,28	37,18	36,47	43,97	92,02
40,91	59,93	33,00	39,32	38,25	43,73	107,00
42,80	62,00	34,64	40,66	40,00	44,03	122,35
44,35	64,11	36,00	42,14	41,65	44,88	137,80
46,16	65,19	37,63	44,42	43,03	46,40	153,15
47,81	67,23	38,65	46,35	44,09	51,34	168,25
49,28	67,20	39,86	47,16	45,43	50,37	183,50
50,59	69,50	41,05	47,78	46,60	58,3	198,95
51,97	70,65	42,09	47,26	47,68	55,81	214,35
53,57	71,03	43,15	48,62	48,91	54,88	229,55
55,20	71,73	44,41	49,45	50,25	59,13	244,75
56,69	72,41	45,51	49,85	51,27	58,17	260,05
58,15	74,35	46,72	51,15	52,57	63,04	275,65
59,17	77,02	47,48	50,93	53,36	68,13	290,55

Tabela A35 Parâmetros do modelo de Casson para manga integral, pq 30; gap=1,0mm

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	4,07	5,67	3,72	4,35	4,32	4,,45
n_H	0,21	0,18	0,19	0,17	0,17	0,20
erro K_{0M}	0,04	0,09	0,03	0,08	0,03	0,11
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X²	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02
SSR	0,07	0,30	0,04	0,22	0,02	0,37
R²	0,99	0,96	0,99	0,97	0,99	0,96

Tabela A36 modelo de Casson para manga integral, pq 30; gap=1,0mm

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
4,7540	6,0605	4,3566	4,9071	4,9508	5,3628	3,9408
5,2221	6,6438	4,7170	5,1904	5,2087	5,6427	5,5471
5,5534	6,9383	4,995	5,4690	5,4708	5,7974	6,7513
5,8026	7,2021	5,2259	5,7175	5,6727	6,0374	7,7942
6,0299	7,3702	5,4259	5,9262	5,8805	6,2056	8,7407
6,2298	7,5769	5,5929	6,0975	6,0390	6,6310	9,5927
6,3961	7,7415	5,7446	6,2706	6,1847	6,6129	10,3440
6,5422	7,8740	5,8856	6,3765	6,3246	6,6355	11,0610
6,6596	8,0069	6,0000	6,4915	6,4537	6,6993	11,7390
6,7941	8,0740	6,1343	6,6648	6,5597	6,8118	12,37500
6,9145	8,1994	6,2169	6,8081	6,6400	7,1652	12,9710
7,0200	8,1976	6,3135	6,8673	6,7402	7,0972	13,5460
7,1127	8,3367	6,4070	6,9123	6,8264	7,6354	14,1050
7,2090	8,4054	6,4877	6,8746	6,9051	7,4706	14,6410
7,3192	8,4279	6,5689	6,9728	6,9936	7,4081	15,1510
7,4297	8,4694	6,6641	7,0321	7,0887	7,6896	15,6440
7,5293	8,5094	6,7461	7,0605	7,1603	7,6269	16,1260
7,6256	8,6226	6,8352	7,1519	7,2505	7,9398	16,6030
7,6922	8,7761	6,8906	7,1365	7,3048	8,2541	17,0460

Tabela A37 Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley (H-B) para manga integral, pq 30; gap=0,5mm.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	6,60	8,84	1,82	-67,38	0,93	19,07
K_M	3,74	12,68	2,25	63,19	4,87	1,26
n_M	0,43	0,32	0,48	0,09	0,36	0,57
erro K_{0M}	0,63	3,18	0,62	112,74	8,15	3,46
erro K_M	0,21	1,57	0,17	103,65	3,54	0,67
erro n_M	0,00	0,01	0,01	0,10	0,08	0,07
X²	0,02	0,21	0,03	2,03	2,07	1,83
SSR	0,37	3,50	0,56	32,57	33,21	29,40
R²	0,99	0,99	0,99	0,96	0,98	0,98

Tabela A38 modelo de Herschel-Bulkley (H-B) para manga integral, pq 30; gap=0,5mm.

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
23,24	48,40	14,21	19,93	17,45	28,19	30,79
28,48	58,15	18,56	24,16	24,51	31,89	61,30
32,73	64,56	22,24	27,75	25,63	35,94	91,45
36,30	69,98	25,34	30,78	28,25	37,49	122,30
39,43	74,82	28,23	34,65	32,21	44,06	152,85
42,34	79,30	30,90	35,93	34,11	44,04	183,55
44,71	82,95	33,17	38,06	33,74	43,56	213,95
46,75	86,67	35,25	39,21	37,00	48,75	244,70
48,89	89,85	37,38	39,93	40,36	51,23	275,45
50,85	92,42	39,37	39,70	40,90	51,72	306,25
52,74	95,46	41,10	40,51	41,81	57,03	336,70
54,52	97,50	42,50	40,61	42,92	55,15	367,05
55,95	99,60	43,91	41,12	40,80	56,74	398,05
57,75	102,05	45,64	41,91	47,21	59,22	428,90
59,20	104,85	47,12	41,76	48,80	59,48	459,20
61,06	107,05	48,63	43,66	47,36	62,34	489,45
62,22	107,80	50,06	46,27	47,27	64,20	520,45
63,61	109,80	51,58	47,64	49,72	66,02	551,25
64,65	110,70	52,51	48,88	51,14	67,57	581,10

Tabela A39 Parâmetros do modelo (Lei da Potência) para manga integral, pq 30; gap=0,5mm

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	6,31	17,31	2,77	8,30	5,29	8,06
n_H	0,36	0,29	0,46	0,27	0,35	0,32
erro K_{0M}	0,10	0,22	0,04	0,70	0,44	0,61
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
X²	0,13	0,28	0,04	2,25	1,95	2,96
SSR	2,23	4,86	0,83	38,40	33,23	50,44
R²	0,99	0,99	0,99	0,96	0,97	0,97

Tabela A40 modelo (Lei da Potência) para manga integral, pq 30; gap=0,5mm

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
23,24	48,40	14,21	19,93	17,45	28,19	30,79
28,48	58,15	18,56	24,16	24,51	31,89	61,30
32,73	64,56	22,24	27,75	25,63	35,94	91,45
36,30	69,98	25,34	30,78	28,25	37,49	122,30
39,43	74,82	28,23	34,65	32,21	44,06	152,85
42,34	79,30	30,90	35,93	34,11	44,04	183,55
44,71	82,95	33,17	38,06	33,74	43,56	213,95
46,75	86,67	35,25	39,21	37,00	48,75	244,70
48,89	89,85	37,38	39,93	40,36	51,23	275,45
50,85	92,42	39,37	39,70	40,90	51,72	306,25
52,74	95,46	41,10	40,51	41,81	57,03	336,70
54,52	97,50	42,50	40,61	42,92	55,15	367,05
55,95	99,60	43,91	41,12	40,80	56,74	398,05
57,75	102,05	45,64	41,91	47,21	59,22	428,90
59,20	104,85	47,12	41,76	48,80	59,48	459,20
61,06	107,05	48,63	43,66	47,36	62,34	489,45
62,22	107,80	50,06	46,27	47,27	64,20	520,45
63,61	109,80	51,58	47,64	49,72	66,02	551,25
64,65	110,70	52,51	48,88	51,14	67,57	581,10

Tabela A41 Parâmetros do modelo de Casson para manga integral, pq 30; gap=0,5mm.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	4,10	6,25	2,97	4,19	3,70	4,50
n_H	0,16	0,18	0,18	0,11	0,14	0,15
erro K_{0M}	0,06	0,09	0,07	0,13	0,11	0,07
erro K_M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X²	0,00	0,01	0,00	0,03	0,02	0,00
SSR	0,14	0,29	0,15	0,58	0,40	0,16
R²	0,99	0,98	0,99	0,92	0,96	0,98

Tabela A42 modelo de Casson para manga integral, pq 30; gap=0,5mm.

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
4,8208	6,9570	3,7696	4,4643	4,1773	5,3094	5,5489
5,3367	7,6256	4,3081	4,9153	4,9508	5,6471	7,8294
5,7210	8,0349	4,7159	5,2678	5,0626	5,9950	9,5630
6,0250	8,3654	5,0339	5,5480	5,3151	6,1229	11,0590
6,2793	8,6499	5,3132	5,8864	5,6754	6,6378	12,3630
6,5069	8,9051	5,5588	5,9942	5,8404	6,6363	13,5480
6,6866	9,1077	5,7593	6,1693	5,8086	6,6000	14,6270
6,8374	9,3097	5,9372	6,2618	6,0828	6,9821	15,6430
6,9921	9,4789	6,1139	6,3190	6,3530	7,1575	16,5970
7,1309	9,6135	6,2746	6,3008	6,3953	7,1917	17,5000
7,2622	9,7704	6,4109	6,3648	6,4661	7,5518	18,3490
7,3838	9,8742	6,5192	6,3726	6,5513	7,4263	19,1590
7,4800	9,9800	6,6265	6,4125	6,3875	7,5326	19,9510
7,5993	10,1020	6,7557	6,4738	6,8710	7,6955	20,7100
7,6942	10,2400	6,8644	6,4622	6,9857	7,7123	21,4290
7,8141	10,3470	6,9735	6,6076	6,8819	7,8956	22,1240
7,8880	10,3830	7,0753	6,8022	6,8753	8,0125	22,8130
7,9756	10,4790	7,1819	6,9022	7,0512	8,1253	23,4790
8,0405	10,5210	7,2464	6,9914	7,1512	8,2201	24,1060

Tabela A43 Parâmetro do modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para manga integral (ZA30)

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	3,41	4,12	3,47	3,81	4,57	4,51
K_M	1,12	0,68	0,41	0,20	0,20	0,14
n_M	0,29	0,35	0,40	0,48	0,48	0,54
erro K_{0M}	0,06	0,02	0,09	0,11	0,07	0,13
erro K_M	0,04	0,11	0,04	0,04	0,02	0,04
erro n_M	0,00	0,02	0,02	0,03	0,01	0,04
X^2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,002
SSR	0,001	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03
R^2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela A44 Modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para manga integral (ZA30)

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
5,9599	5,8881	4,7106	4,6797	5,3842	5,2010	15,7100
6,4946	6,3451	5,0745	4,8528	5,6285	5,3759	31,7600
6,8826	6,6581	5,3367	5,1206	5,8771	5,5163	47,1900
7,2049	7,0760	5,5516	5,3339	6,0836	5,7131	62,8300
7,4632	7,1805	5,7715	5,5326	6,3356	5,9313	78,8600
7,6877	7,3932	5,9833	5,7088	6,4428	6,1213	94,7200
7,8823	7,5664	6,1221	5,8447	6,5833	6,2873	110,4500
8,0629	7,7343	6,2682	5,9967	6,7305	6,4288	126,0500
8,2189	7,8981	6,4265	6,1180	6,8702	6,5567	142,0000
8,3678	8,0287	6,5338	6,2522	6,9742	6,6716	157,8500
8,5000	8,1646	6,6543	6,3632	7,1014	6,7720	173,5500
8,6493	8,2910	6,7838	6,5108	7,1819	6,8724	189,2000
8,7784	8,3935	6,8724	6,5780	7,2932	6,9570	205,1000
8,8933	8,4865	6,9520	6,6843	7,4095	7,0477	221,0000
9,0144	8,6134	7,0520	6,7809	7,5000	7,1512	236,7000
9,1077	8,7235	7,1435	6,8600	7,5967	7,2360	252,3005
9,2103	8,8119	7,2485	6,9203	7,6851	7,3096	268,2000
9,3145	8,9527	7,3355	7,0000	7,7730	7,3993	284,2000
9,3995	9,0316	7,4081	7,1204	7,8454	7,4900	299,4500

Tabela A45 Parâmetro do modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para manga centrifugada (ZA30)

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	-0,81	-0,93	-0,8	0,15	0,08	-0,23
K_M	1,13	1,09	0,94	0,38	0,35	0,40
n_M	0,28	0,27	0,27	0,38	0,38	0,35
erro K_{0M}	0,24	0,29	0,20	0,17	0,15	0,27
erro K_M	0,15	0,19	0,12	0,08	0,07	0,14
erro n_M	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,04
X²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SSR	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03
R²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela A46 Modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para manga centrifugada (ZA30)

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
1,6462	1,4213	1,2410	1,2530	1,0955	0,8718	15,8800
2,1955	1,8974	1,6852	1,6031	1,4283	1,1180	31,4700
2,5495	2,2294	1,9698	1,8628	1,6523	1,3528	47,0600
2,8107	2,4900	2,2249	2,0347	1,8000	1,5000	62,9000
3,0952	2,7386	2,4125	2,2136	1,9519	1,6763	78,9600
3,2985	2,9479	2,5865	2,3022	2,1071	1,7944	94,7700
3,4453	3,1209	2,7441	2,4597	2,2760	1,8166	110,4500
3,6442	3,2187	2,8461	2,6796	2,3601	2,0224	126,1000
3,7961	3,3437	3,0000	2,7695	2,4495	2,1680	141,9500
3,8910	3,4771	3,0627	2,8775	2,5573	2,2271	157,9500
4,0755	3,5721	3,2016	2,9445	2,6344	2,3173	173,5000
4,2474	3,6973	3,2527	2,9967	2,6439	2,2760	189,2000
4,2685	3,8158	3,3779	3,1113	2,8125	2,4000	205,1000
4,4057	3,9281	3,4612	3,2016	2,9052	2,5060	221,1000
4,4665	3,9988	3,5972	3,3015	2,9189	2,5710	236,6500
4,5869	4,0841	3,6469	3,366	3,0133	2,6382	252,3000
4,6626	4,1785	3,7296	3,4467	3,1544	2,7203	268,3000
4,7990	4,3566	3,7683	3,5875	3,1718	2,6590	284,2000
4,8908	4,3220	3,8859	3,5707	3,2280	2,8071	299,5000

Tabela A47 Parâmetro do modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para manga despectinizada (ZA30)

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	2,69	1,9	1,5	2,26	2,74	-1,19
K_M	0,05	0,02	0,006	0,01	0,001	3,79
n_M	0,62	0,7	0,84	0,75	1,11	0,04
erro K_{0M}	0,11	0,13	0,08	0,16	0,07	32,29
erro K_M	0,02	0,02	0,007	0,02	0,002	31,81
erro n_M	0,07	0,14	0,2	0,26	0,34	0,29
X²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SSR	0,04	0,08	0,06	0,16	0,1	0,11
R²	0,98	0,95	0,93	0,88	0,85	0,78

Tabela A48 Modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para manga manga despectinizada (ZA30)

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
3,0741	2,1213	1,5653	2,4434	2,8688	3,0741	16,1000
3,0984	2,1284	1,6310	2,4819	2,8267	3,0984	31,2800
3,2249	2,2760	1,6941	2,3643	2,7221	3,2249	47,4100
3,3181	2,3238	1,6371	2,5476	2,7000	3,3181	62,8800
3,4249	2,3664	1,8412	2,5179	2,816	3,4900	78,8400
3,6028	2,4042	1,7833	2,5691	2,9648	3,5199	94,6700
3,6756	2,6000	1,9468	2,7423	3,0496	3,5199	110,5500
3,7908	2,4779	1,8439	2,8320	3,0968	3,5128	125,9500
3,8794	2,8249	1,8439	2,8792	3,005	3,4453	141,9500
4,0311	2,6533	1,8974	3,0381	3,0496	3,4453	157,8500
4,0645	2,8373	2,0224	2,9682	3,0611	3,4453	173,6500
4,0963	2,9240	2,1119	2,7875	3,1177	3,4235	189,0500
4,1833	2,8879	2,1260	2,9292	3,1369	3,5128	205,0000
4,2119	3,0100	2,1284	2,9496	3,0741	3,4799	221,0000
4,2332	2,9172	2,1401	3,1639	3,3272	3,4900	236,8000
4,3601	3,0903	2,2605	3,1177	3,2357	3,5777	252,2500
4,3520	3,0496	2,1726	3,2031	3,2604	3,5986	268,1000
4,4520	3,0984	2,3643	3,0447	3,3166	3,7563	284,0500
4,5552	3,1969	2,2338	3,2203	3,3526	3,7054	299,6500

Tabela A49 Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para polpa de manga integral, pq 45; gap=1mm.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	1,62	-1,92	1,83	0,81	3,43	4,14
K_M	2,91	4,74	1,06	1,53	0,29	0,29
n_M	0,19	0,12	0,28	0,21	0,41	0,43
erro K_{0M}	0,51	2,18	0,10	0,41	0,26	0,18
erro K_M	0,38	1,92	0,06	0,30	0,10	0,06
erro n_M	0,01	0,03	0,00	0,02	0,04	0,03
X^2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SSR	0,01	0,04	0,00	0,01	0,05	0,03
R^2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela A50 Modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para manga manga integral (PQ45, gap=1mm)

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
7,0626	5,1701	4,4193	3,8158	4,6271	5,3526	23,45
7,8071	5,6772	4,9396	4,2438	4,7624	5,6886	45,38
8,2716	6,0663	5,3179	4,5541	5,0438	5,9481	68,77
8,7189	6,3734	5,6098	4,8114	5,3009	6,1806	91,52
9,0620	6,63400	5,8745	5,0319	5,5749	6,4327	115,00
9,3440	6,8600	6,0893	5,2163	5,7879	6,6219	138,00
9,5948	7,0449	6,2777	5,3535	5,8737	6,7882	160,8
9,7837	7,2125	6,4459	5,4534	6,0183	6,9412	183,70
9,9559	7,3729	6,6045	5,5516	6,1376	7,1274	206,85
10,1330	7,4920	6,7528	5,6480	6,3016	7,3369	230,00
10,3030	7,6138	6,8840	5,7576	6,3781	7,4880	252,75
10,4380	7,6798	6,9979	5,8686	6,5246	7,5253	275,55
10,5520	7,7743	7,1134	5,9649	6,5322	7,5914	298,65
10,6840	7,8873	7,2333	6,0399	6,7587	7,7511	322,10
10,8030	7,9473	7,3355	6,1090	6,7750	7,8314	344,90
10,9340	8,0212	7,4189	6,1944	6,8629	7,9101	367,60
11,0630	8,0697	7,5220	6,2362	6,9735	8,0393	390,75
11,19400	8,0808	7,6177	6,2865	7,0228	8,1271	413,80
11,2740	8,1431	7,7123	6,4312	7,0704	8,2128	436,30

Tabela A51 Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para polpa de manga integral, pq 45; gap=0,5mm.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	0,17	5,53	1,52	0,03	2,00	3,73
K_M	2,15	0,82	1,00	2,29	0,74	0,32
n_M	0,19	0,30	0,27	0,19	0,29	0,40
erro K_{0M}	0,21	0,46	0,12	0,87	0,35	0,35
erro K_M	0,14	0,23	0,06	0,63	0,18	0,11
erro n_M	0,00	0,03	0,00	0,02	0,02	0,04
X^2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SSR	0,00	0,05	0,00	0,03	0,02	0,09
R^2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela A52 Modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para manga manga integral (PQ45, gap=0,5mm)

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
4,8021	8,3132	4,3772	4,8662	4,3267	5,1108	44,67
5,4608	8,7063	4,9315	5,4240	4,8703	5,9287	92,84
5,9051	9,1384	5,3226	5,8387	5,2479	6,1669	137,85
6,261	9,5509	5,6595	6,1830	5,4599	6,3695	183,40
6,5353	9,8468	5,9186	6,4638	5,7724	6,6136	229,60
6,7676	10,110	6,1417	6,7164	5,9178	6,7794	276,45
6,9900	10,359	6,3451	6,9289	6,1057	7,0682	321,95
7,1589	10,571	6,5177	7,1372	6,3151	7,3280	367,80
7,3389	10,747	6,6716	7,3458	6,5437	7,5067	413,75
7,4813	10,934	6,8228	7,4472	6,631	7,5532	460,00
7,6086	11,079	6,9678	7,5974	6,7357	7,6498	505,85
7,735	11,205	7,0753	7,6968	6,9246	7,8981	551,20
7,8530	11,356	7,1910	7,8096	6,8797	8,0318	598,90
7,9750	11,474	7,3212	7,9347	7,0760	8,1012	644,15
8,0647	11,612	7,4364	7,9881	7,1819	8,2952	690,15
8,1884	11,700	7,5346	8,1086	7,3082	8,3523	735,45
8,3006	11,786	7,6354	8,1431	7,3838	8,5930	781,55
8,3941	11,900	7,7453	8,2486	7,4505	8,6776	828,20
8,4439	11,939	7,8192	8,3199	7,5987	8,7733	872,65

Tabela A53 Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para polpa de manga integral, pq 30; gap=1,0mm.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{OM}	2,83	-3,50	2,81	1,61	4,29	4,94
K_M	0,81	7,62	0,61	1,88	0,18	0,07
n_M	0,31	0,08	0,33	0,19	0,49	0,66
erro K_{OM}	0,12	4,16	0,08	1,36	0,11	0,28
erro K_M	0,07	3,95	0,04	1,08	0,04	0,05
erro n_M	0,01	0,03	0,01	0,05	0,03	0,11
X^2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
SSR	0,00	0,02	0,00	0,08	0,02	0,33
R^2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97

Tabela A54 Modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para manga manga integral (PQ30, gap=1mm)

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
4,7540	6,0605	4,3566	4,9071	4,9508	5,3628	15,53
5,2221	6,6438	4,7170	5,1904	5,2087	5,6427	30,77
5,5534	6,9383	4,9950	5,4690	5,4708	5,7974	45,58
5,8026	7,2021	5,2259	5,7175	5,6727	6,0374	60,75
6,0299	7,3702	5,4259	5,9262	5,8805	6,2056	76,40
6,2298	7,5769	5,5929	6,0975	6,0390	6,6310	92,02
6,3961	7,7415	5,7446	6,2706	6,1847	6,6129	107,00
6,5422	7,8740	5,8856	6,3765	6,3246	6,6355	122,35
6,6596	8,0069	6,0000	6,4915	6,4537	6,6993	137,80
6,7941	8,0740	6,1343	6,6648	6,5597	6,8118	153,15
6,9145	8,1994	6,2169	6,8081	6,6400	7,1652	168,25
7,0200	8,1976	6,3135	6,8673	6,7402	7,0972	183,5
7,1127	8,3367	6,4070	6,9123	6,8264	7,6354	198,95
7,2090	8,4054	6,4877	6,8746	6,9051	7,4706	214,35
7,3192	8,4279	6,5689	6,9728	6,9936	7,4081	229,55
7,4297	8,4694	6,6641	7,0321	7,0887	7,6896	244,75
7,5293	8,5094	6,7461	7,0605	7,1603	7,6269	260,05
7,6256	8,6226	6,8352	7,1519	7,2505	7,9398	275,65
7,6922	8,7761	6,8906	7,1365	7,3048	8,2541	290,55

Tabela A55 Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para polpa de manga integral, pq 30; gap=0,5mm.

	Temp. 10°C	Temp. 20°C	Temp. 30°C	Temp. 40°C	Temp. 50°C	Temp. 60°C
K_{0M}	1,88	2,09	0,81	-2,12	0,10	4,05
K_M	1,21	2,51	1,16	4,68	2,22	0,29
n_M	0,25	0,19	0,26	0,10	0,18	0,41
erro K_{0M}	0,14	0,47	0,18	7,87	2,49	0,43
erro K_M	0,08	0,35	0,10	7,12	1,90	0,16
erro n_M	0,00	0,01	0,01	0,10	0,07	0,06
X^2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
SSR	0,00	0,00	0,00	0,23	0,21	0,15
R^2	0,99	0,99	0,99	0,97	0,98	0,98

Tabela A56 Modelo de Mizrahi-Berk (M-B) para manga manga integral PQ30, gap=0,5mm

τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	τ (Pa)	γ (1/s)
4,8208	6,9570	3,7696	4,4643	4,1773	5,3094	30,79
5,3367	7,6256	4,3081	4,9153	4,9508	5,6471	61,30
5,7210	8,0349	4,7159	5,2678	5,0626	5,9950	91,45
6,0250	8,3654	5,0339	5,5480	5,3151	6,1229	122,30
6,2793	8,6499	5,3132	5,8864	5,6754	6,6378	152,85
6,5069	8,9051	5,5588	5,9942	5,8404	6,6363	183,55
6,6866	9,1077	5,7593	6,1693	5,8086	6,6000	213,95
6,8374	9,3097	5,9372	6,2618	6,0828	6,9821	244,70
6,9921	9,4789	6,1139	6,3190	6,3530	7,1575	275,45
7,1309	9,6135	6,2746	6,3008	6,3953	7,1917	306,25
7,2622	9,7704	6,4109	6,3648	6,4661	7,5518	336,70
7,3838	9,8742	6,5192	6,3726	6,5513	7,4263	367,05
7,4800	9,9800	6,6265	6,4125	6,3875	7,5326	398,05
7,5993	10,1020	6,7557	6,4738	6,8710	7,6955	428,90
7,6942	10,2400	6,8644	6,4622	6,9857	7,7123	459,20
7,8141	10,3470	6,9735	6,6076	6,8819	7,8956	489,45
7,8880	10,3830	7,0753	6,8022	6,8753	8,0125	520,45
7,9756	10,4790	7,1819	6,9022	7,0512	8,1253	551,25
8,0405	10,5210	7,2464	6,9914	7,1512	8,2201	581,10

Tabela A57 Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) da polpa de manga integral e centrifugada

10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	γ (1/s)
7,1986	9,4989	8,1432	8,0291	13,2800	17,812	50
6,5237	8,5098	7,3200	7,2691	11,8590	15,5680	63
5,9464	7,6957	6,6509	6,6212	10,6570	13,7490	79
5,5359	7,1255	6,1842	6,1554	9,7991	12,4940	95
5,2268	6,7230	5,8569	5,8210	9,1861	11,6220	110
4,9825	6,3853	5,5840	5,5371	8,6676	10,9000	126
4,7799	6,1131	5,3655	5,3063	8,2473	10,3260	142
4,6094	5,8880	5,1860	5,1142	7,8984	9,8569	158
4,4661	5,6981	5,0355	4,9514	7,6032	9,4664	174
4,3406	5,5448	4,9146	4,8195	7,3644	9,1547	189
4,2309	5,402	4,8027	4,6965	7,1452	8,8677	205
4,1336	5,2767	4,7050	4,5883	6,9464	8,6185	221
4,0482	5,1654	4,6189	4,4923	6,7730	8,3997	237
3,9701	5,0718	4,5468	4,4115	6,6271	8,2176	252
3,8985	4,9816	4,4777	4,3336	6,4865	8,0439	268
3,8318	4,8999	4,4155	4,2630	6,3592	7,8879	284
3,7743	4,8253	4,359	4,1988	6,2433	7,7473	300

Tabela A58 Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) da polpa de manga integral e despectinizada

10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	γ (1/s)
4,4830	9,4573	10,6900	4,4884	4,4338	3,0561	50
4,5538	9,6256	10,9900	4,6373	4,6060	3,1427	63
4,6126	9,7325	11,2600	4,7966	4,7829	3,2490	79
4,6384	9,8057	11,4400	4,9241	4,9294	3,3511	95
4,6476	9,8433	11,5500	5,0348	5,0532	3,4487	110
4,6509	9,8433	11,6430	5,1293	5,1571	3,5441	126
4,6437	9,8359	11,6890	5,2163	5,2485	3,6382	142
4,6305	9,8140	11,7120	5,2904	5,3264	3,7296	158
4,6148	9,7833	11,7130	5,3431	5,3903	3,8178	174
4,5948	9,7414	11,6980	5,4118	5,4460	3,9051	189
4,5739	9,6950	11,6600	5,4693	5,4916	3,9911	205
4,5503	9,6434	11,6320	5,5118	5,5322	4,0756	221
4,5267	9,5901	11,5890	5,555	5,5637	4,1576	237
4,4999	9,534	11,5340	5,5926	5,5900	4,2360	252
4,4748	9,4754	11,4710	5,6283	5,6105	4,3189	268
4,4471	9,4139	11,4040	5,6606	5,6260	4,3990	284
4,4211	9,3557	11,3420	5,6876	5,6372	4,4737	300

Tabela A59 Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) da polpa de manga centrifugada e despectinizada

10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	γ (1/s)
0,6228	0,9955	1,3135	0,559	0,3338	0,1715	50
0,6991	1,1290	1,5019	0,6385	0,3884	0,2019	63
0,7758	1,2653	1,6931	0,7245	0,4489	0,2363	79
0,8386	1,3761	1,8502	0,8006	0,5033	0,2683	95
0,8881	1,4632	1,9735	0,8646	0,5497	0,2965	110
0,9330	1,5420	2,0845	0,9265	0,5949	0,3250	126
0,9716	1,6091	2,1784	0,9828	0,6363	0,3523	142
1,0049	1,6667	2,2581	1,0344	0,6742	0,3784	158
1,0340	1,7163	2,3259	1,0818	0,7094	0,4035	174
1,0580	1,7569	2,3803	1,1229	0,7393	0,4263	189
1,0807	1,7947	2,4300	1,1637	0,7690	0,4499	205
1,1007	1,8276	2,4722	1,2015	0,7963	0,4728	221
1,1185	1,8563	2,5081	1,2368	0,8215	0,4951	237
1,1334	1,8800	2,5366	1,2677	0,8434	0,5155	252
1,1476	1,9022	2,5623	1,2987	0,8649	0,5367	268
1,1603	1,9215	2,5836	1,3276	0,8847	0,5575	284
1,1717	1,9384	2,6012	1,3548	0,9029	0,5778	300

