

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Alexandre José de Melo Queiroz aprovada pela Comissão Julgadora em 12 de agosto de 1998.

Campinas, 12 de agosto de 1998.



Prof. Dr. CARLOS A. GASPARETTO
Presidente da Banca

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia de Alimentos
Departamento de Engenharia de Alimentos

TESE DE DOUTORADO

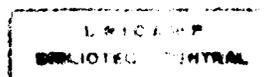
*Estudo do Comportamento Reológico dos
Sucos de Abacaxi e Manga*

Autor: *Alexandre José de Melo Queiroz*

Orientador: *Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto*

Tese submetida ao programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia de Alimentos - UNICAMP como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Alimentos.

Agosto de 1998



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	FUNICAMP
	Q32e
V.	Es
TOMBO BC/	35340
PROC.	395/98
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	03/30/98
N.º CPD	

CM-00117749-2

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

Q32e Queiroz, Alexandre José de Melo
Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e
manga / Alexandre José de Melo Queiroz. – Campinas, SP:
[s.n.], 1998.

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

I. Abacaxi. 2. Manga. 3. Reologia. 4. Sucos de frutas.
I. Gasparetto, Carlos Alberto. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

*Estudo do Comportamento Reológico dos Sucos de
Abacaxi e Manga*

por

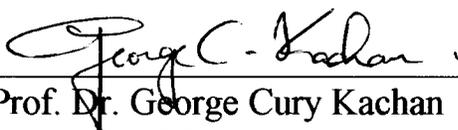
Alexandre José de Melo Queiroz

Tese aprovada em ____ de ____ de 1998.

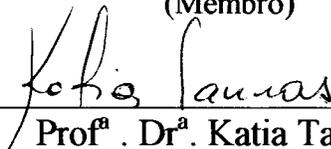
BANCA EXAMINADORA



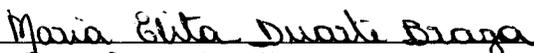
Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto
(Orientador)



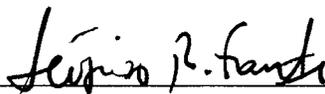
Prof. Dr. George Cury Kachan
(Membro)



Prof^a. Dr^a. Katia Tannous
(Membro)



Prof^a. Dr^a. Maria Elita Duarte Braga
(Membro)



Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes
(Membro)

Prof^a. Dr^a. Fernanda E. X. Murr
(Suplente)

Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira
(Suplente)

Aos meus pais Antenor e Lia.

A minha esposa Ana.

A minha filha Mariana

ÍNDICE

LISTA DE QUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE SÍMBOLOS	xx
RESUMO	xxii
SUMMARY	xxiii
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivo geral.....	3
1.2 - Objetivos específicos.....	3
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 - O abacaxi.....	5
2.2 - A manga.....	6
2.3 - Definição do produto.....	9
2.4 - Reologia de sucos e purês de frutas.....	9
2.5 - Influência das pectinas.....	13
2.6 - Influência da concentração e temperatura.....	17
2.7 - Influência da forma, tamanho, quantidade e arranjo estrutural das partículas.....	19
2.8 - Padrões de comportamento reológico.....	23
2.9 - Modelos reológicos.....	25

2.9.1 - Modelo newtoniano.....	25
2.9.2 - Modelo da lei da potência	26
2.9.3 - Modelos que consideram a tensão inicial.....	27
2.9.3.1 - Modelo de Bingham.....	27
2.9.3.2 - Modelo de Herschel-Bulkley	28
2.9.3.3 - Modelo de Casson	28
2.9.3.4 - Modelo de Mizrahi-Berk	29
3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
3.1 -Aquisição e processamento do material.....	30
3.2 - Padronização do estágio de maturação.....	33
3.3 - Preservação e estocagem do produto.....	34
3.4 - Caracterização dos materiais.....	34
3.4.1 - Determinação do pH.....	34
3.4.2 - Determinação do °Brix.....	34
3.4.3 - Determinação das pectinas.....	35
3.4.4 - Determinação dos sólidos insolúveis.....	35
3.4.5 - Microscopia.....	35
3.5 - Tipos de material utilizados.....	36
3.5.1 - Preparo das frações de material “natural”.....	36
3.5.2 - Preparo das frações de material “despectinizado”.....	39
3.5.3 - Preparo das frações de material “clarificado”	41

3.6 - Reometria usando cilindros concêntricos.....	43
3.7 - Determinação das propriedades reológicas.....	48
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1 - Caracterização dos materiais.....	52
4.1.1 - Grau de maturação.....	52
4.1.2 - Valores de pH, °Brix e pectina.....	53
4.1.3 - Microscopia.....	54
4.2 - Estudo reológico dos sucos de abacaxi e manga.....	57
4.2.1 - Estudo do suco de abacaxi.....	59
4.2.1.1 - Suco de abacaxi natural.....	59
4.2.1.1.1 - Comportamento reológico.....	59
4.2.1.1.2 - Sólidos insolúveis.....	61
4.2.1.1.3 - Viscosidade.....	66
4.2.1.1.4 - Conclusões para suco de abacaxi natural.....	72
4.2.1.2 - Suco de abacaxi despectinizado.....	74
4.2.1.2.1 - Comportamento reológico.....	74
4.2.1.2.2 - Sólidos insolúveis.....	76
4.2.1.2.3 - Viscosidade.....	80
4.2.1.2.4 - Conclusões para suco de abacaxi despectinizado.....	86
4.2.1.3 - Comparação entre os resultados dos sucos de abacaxi natural e despectinizado.....	87
4.2.1.3.1 - Comportamento reológico.....	87

4.2.1.3.2 - Avaliação do uso das peneiras na redução do teor de sólidos insolúveis dos materiais.....	88
4.2.1.3.3 - Influência dos sólidos insolúveis na viscosidade dos sucos natural e despectinizado de abacaxi.....	90
4.2.1.3.4 - Conclusões para a comparação dos sucos de abacaxi natural e despectinizado.....	93
4.2.2 - Estudo do suco de manga.....	95
4.2.2.1- Suco de manga natural.....	95
4.2.2.1.1 - Comportamento reológico.....	95
4.2.2.1.2 - Sólidos insolúveis.....	97
4.2.2.1.3 - Viscosidade.....	101
4.2.2.1.4 - Conclusões para suco de manga natural.....	107
4.2.2.2 - Suco de manga despectinizado.....	108
4.2.2.2.1 - Comportamento reológico.....	108
4.2.2.2.2 - Sólidos insolúveis.....	109
4.2.2.2.3 - Viscosidade.....	114
4.2.2.2.4 - Conclusões para suco de manga despectinizado.....	120
4.2.2.3 - Suco de manga clarificado.....	121
4.2.2.3.1 - Comportamento reológico.....	121
4.2.2.3.2 - Sólidos insolúveis.....	123
4.2.2.3.3 - Viscosidade.....	127
4.2.2.3.4 - Conclusões para suco de manga clarificado.....	133

4.2.2.4 - Comparação entre os resultados dos sucos de manga natural, despectinizado e clarificado.....	134
4.2.2.4.1 - Comportamento reológico.....	134
4.2.2.4.2 - Avaliação do uso das peneiras na redução do teor de sólidos insolúveis dos materiais.....	135
4.2.2.4.3 - Influência dos sólidos insolúveis na viscosidade dos sucos de manga natural, despectinizado e clarificado.....	137
4.2.2.4.4 - Conclusões para os sucos de manga natural, despectinizado e clarificado.....	141
4.2.3 - Comparação entre os resultados dos sucos de abacaxi e manga.....	143
4.2.3.1 - Comportamento reológico.....	143
4.2.3.2 - Avaliação do uso das peneiras na redução do teor de sólidos insolúveis dos materiais.....	144
4.2.3.3 - Influência dos sólidos insolúveis nas viscosidades dos sucos de abacaxi e manga.....	146
4.2.3.4 - Conclusões para os sucos de abacaxi e manga.....	149
5 - CONCLUSÕES FINAIS.....	151
6 - SUGESTÕES.....	153
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155
APÊNDICE A.....	165

LISTA DE QUADROS

Quadro 01	- Composição de polpa de abacaxi por 100 gramas de peso fresco.....	6
Quadro 02	- Constituintes da manga madura cv. Keitt.....	8
Quadro 03	- Alguns constituintes de abacaxi e manga.....	8
Quadro 04	- Cargas utilizadas para determinação de textura em 10 exemplares de abacaxi e manga.....	52
Quadro 05	- Valores de pH °Brix e pectina determinados para o abacaxi e manga.....	53
Quadro 06	- Relações entre a malha de cada peneira e a malha da peneira anterior. Relações entre o teor de sólidos insolúveis de cada fração de suco de abacaxi natural e o teor de sólidos insolúveis da fração anterior.....	62
Quadro 06.A	- Relações entre a malha de cada peneira e a malha da despulpadeira. Relações entre o teor de sólidos insolúveis de cada fração de peneirados de suco de abacaxi natural e o teor de sólidos insolúveis da fração integral. Relação entre as reduções de teor de sólidos insolúveis e de abertura de malha.....	63

Quadro 06.B - Variação da viscosidade de cada fração de suco de abacaxi natural em relação à viscosidade da fração anterior. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração anterior.....	67
Quadro 06.C - Variação da viscosidade de cada fração de suco de abacaxi natural em relação à viscosidade da fração integral. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração integral. Relação entre viscosidade e teor de sólidos insolúveis de cada fração.....	69
Quadro 07 - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da peneira anterior. Relações entre o teor de sólidos insolúveis de cada fração de suco de abacaxi despectinizado e o teor de sólidos insolúveis da fração anterior.....	76
Quadro 07.A - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da despoldadeira. Relações entre o teor de sólidos insolúveis de cada fração de peneirados de suco de abacaxi despectinizado e o teor de sólidos insolúveis da fração integral. Relação entre as reduções de teor de sólidos insolúveis e de abertura de malha.....	78

Quadro 07.B - Variação da viscosidade de cada fração de suco de abacaxi despectinizado em relação à viscosidade da fração anterior. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração anterior.....	81
Quadro 07.C - Variação da viscosidade de cada fração de suco de abacaxi despectinizado em relação à viscosidade da fração integral. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração integral. Relação entre viscosidade e teor de sólidos insolúveis de cada fração....	83
Quadro 08 - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da peneira anterior. Relações entre o teor de sólidos insolúveis de cada fração de suco de manga natural e o teor de sólidos insolúveis da fração anterior	98
Quadro 08.A - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da despoldadeira. Relações entre o teor de sólidos insolúveis de cada fração de peneirados de suco de manga natural e o teor de sólidos insolúveis da fração integral. Relação entre as reduções de teor de sólidos insolúveis e de abertura de malha.....	99

Quadro 08.B - Variação da viscosidade de cada fração de suco de manga natural em relação à viscosidade da fração anterior. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração anterior.....	102
Quadro 08.C - Variação da viscosidade de cada fração de suco de manga natural em relação à viscosidade da fração integral. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração integral. Relação entre viscosidade e teor de sólidos insolúveis de cada fração.....	103
Quadro 09 - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da peneira anterior. Relações entre o teor de sólidos insolúveis de cada fração de suco de manga despectinizado e o teor de sólidos insolúveis da fração anterior.....	110
Quadro 09.A - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da despoldadeira. Relações entre o teor de sólidos insolúveis de cada fração de peneirados de suco de manga despectinizado e o teor de sólidos insolúveis da fração integral. Relação entre as reduções de teor de sólidos insolúveis e de abertura de malha	111

Quadro 09.B - Variação da viscosidade de cada fração de suco de manga despectinizado em relação à viscosidade da fração anterior. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração anterior	114
Quadro 09.C - Variação da viscosidade de cada fração de suco de manga despectinizado em relação à viscosidade da fração integral. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração integral. Relação entre viscosidade e teor de sólidos insolúveis de cada fração ...	116
Quadro 10 - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da peneira anterior. Relações entre o teor de sólidos insolúveis de cada fração de suco de manga clarificado e o teor de sólidos insolúveis da fração anterior.....	123
Quadro 10.A - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da despoldadeira. Relações entre o teor de sólidos insolúveis de cada fração de peneirados de suco de manga clarificado e o teor de sólidos insolúveis da fração integral. Relação entre as reduções de teor de sólidos insolúveis e de abertura de malha.....	125

Quadro 10.B - Variação da viscosidade de cada fração de suco de manga clarificado em relação à viscosidade da fração anterior. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração anterior.....	128
Quadro 10.C - Variação da viscosidade de cada fração de suco de manga clarificado em relação à viscosidade da fração integral. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração integral. Relação entre viscosidade e teor de sólidos insolúveis de cada fração.....	130
Quadro A1 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para as frações de abacaxi natural.....	166
Quadro A2 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para as frações de abacaxi despectinizadas.....	166
Quadro A3 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para as frações de manga natural.....	166
Quadro A4 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para as frações de manga despectinizadas.....	167
Quadro A5 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para as frações de manga clarificadas.....	167

Quadro A6	- Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para as frações de abacaxi natural.....	167
Quadro A7	- Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para as frações de abacaxi despectinizadas.....	168
Quadro A8	- Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para as frações de manga natural.....	168
Quadro A9	- Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para as frações de manga despectinizadas.....	168
Quadro A10	- Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para as frações de manga clarificadas.....	169
Quadro A11	- Parâmetros do modelo de Casson para as frações de abacaxi natural.....	169
Quadro A12	- Parâmetros do modelo de Casson para as frações de abacaxi despectinizadas.....	169
Quadro A13	- Parâmetros do modelo de Casson para as frações de manga natural.....	170
Quadro A14	- Parâmetros do modelo de Casson para as frações de manga despectinizadas.....	170

Quadro A15 - Parâmetros do modelo de Casson para as frações de manga clarificada.....	170
--	------------

LISTA DE FIGURAS

Figura 00	- Comportamento reológico dos fluidos newtonianos e não-newtonianos independentes do tempo.....	24
Figura 01	- Despolpadeira utilizada na obtenção dos sucos, com vista do cilindro de tela.....	31
Figura 02	- Fluxograma representando as etapas de processamento do abacaxi e da manga.....	32
Figura 03	- Fluxograma representando as etapas de processamento dos sucos de abacaxi e da manga naturais.....	38
Figura 04	- Fluxograma representando as etapas de processamento dos sucos de abacaxi e da manga despectinizados.....	40
Figura 05	- Fluxograma representando as etapas de processamento dos sucos de manga clarificados.....	42
Figura 06	- Reometro Haake modelo RV-20 com vista dos módulos de controle e dos suportes de sistemas de medição onde se vê inserido o sistema de ZA-30.....	48
Figura 07	- Sistemas de medição onde se vê inserido o sistema de ZA-30 com vista do conjunto cilindro /copo	49

Figura 08	- Sistemas de medição onde se vê inserido o sistema de ZA-30 com vista do conjunto cilindro /copo	49
Figura 09	- Vista inferior do cilindro do sistemas de medição ZA30	50
Figura 10	- Microfotografia de células de suco de abacaxi (156X)..	55
Figura 11	- Microfotografia de células de suco de abacaxi (156X)..	55
Figura 12	- Microfotografia de células de suco de manga (156X)....	56
Figura 13	- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para abacaxi natural ajustada pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	60
Figura 14	- Teor de sólidos insolúveis das frações de abacaxi natural em função da malha utilizada no peneiramento.....	65
Figura 15	- Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de abacaxi natural para seus respectivos teores de sólidos....	71
Figura 16	- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para abacaxi despectinizados ajustada pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	75

Figura 17	- Teor de sólidos insolúveis das frações de abacaxi despectinizado em função da malha utilizada no peneiramento.....	80
Figura 18	- Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de abacaxi despectinizado para seus respectivos teores de sólidos.....	85
Figura 19	- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para as frações integral, passadas em peneira 0,84 mm e centrifugada de abacaxi natural e despectinizado com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	87
Figura 20	- Teor de sólidos insolúveis das frações de abacaxi natural e despectinizado em função da malha utilizada no peneiramento.....	89
Figura 21	- Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de abacaxi natural e despectinizado para seus respectivos teores de sólidos.....	91
Figura 22	- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para manga natural ajustada pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	96

Figura 23	- Teor de sólidos insolúveis das frações de manga natural em função da malha utilizada no peneiramento.....	101
Figura 24	- Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de manga natural para seus respectivos teores de sólidos.....	106
Figura 25	- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para suco de manga despectinizados ajustada pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	108
Figura 26	- Teor de sólidos insolúveis das frações de manga despectinizadas em função da malha utilizada no peneiramento.....	113
Figura 27	- Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de manga despectinizadas para seus respectivos teores de sólidos.....	119
Figura 28	- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para suco de manga clarificados ajustada pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	122
Figura 29	- Teor de sólidos insolúveis das frações de manga clarificadas em função da malha utilizada no peneiramento.....	127

Figura 30	- Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de manga clarificadas para seus respectivos teores de sólidos.....	132
Figura 31	- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para as frações integral, passadas em peneira 0,84 mm e centrifugada de manga natural, despectinizado e clarificada com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	134
Figura 32	- Teor de sólidos insolúveis das frações de manga natural, despectinizada e clarificada em função da malha utilizada no peneiramento.....	136
Figura 33	- Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de manga natural, despectinizado e clarificado para seus respectivos teores de sólidos.....	139
Figura 34	- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para as frações integral, passadas em peneira 0,84 mm e centrifugada de abacaxi natural e manga clarificada, despectinizado e clarificada com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	143
Figura 35	- Teor de sólidos insolúveis das frações de abacaxi e manga em função da malha utilizada no peneiramento	145

Figura 36	- Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de sucos de abacaxi natural e despectinizado e sucos de manga despectinizado e clarificado para seus respectivos teores de sólidos.....	147
------------------	--	-----

LISTA DE SÍMBOLOS

- h** - Altura do cilindro (m)
- K** - Fator de consistência (Pa.s)
- K_c^2** - Viscosidade plástica de Casson (Pa.s^{0,5})
- K_H** - Fator de consistência no modelo de Herschel-Bulkley (Pa.sⁿ)
- K_M** - Fator de consistência no modelo de Mizrahi-Berk (Pa.sⁿ)
- K_{oc}^2** - Tensão inicial no modelo de Casson (Pa)
- K_{oM}** - Raiz quadrada da tensão inicial no modelo de Mizrahi-Berk (Pa)
- n** - Índice de fluxo (adimensional)
- n_H** - Índice de fluxo no modelo de Herschel-Bulkley (adimensional)
- n_M** - Índice de fluxo no modelo de Mizrahi-Berk (adimensional)
- r** - Raio interno do cilindro (m)
- R_B** - Raio do cilindro interno (m)
- R_C** - Raio do copo (m)
- T** - Torque (N.m)
- V** - Velocidade linear (m/s)
- γ** - Gradiente de velocidade/Taxa de deformação (s⁻¹)
- ε** - Relação R_C/R_B (adimensional)

η - Viscosidade absoluta (Pa.s)

η_a - Viscosidade aparente (Pa.s)

η_p - Viscosidade plástica de Bingham (Pa.s)

τ - Tensão de cisalhamento (Pa)

τ_B - Tensão de cisalhamento na parede do cilindro interno (Pa)

τ_C - Tensão de cisalhamento na parede do copo (Pa)

τ_0 - Tensão inicial (Pa)

τ_{0B} - Tensão inicial no modelo de Bingham

τ_{0H} - Tensão inicial no modelo de Herschel-Bulkley (Pa)

Ω - Velocidade angular (rad.s^{-1})

Tese de Doutorado: “Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga”

Autor: Alexandre José de Melo Queiroz

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto

Departamento de Engenharia de Alimentos - FEA - UNICAMP - agosto/98

RESUMO

Neste trabalho foi estudado o comportamento reológico de sucos de abacaxi e manga produzidos em laboratório sob a influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos, que compõem a polpa. Diferentes teores de sólidos insolúveis foram obtidos com o fracionamento da polpa, através de peneiras padrão com aberturas de 0,149 mm, 0,59 mm, 0,84 mm e 1,18 mm. Foi conseguida uma estratificação, no que se refere as dimensões das partículas, permitindo estudar relações entre abertura de malhas e comportamento reológico. Foram analisados os comportamentos reológicos de dois sucos de abacaxi (natural e despectinizado) e três sucos de manga (natural, com pectina precipitada enzimaticamente e sem pectina), cada um dos quais subdividido em seis frações (quatro peneirados, uma integral e uma centrifugada). Todos estes produtos foram estudados comparativamente, fazendo-se o cruzamento dos resultados obtidos entre os derivados natural e com pectina precipitada de abacaxi, entre os derivados natural, com pectina precipitada e despectinizada de manga e entre derivados de abacaxi e manga. Os sólidos insolúveis foram identificados como o principal fator responsável pelo comportamento reológico dos sucos de abacaxi, enquanto que nos sucos de manga isto só ocorreu no suco despectinizado e no suco contendo pectina precipitada. Nos sucos de manga naturais, a extração de parte dos sólidos insolúveis, com as peneiras utilizadas neste trabalho, demonstrou influência aleatória no comportamento reológico deste produto, porém, a extração total destes sólidos provocou sensível alteração neste comportamento. Na comparação dos resultados entre os sucos de abacaxi e de manga concluiu-se que os sólidos insolúveis presentes nos sucos de manga influenciaram proporcionalmente mais a viscosidade destes sucos do que os sólidos insolúveis presentes nos sucos de abacaxi.

Palavras chave: Abacaxi, manga, reologia, sucos, sólidos suspensos.

Doctoral thesis: “Studies on the rheological behaviour of pineapple and mango juices”.

Author: Alexandre José de Melo Queiroz

Supervisor: Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto

Department of Food Engineering - FEA - UNICAMP - agosto/98

SUMMARY

An investigation was conducted in order to study the rheological behaviour of pineapple and mango juices and the influence of the suspended insoluble solids. A range of insoluble solids was attained through pulp fractioning in standard sieves with mesh sizes 0,149 mm, 0,59 mm, 0,84 mm and 1,18 mm. A particle separation was achieved referring particle size thus allowing the analysis of mesh size and rheological behaviour relationship. The studies covered 2 pineapple juices (natural and despectinized) and 3 mango juices (natural, despectinized and precipitated pectin) each divided into 6 fractions through sieving. A comparative analysis was developed for the 2 pineapple juices, the 3 mango juices and mango versus pineapple. Insoluble solids were identified as key factor for pineapple rheology whereas for mango this was observed only with the despectinized material. For mango natural juice the partial extraction of insoluble solids influenced randomly its rheological behaviour. Comparing mango and pineapple, insoluble solids are more important for the rheological behaviour of mango juices. The model of Mizrahi-Berk was the best adjustment for all samples studied.

Key words: Pineapple, mango, rheology, juices, suspended solids.

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.

Uma forma de colocar estes produtos junto ao consumidor, aumentar sua vida de prateleira e ainda evitar as perdas decorrentes de defeitos de aparência, é processando seus derivados na forma de sucos, néctares etc.

Nestas condições a agroindústria baseada na fruticultura tropical desponta como uma das mais promissoras alternativas para o investimento nacional, sobretudo devido à demanda no mercado externo. No entanto, o processamento dos materiais *in natura* exige uma série de conhecimentos a respeito das características dos produtos, com vistas à adaptação dos processos e das instalações industriais às exigências específicas de cada um destes produtos. Isso implica na necessidade de se ter dados a respeito das propriedades ligadas aos padrões de escoamento destes fluidos alimentícios, com importância na otimização, no controle e nos cálculos de processos. Estes conhecimentos servem igualmente para o desenvolvimento de produtos e para a correlação de parâmetros físicos com a avaliação sensorial.

No projeto de equipamentos destinados ao processamento de produtos derivados de frutas como sucos e purês, os estudos reológicos determinam a construção e o dimensionamento dos equipamentos como bombas, tubulações, trocadores de calor, evaporadores, misturadores e filtros. Dentre estes, os filtros com tela têm empregos diversos como pré-filtros para ultracentrifugação, pré-filtros para ultrafiltração e filtros de linha, com o objetivo específico de reter sólidos insolúveis suspensos, entendendo-se por essa definição diversos componentes da célula vegetal tais como celulose, hemicelulose, lignina, amido, proteínas, sais inorgânicos e outros. Paralelamente, a importância destes sólidos na reologia de derivados de frutas é reportada na literatura desde 1950 por DAVIS *et alii* (1954); HAND *et alii* (1955); EZELL (1959), FODA e MCCOLLUM (1970); GUNJAL e WAGHMARE (1987); TANGLERTPAIBUL e RAO (1987); TRIFIRO *et alii* (1987); GEHRKE (1996); AMSTALDEN (1996); BEZERRA, (1997).

De acordo com inúmeros autores (DAVIS *et alii*, 1954; GUNJAL & WAGHMARE, 1987; TANGLERTPAIBUL & RAO, 1987; TRIFIRO *et alii*, 1987) o comportamento reológico de sucos e purês de frutas está ligado aos sólidos solúveis e sólidos em suspensão e é função da forma, tamanho, concentração de partículas suspensas e da microestrutura destes sistemas (HAND *et alii*, 1955; TRIFIRO *et alii*, 1987; QIU & RAO, 1988; CHOW & ZUKOVSKI, 1995), bem como da temperatura.

Apesar da grande quantidade de trabalhos tratando do assunto a maioria dos autores tem voltado sua atenção ao estudo da reologia de sucos sob diversas concentrações de sólidos solúveis (°Brix) e valores de temperatura, uma vez que a demanda dos mercados esteve, até então, direcionada principalmente para

sucos concentrados. Todavia, a procura por produtos com pouco processamento e cujas características se aproximam, ao máximo, do produto fresco tem crescido e se firmado. Neste contexto descobre-se uma lacuna que envolve as particularidades do comportamento reológico desses materiais. Esta lacuna consiste na inexistência de trabalhos que investiguem a influência das diferentes parcelas, no que se refere a dimensões e teores, das partículas insolúveis presentes em tais produtos, conhecidas, do ponto de vista nutricional, como fibras alimentares insolúveis (ROEHRIG, 1988).

1.1 - Objetivo geral

Estudar a reologia dos sucos de abacaxi e manga sob a influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos à temperatura de 30 °C.

1.2 - Objetivos específicos

- Estudar a reologia de seis diferentes frações de suco de abacaxi: uma delas sem sólidos insolúveis suspensos e as demais com sólidos insolúveis suspensos cujas dimensões de partículas situam-se entre zero e 1,6 mm.

- Estudar a reologia de seis frações de suco de abacaxi: uma delas sem sólidos insolúveis suspensos e as demais com sólidos insolúveis suspensos cujas dimensões de partículas situam-se entre zero e 1,6 mm, nas quais a pectina foi precipitada enzimaticamente.

- Estudar comparativamente a reologia dos dois tipos de suco de abacaxi.

- Estudar a reologia de seis frações de suco de manga: uma delas sem sólidos insolúveis suspensos e as demais com sólidos insolúveis suspensos cujas dimensões de partículas situam-se entre zero e 1,6 mm.

- Estudar a reologia de seis frações de suco de manga: uma delas sem sólidos insolúveis suspensos e as demais com sólidos insolúveis suspensos cujas dimensões de partículas situam-se entre zero e 1,6 mm, nas quais a pectina foi precipitada enzimaticamente.

- Estudar a reologia de seis frações de suco de manga: uma delas sem sólidos insolúveis suspensos e as demais com sólidos insolúveis suspensos cujas dimensões de partículas situam-se entre zero e 1,6 mm, nas quais a pectina foi eliminada.

- Estudar comparativamente a reologia dos três tipos de suco de manga.

- Estudar comparativamente a reologia dos sucos de abacaxi e manga.

- Avaliar o uso de peneiras agitadas mecanicamente como elemento separador de sólidos insolúveis suspensos em sucos de abacaxi e manga.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - O Abacaxi

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* L) é planta tropical originária de regiões de clima quente e seco ou de pluviosidade irregular. Com plantio difundido por todo o território brasileiro, o abacaxi é cultivado sobretudo nas regiões Nordeste e Sudeste, as quais responderam por 60% e 34%, respectivamente, da produção total em 1991, sendo que os estados maiores produtores são Paraíba, Minas Gerais e Bahia, respondendo por 39%, 25% e 6%, respectivamente. Em termos mundiais o Brasil se classifica como o quarto produtor mundial com 750 mil toneladas (1991), equivalentes a 7% da produção total, vindo depois da Tailândia (18%), Filipinas (12%) e China (8%) (CUNHA et alii, 1994).

A produção atual de abacaxi é quase toda destinada ao mercado interno, em que predomina o consumo do produto *in natura*, sendo que o restante é destinado à indústria e exportação. Segundo dados da Associação Nacional de Exportadores de Hortigranjeiros (HORTINEXA) as frutas frescas exóticas são a minoria na pauta das exportações brasileiras, sendo que as principais são laranja, banana e abacaxi. Observa-se porém, que a participação do Brasil no mercado internacional é ainda bastante inexpressiva diante de suas potencialidades. A baixa produtividade brasileira registrada nos últimos anos provoca a falta do produto para o abastecimento do mercado interno e para as exportações, que se limitam, praticamente à América Latina, devido a sua baixa qualidade (BOTREL & ABREU, 1994).

Dados do IBGE (FIBGE, 1992) apontam o abacaxi como a quarta fruta, de clima tropical, em consumo per capita no Brasil, atrás apenas da laranja pera, da banana e do mamão. Seu consumo diário per capita em Recife é de 21,073 gramas, em Belo Horizonte é de 8,652 gramas, em São Paulo é de 7,434 gramas e a média para 11 capitais é de 8,007 gramas.

No Quadro 01 tem-se alguns dos principais constituintes da polpa de abacaxi (PY et alii, 1984):

Quadro 01- Composição de polpa de abacaxi por 100 gramas de peso fresco

Constituintes	Matéria fresca (%)
Umidade	80,00 - 86,20
Açúcares	10,00 - 18,00
Acidez titulável	0,50 - 1,60
Cinzas	0,30 - 0,60
Pigmentos	0,16 - 0,32
Nitrogênio total	45,00 - 120,00
Proteínas	0,18

Fonte: PY et alii (1984)

2.2 -A manga

A manga (*Mangifera indica* L) está entre as frutas tropicais mais apreciadas em todo o mundo, sendo considerada por alguns autores como a mais popular dentre elas (VAZQUEZ-SALINAS & LAKSHMINARAYANA, 1985).

Segundo dados da FAO em 1990 citados por CUNHA et alii (1994) a manga é a quarta fruta dos trópicos a alcançar o mercado internacional depois da banana, do abacaxi e do abacate. O Brasil participa deste mercado como o quinto maior produtor mundial ainda que o país responda por apenas 2,73% da produção total de 15.022.000 toneladas, vindo depois da Índia (63,24%), México (5,26%), Paquistão (4,23%) e China (2,96%).

Dentre as frutas que constam da pauta de exportações brasileiras a manga ocupou, em 1992, a sexta posição sendo superada apenas pela laranja, banana, abacaxi, melão e maçã (CHITARRA & CHITARRA, 1994).

Dados do IBGE (FIBGE, 1994) dão conta de que o Brasil produziu em 1992 um total de 1.575 toneladas de manga de que o estado de São Paulo foi o que ocupou a primeira posição como produtor, com 414 mil toneladas, seguido por Minas Gerais, com 191 mil toneladas e Piauí, com 158 mil toneladas.

Em termos per capita o consumo diário de manga no Brasil é de 2,431 gramas o que a coloca como a sétima fruta mais consumida pelos brasileiros, atrás da laranja, banana, mamão, abacaxi, melancia e melão (FIBGE, 1992).

No Quadro 02 tem-se alguns dos principais constituintes da manga madura cv. Keitt (VAZQUEZ-SALINAS & LAKSHMINARAYANA, 1985).

Quadro 02- Constituintes da manga madura cv. Keitt

Constituintes	Matéria fresca
Umidade (%)	85,0 - 90,0
Sólidos solúveis totais (°Brix)	19,9
pH	6,2
Vitamina C (mg/100g)	76,2
Açúcares totais (%)	17,7
Carotenóides totais (µg/100g)	5187,0
β-caroteno (µg/100g)	2758,0

Fonte: VAZQUEZ-SALINAS & LAKSHMINARAYANA (1985)

No Quadro 03 são apresentados comparativamente valores de composição para abacaxi e manga determinados por FRANCO (1982).

Quadro 03- Alguns constituintes de abacaxi e manga

	Glicídios (g)	Proteínas (g)	Lipídios (g)	Cálcio (mg)	Fósforo (mg)	Ferro (mg)
Abacaxi	13,70	0,40	0,20	18,00	8,00	0,50
Manga (cv. Rosa)	16,50	0,40	0,30	25,00	34,00	0,39

Fonte: Franco, 1982.

2.3 - Definição do produto

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 seu conteúdo de polpa, em dois principais grupos: purês e sucos e podem ser obtidos por esmagamento ou espremedura.

NAGY et alii (1993) afirmam que para o propósito de processamento comercial, sucos de frutas podem ser considerados como uma solução aquosa de açúcares, ácidos, essências, pigmentos e minerais, vitaminas, gorduras, proteínas e substâncias pécicas.

2.4 - Reologia de sucos e purês de frutas

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 (particularmente açúcares), o teor de pectinas e a concentração de sólidos insolúveis.

A influência dos sólidos insolúveis na reologia dos sucos de frutas tem sido estudada, via de regra, de um ponto de vista global, com os trabalhos dedicados a identificar os produtos dentro de padrões genéricos de comportamento que, em geral, enquadraram tais materiais, contendo sólidos insolúveis, na categoria de 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.

BARNES et alii (1989) definem viscosidade como consequência dos atritos internos na massa dos fluidos e representa a resistência ao escoamento.

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 1.3), apresentada em 2.9.2, o que corrobora, segundo estes autores, estudos feitos na Guatemala

em 1972, com a diferença que o grau de pseudoplasticidade nos seus resultados divergiram.

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 despulpados 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, induz 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).

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%.

Vários autores estudaram viscosidade de derivados de frutas dentro de faixas definidas de °Brix:

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° e 70°Brix e temperaturas entre 5° e 60°C o material apresentou comportamento newtoniano.

MANOHAR et alii (1991), estudando tamarindo (*Tamarindus indica* L.) na faixa de 7° 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° a 60°C, verificou que seu escoamento seguia o padrão newtoniano em todos os casos.

2.5 - Influência das pectinas

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, FAS, (ROEHRIG, 1988).

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, resilientes 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.

De acordo com FODA & McCOLLUM (1970) as pectinas são consideradas como responsáveis pela principal contribuição com a 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 fator de consistência **K** (Equação 1.3, apresentada no item 2.9.2) com o tempo.

SARAVACOS (1970) afirma que suco de maçã despectinizado comporta-se como fluido newtoniano para todas as concentrações (10° 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 escoamento newtoniano apenas entre 7° e 50°C. O fluxo do suco não clarificado foi do tipo plástico para a temperatura de 7°C e pseudoplástico para temperaturas entre 22° e 50°C. O triturado se comportou como fluido plástico para temperaturas entre 7° 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 fluxo deste tipo de produto.

CASTALDO et alii (1984), estudando purê de maçã observaram que o uso de pectinases e celulases influem decisivamente nas propriedades reológicas do produto, diminuindo a tensão inicial τ_0 e o fator 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 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 fluxo 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 de fluxo 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 pêsego 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.

2.6 - Influência da concentração e temperatura

HARPER & LEBERMANN (1962), estudaram purê de pêra em quatro diferentes concentrações e temperaturas. O valor do índice de fluxo n foi pouco afetado pela temperatura e concentração. O valor do fator de consistência K apresentou uma boa correlação linear com a concentração e uma correlação linear total com a 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, não clarificado e do triturado de limão, 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 e sobre o triturado de limão, 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.

Purê de damasco se comporta como fluido não newtoniano no intervalo de 11,5 a 35°Brix com características de pseudoplasticidade. No intervalo de

concentração de 20 a 25°Brix e temperaturas de 20, 40 e 60°C se detectou uma mudança no padrão de variação dos parâmetros reológicos fator de consistência K e tensão inicial τ_0 , atribuída a uma mudança estrutural do purê, que passa do estado de dispersão para um estado de gel incipiente que se intensifica ao aumentar a concentração. Também, durante a concentração o regime de escoamento se torna mais laminar (DURAN & JIMENEZ, 1980).

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 de fluxo 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 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.

2.7 - Influência da forma, tamanho, quantidade e arranjo estrutural das partículas

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 total.

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. Em geral paredes de forma laminar ou em forma de bastão ou ainda fragmentadas oferecem mais resistência ao fluxo 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 de fluxo 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 μm 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 estruturada 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 de fluxo em purê de damasco e concluíram que o incremento no tamanho da partícula conduzia a um progressivo decréscimo no valor do fator de consistência K e um incremento no índice de fluxo 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, K tendeu a um leve aumento e n a uma leve diminuição. 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 fator 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 fluxo 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 pécticas. 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 de n e portanto o fluxo 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 produz uma ruptura progressiva das partículas e macromoléculas até lograr que elas se orientem em sentido paralelo ao fluxo, resultados idênticos aos obtidos por HOLDSWORTH, 1973. Deduzem que quanto menor for o tamanho médio das partículas suspensas, mais facilmente se produz esta orientação e menor é a pseudoplasticidade do produto. A estreita relação entre os parâmetros K e n que definem o caráter pseudoplástico do fluxo do purê de damasco e a quantidade e características da polpa confirmam a teoria de que nos sistemas dispersos o caráter não newtoniano do fluxo 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 fluxo do produto resultante (soro) é newtoniano ou plástico de Bingham (COSTELL & DURAN, 1982b).

2.8 - Padrões de comportamento reológico

O comportamento reológico dos fluidos costumam ser divididos em duas categorias principais que se classificam em newtonianos e não- newtonianos. Os fluidos newtonianos podem ser caracterizados por uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido. Newtonianos são a água, o leite e os sucos clarificados (NAGY et alii, 1993). Na categoria de não-newtonianos estão incluídos todos os fluidos que não seguem esse comportamento (JINESCU, 1974; HOLDSWORTH, 1993).

Na categoria dos fluidos não-newtonianos se incluem os fluidos inelásticos, dependentes e independentes do tempo. Os fluidos independentes do tempo não são afetados pelo histórico anterior de cisalhamento a que foram submetidos e desta classificação fazem parte os fluidos pseudoplásticos, onde estão incluídos boa parte dos sucos de frutas contendo sólidos insolúveis suspensos e pectinas. Na Figura 00 são mostrados alguns padrões de comportamento reológico típicos.

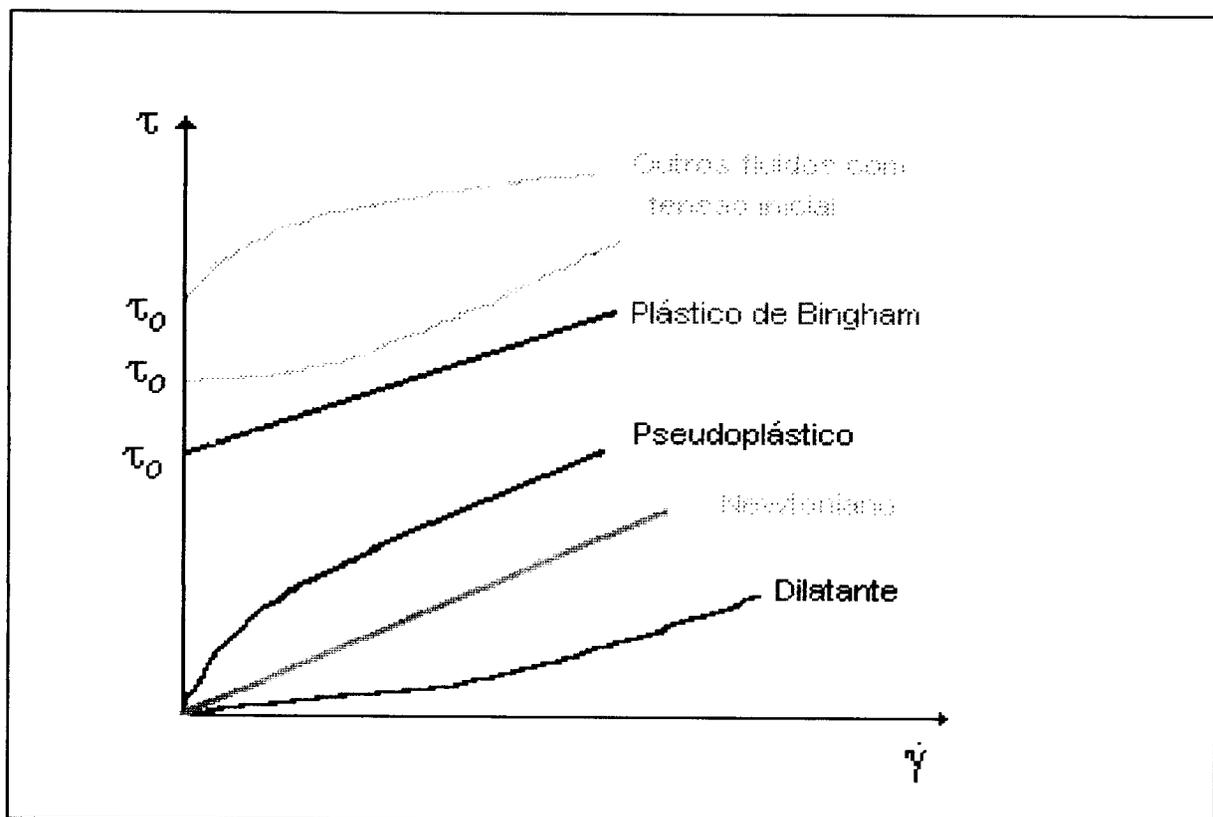


Figura 00- Comportamento reológico de fluidos newtonianos e não-newtonianos independentes do tempo.

2.9 - Modelos reológicos

2.9.1 - Modelo newtoniano

Inúmeros produtos alimentícios em forma de soluções aquosas, solução de sacarose, sucos de frutas clarificadas, apresentam comportamento newtoniano (RAO, 1986) podendo ser representados por uma relação constante entre o gradiente de velocidade e a tensão de cisalhamento (BIRD et alii, 1960). Neste caso é muito utilizado o modelo newtoniano de um parâmetro, dado pela relação abaixo:

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (1.1)$$

onde:

τ = Tensão de cisalhamento

η = Viscosidade

$\dot{\gamma}$ = Gradiente de velocidade

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:

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (1.2)$$

2.9.2 - Modelo da Lei da Potência

Para fluidos não-newtonianos (pseudoplásticos e dilatantes) é bastante utilizada, pela sua simplicidade (RAO & ANANTHESWARAM, 1982, HOLDSWORTH, 1993) e por ser facilmente manuseável na forma logarítmica, a equação de Ostwald-De-Waele, também conhecida como lei-da-potência a 2 parâmetros:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1.3)$$

ou

$$\log_{10} \tau = \log_{10} K + n \log_{10} \dot{\gamma} \quad (1.4)$$

onde:

K = fator de consistência ou índice de consistência

n = índice de comportamento de fluxo ou índice de fluxo

com a viscosidade aparente dada por:

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = K\dot{\gamma}^{n-1} \quad (1.5)$$

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 1.5 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.

2.9.3 - 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 fluidos.

2.9.3.1 - Modelo de Bingham

$$\tau - \tau_0 = \eta_p \dot{\gamma} \quad (1.6)$$

onde:

τ_0 = tensão inicial

η_p = viscosidade plástica de Bingham

2.9.3.2 - Modelo de Herschel-Bulkley

Modelo a 3 parâmetros e semelhante a lei-da-potência, este modelo inclui na equação de Ostwald-De-Waele um termo de tensão inicial τ_0 .

$$\tau - \tau_{0H} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (1.7)$$

onde:

τ_{0H} = tensão inicial

K_H = fator de consistência

n_H = índice de comportamento de fluxo

2.9.3.3 - Modelo de Casson

Utilizado para escoamento de suspensões de partículas em meio newtoniano considerando que as mesmas interagem entre si:

$$\tau^{1/2} = K_{oc} + K_c \dot{\gamma}^{1/2} \quad (1.8)$$

onde:

K_{oc}^2 = tensão inicial

K_c^2 = viscosidade plástica de Casson

2.9.3.4 - 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:

$$\tau^{1/2} = K_{0M} + K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (1.9)$$

onde:

K_{0M} = raiz quadrada da tensão inicial

K_M = fator de consistência

n_M = índice de comportamento de fluxo

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Aquisição e processamento do material

Para a obtenção da polpa de abacaxi foram adquiridos 50 kg da fruta cv. pérola “in natura” de um único produtor, da região de Bauru - SP. Quantidade semelhante foi adquirida de manga cv. keitt produzida no norte de Minas Gerais. As frutas foram escolhidas entre as de melhor aspecto, dando-se preferência aos exemplares mais firmes, sem danos aparentes na casca e em estágio de maturação semelhante em todo o lote.

Após a aquisição foram cortadas as coroas dos abacaxis, sendo estes e as mangas inteiras lavados com água clorada e sabão e descascados manualmente. Em seguida foi feita a separação de polpa e semente da manga e de polpa e pedúnculo central no abacaxi, também em processo manual. Estas polpas foram processadas em despulpadeira com tela de 1.6 mm de abertura (Figura 01) até a passagem completa de todo o material, dando origem ao material básico aqui denominado como suco natural e integral. A Figura 02 ilustra as etapas de processamento do abacaxi e da manga.



Figura 01 - Despoldadeira utilizada na obtenção dos sucos, com vista do cilindro de tela.

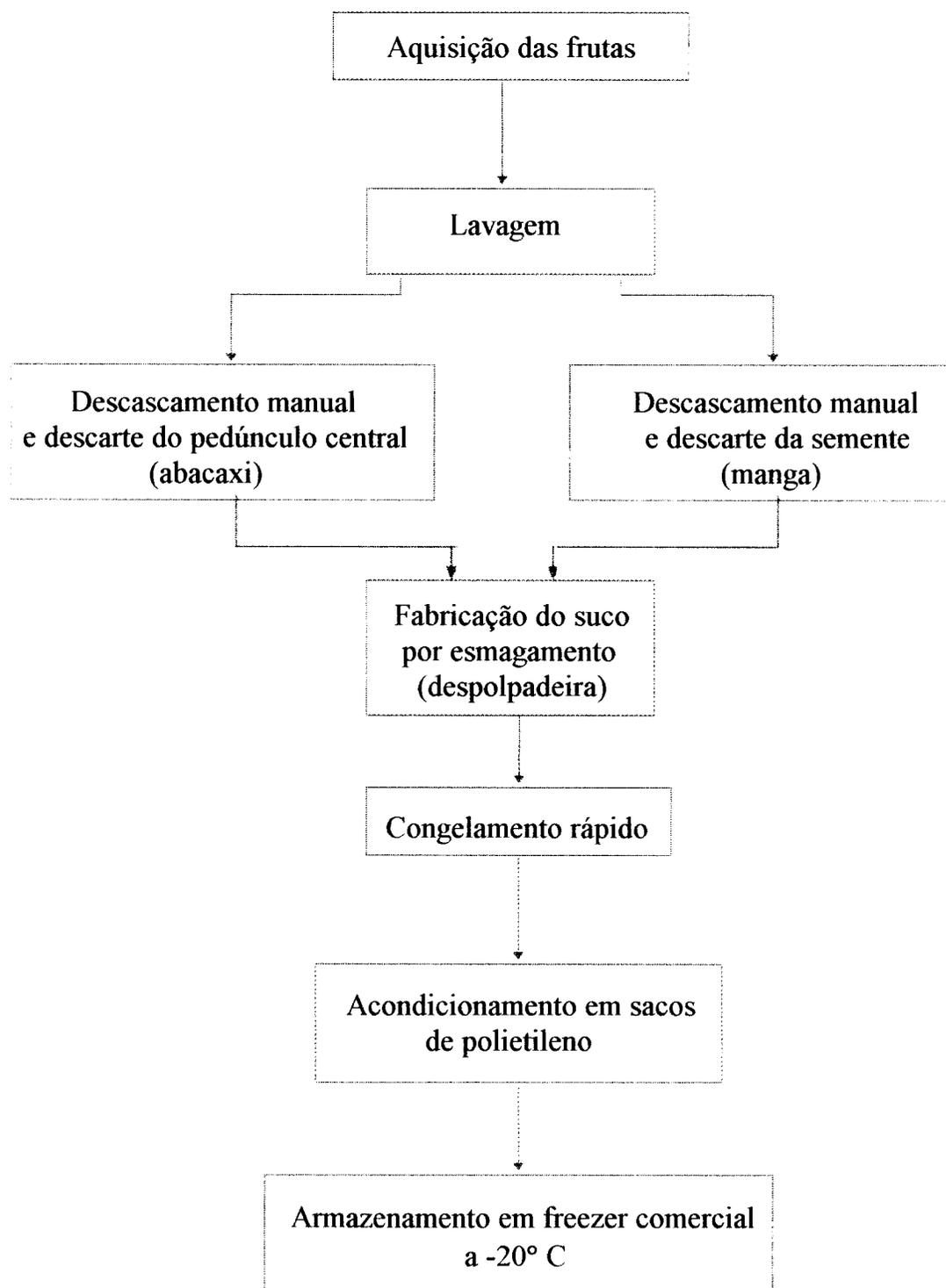


Figura 02 - Fluxograma representando as etapas de processamento do abacaxi e da manga

3.2 - Padronização do estágio de maturação

Foram escolhidos abacaxis considerados maduros e mangas consideradas meio-maduras ou “de vez”.

No que diz respeito a este estágio de maturação foi criada uma padronização relacionando a maturidade das frutas com a textura ou firmeza do material, considerando que para frutas mais maduras corresponde um abrandamento desta característica. Para este fim utilizou-se um texturômetro marca Texture Analyser modelo TA-XT2 com aquisição automática de dados.

A escolha da ponta de prova e a profundidade de penetração na superfície das amostras 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.

Assim, dentre as pontas de prova disponíveis no equipamento, foi escolhida uma ponta circular plana com $1,0 \text{ cm}^2$ de área, semelhante, em forma e área de contato, a um dedo humano. A esta ponta de prova foi imposta uma penetração de 5,0 mm em um número total de amostras composto de 10 exemplares de abacaxi e 10 de manga inteiros e com casca.

A carga necessária para realizar tal penetração foi representada por uma curva com valores de pressão e descompressão. O grau de maturação foi padronizado como a média da força necessária para a ponta de prova atingir a profundidade estipulada, para os dez exemplares de cada fruta.

3.3 - Preservação e estocagem do produto

O material foi colocado em bandejas e submetido a congelamento rápido (30 minutos) em congelador de placas. Após atingir -30°C foi retirado, embalado a vácuo em sacos de polietileno e armazenado em freezer horizontal a -20°C , sendo este material considerado como polpa natural e integral nos ensaios posteriores.

3.4 - Caracterização dos materiais

Foram feitas as seguintes determinações:

3.4.1 - pH

A determinação foi realizada utilizando o método potenciométrico. Esta metodologia baseia-se na determinação da concentração hidrogeniônica (pH) através de leitura direta em potenciômetro, como descrito no item nº 4.7.2 em LARA et alii (1976).

3.4.2 - "Brix

Foi realizada através de leitura refratométrica. A metodologia baseia-se no fato de que os índices de refração de soluções aquosas de sacarose podem ser correlacionadas com seu teor de sacarose. Tem-se assim, uma correspondência entre os índices de refração e percentagem de sacarose, à qual se dá o nome de graus Brix. A metodologia é descrita em PEARSON (1973).

3.4.3 - Pectinas

Determinada através da metodologia proposta por RANGANNA (1978) e cujo princípio é a neutralização das cargas dos resíduos de ácidos urônicos livres pelos íons Cálcio, gelificando e precipitando a pectina.

3.4.4 - Sólidos insolúveis

Determinados pelo método descrito no item nº 13.6.4 descrito em LARA et alii (1976), que baseia-se na pesagem da amostra, retida em papel de filtro, após seu dissolvimento em água quente.

3.4.5 - Microscopia

Foram realizadas microfotografias em um microscópio óptico da marca Carl Zeiss, modelo Jenaval. As amostras de abacaxi natural integral e manga natural integral foram colocadas em lâmina de contagem de Neubauer, com reticulado de $0,0025 \text{ mm}^2$, fotografadas com aumento de 156 vezes. Procurou-se mostrar células isoladas uma vez que, quando em forma de aglomerados, o empilhamento e a justaposição destas células forma unidades irregulares, difíceis de medir e de caracterizar, inclusive por não se saber se as mesmas estão aderidas ou apenas lado a lado.

3.5 - Tipos de material utilizados

Os sucos de abacaxi foram divididos, de acordo com o tratamento dado às suas frações, em “natural” e “despectinizado”. O material “natural” não recebeu qualquer tratamento enzimático, enquanto que o “despectinizado” foi tratado com a enzima pectinase de nome comercial Pectinex 3XL fabricada pela empresa Novo-Nordisk. Os sucos de manga foram divididos, de acordo com o tratamento dado às suas frações, em “natural”, “despectinizado” e “clarificado”.

3.5.1 - Preparo das frações de material “natural”

A preparação das amostras do material denominado “natural” dos sucos de abacaxi e manga para as medidas reológicas foi feita descongelando a polpa (que teve seu pH e graus Brix determinados no início, na fase intermediária e final do período de coleta de dados). As amostras foram submetidas a peneiragens, em peneiras de aço inoxidável, com agitador mecânico marca Produtest no nível de agitação máxima durante 60 minutos. Foram usados 4 tamanhos de malha, escolhidos de maneira a preencher uma faixa intermediária entre o tamanho 1,6 mm do material integral e o tamanho igual a zero (teoricamente) para o centrifugado: 1,18 mm, 0,84 mm, 0,59 mm e 0,149 mm. Foi dado como produto de cada malha o material integral passado em cada uma delas, visando a redução gradativa do tamanho e da quantidade dos sólidos insolúveis suspensos. Nesse sentido foi efetuada ainda a centrifugação a 15.000 rpm por 40 minutos, com o objetivo de reduzir, teoricamente, estes sólidos a zero. Somando o material integral, os quatro peneirados e o centrifugado, todos em três repetições, obteve-se um total de 18 amostras usadas posteriormente nos

ensaios de reometria e determinação de sólidos insolúveis. As análises foram feitas a partir das médias dos dados coletados de cada triplicata. O fluxograma com as etapas da elaboração das frações é visto na Figura 03.

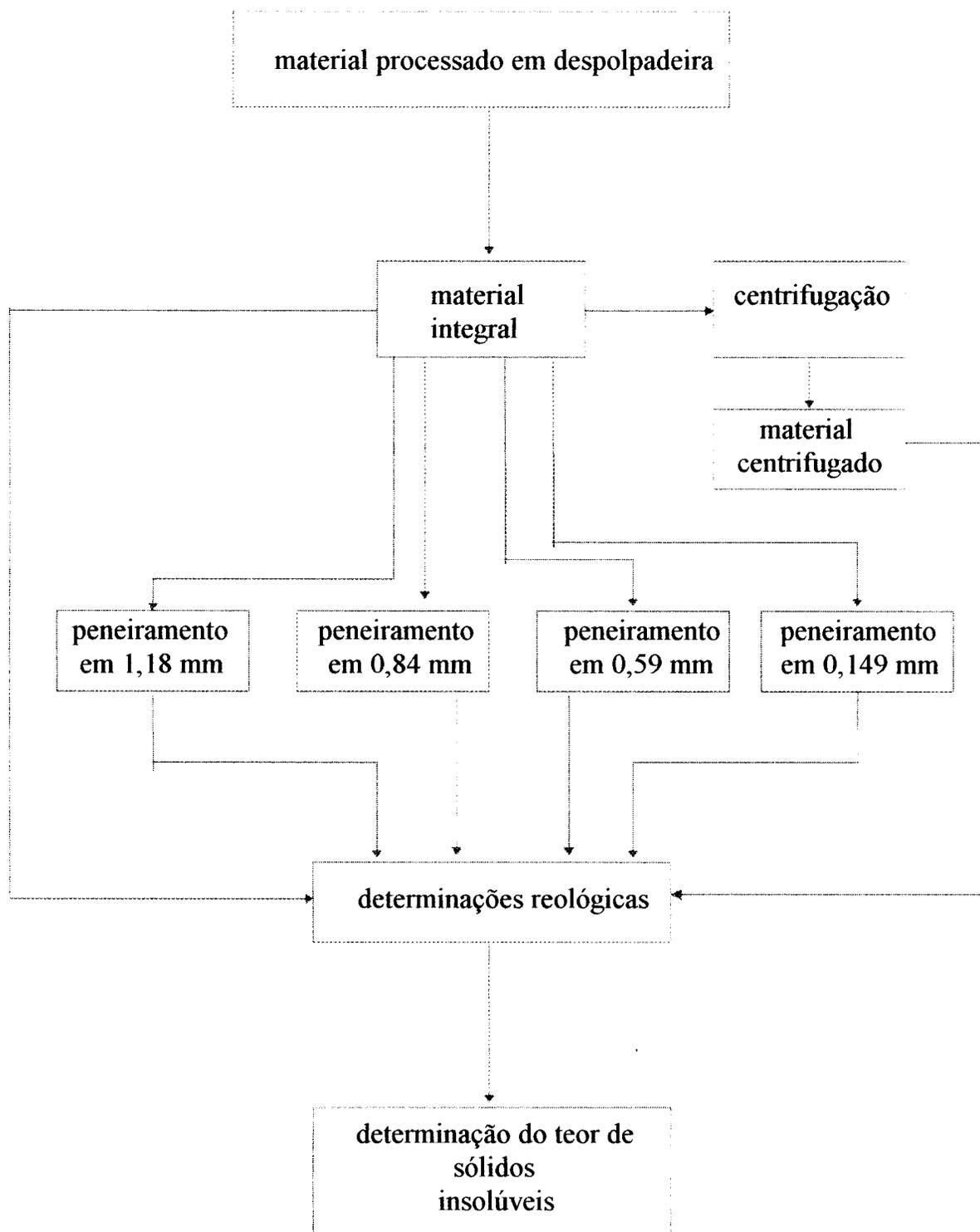


Figura 03 - Fluxograma representando as etapas do processamento dos sucos de abacaxi e manga naturais

3.5.2 - Preparo das frações de material “despectinizado”

A preparação das amostras do material denominado “despectinizado” para as medidas reológicas foi feita inicialmente seguindo as mesmas etapas do preparo das frações de material “natural”, descongelando a polpa e submetendo-a a peneiragens com as mesmas malhas utilizadas anteriormente, além da centrifugação. De posse destas frações procedeu-se então a centrifugação de todas as frações peneiradas e da fração integral a 15.000 rpm por 40 minutos. Esta centrifugação teve o objetivo de separar as polpas dos soros para então adicionar a enzima Pectinex 3XL, a estes últimos. A enzima foi adicionada ao soro na proporção de 1% de volume, sendo agitada por 50 minutos à temperatura de 50° C, condição ideal, segundo o fabricante.

Após o término do processo de conversão enzimática cada uma das polpas, reservadas na etapa anterior, foi reincorporada a seu soro respectivo, conforme ilustrado na Figura 04. O procedimento de separação da polpa e do soro no momento da despectinização visou evitar uma possível alteração dos componentes celulósicos da polpa pela enzima utilizada, a qual não está totalmente isenta de celulasas que poderiam modificar as características da polpa. A partir deste ponto, de posse de 18 amostras despectinizadas, o procedimento foi o mesmo que o adotado para as amostras naturais.

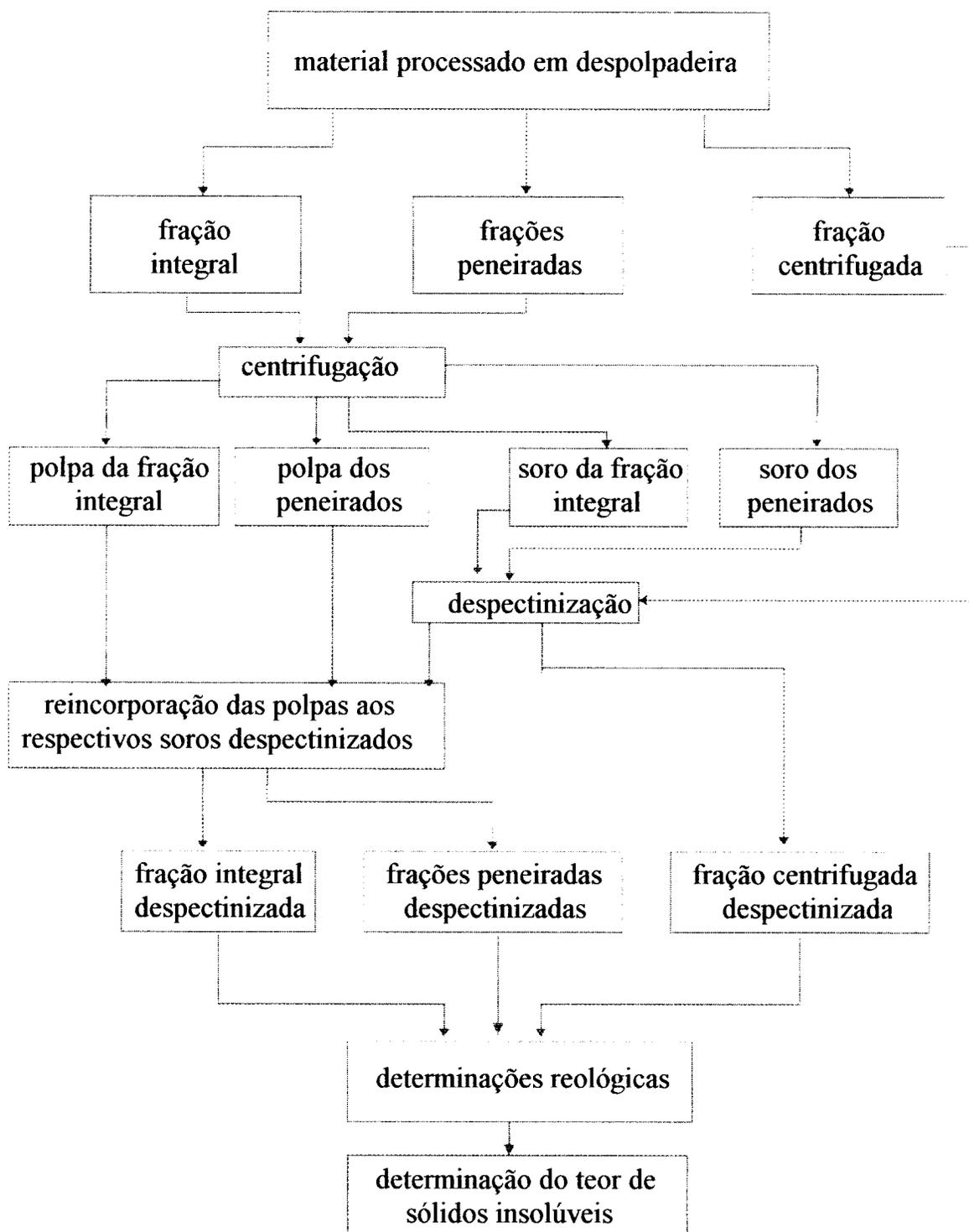


Figura 04 - Fluxograma representando as etapas do processamento dos sucos de abacaxi e manga despectinizados

3.5.3 - Preparo das frações de material “clarificado”

A preparação das amostras do material denominado de sucos de manga “clarificados” (Figura 05) foi feita repetindo-se inicialmente as etapas seguidas no preparo dos materiais “natural” e “despectinizado”. A diferença deste material em relação ao “despectinizado” é que, após a conversão da pectina pela enzima, o soro contendo a pectina precipitada foi centrifugado a 20.000 rpm por 40 minutos visando separar o soro desta pectina. Os soros referentes a cada fração, assim processados, foram então reincorporados às polpas respectivas previamente extraídas nas primeiras etapas.

Em se tratando das frações de abacaxi constatou-se que a centrifugação a 20.000 rpm por 40 minutos não provocou sedimentação de material, o que se explica pelos baixos teores de pectina presentes nestes sucos. Em vista disso o material que se classificaria como “sucos de abacaxi clarificados” não se diferenciou dos “despectinizados” sendo, por este motivo, desconsiderado.

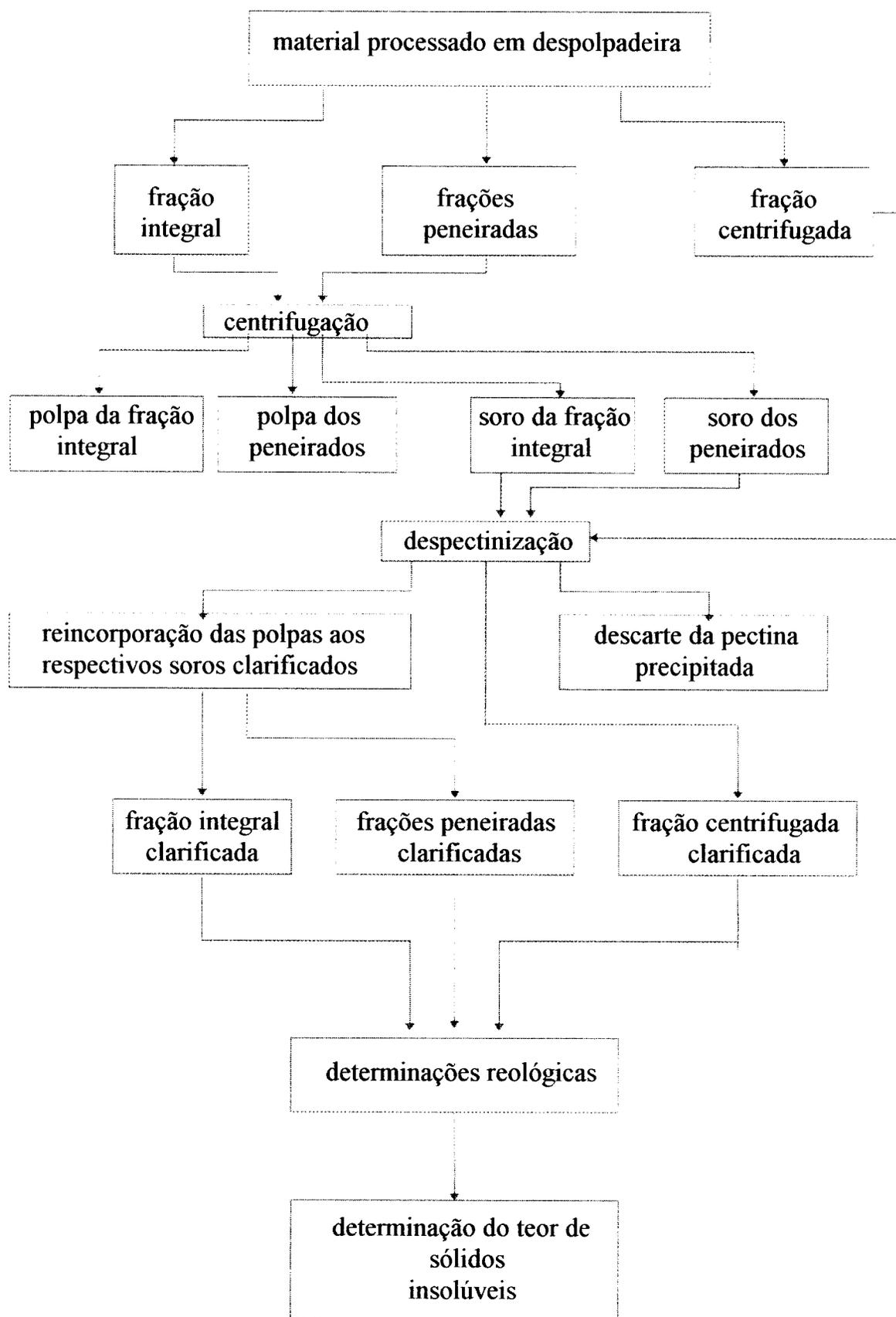


Figura 05 - Fluxograma representando as etapas do processamento dos sucos de manga clarificados

3.6 - Reometria usando cilindros concêntricos

A teoria em que se baseia a reometria em cilindros concêntricos é explicada por Krieger & Elrod (1952) em BEZERRA (1997).

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 por Krieger & Elrod(1953) (BEZERRA, 1997) 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

Segundo KRIEGER & ELROD (1953), 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:

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

Segundo Krieger & Elrod (1953) (BEZERRA, 1997), 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 - Determinação das propriedades reológicas

As propriedades reológicas das amostras foram determinadas a 30° C com um reômetro Haake rotovisco, modelo RV-20 (Figura 06) usando o sistema de cilindros concêntricos (ZA-30, Figuras 07, 08 e 09).



Figura 06 - Reômetro Haake modelo RV-20 com vista dos módulos de controle e dos suportes de sistemas de medição onde se vê inserido o sistema ZA-30.



Figura 07 - Sistema de medição ZA-30 com vista do conjunto cilindro/copo.

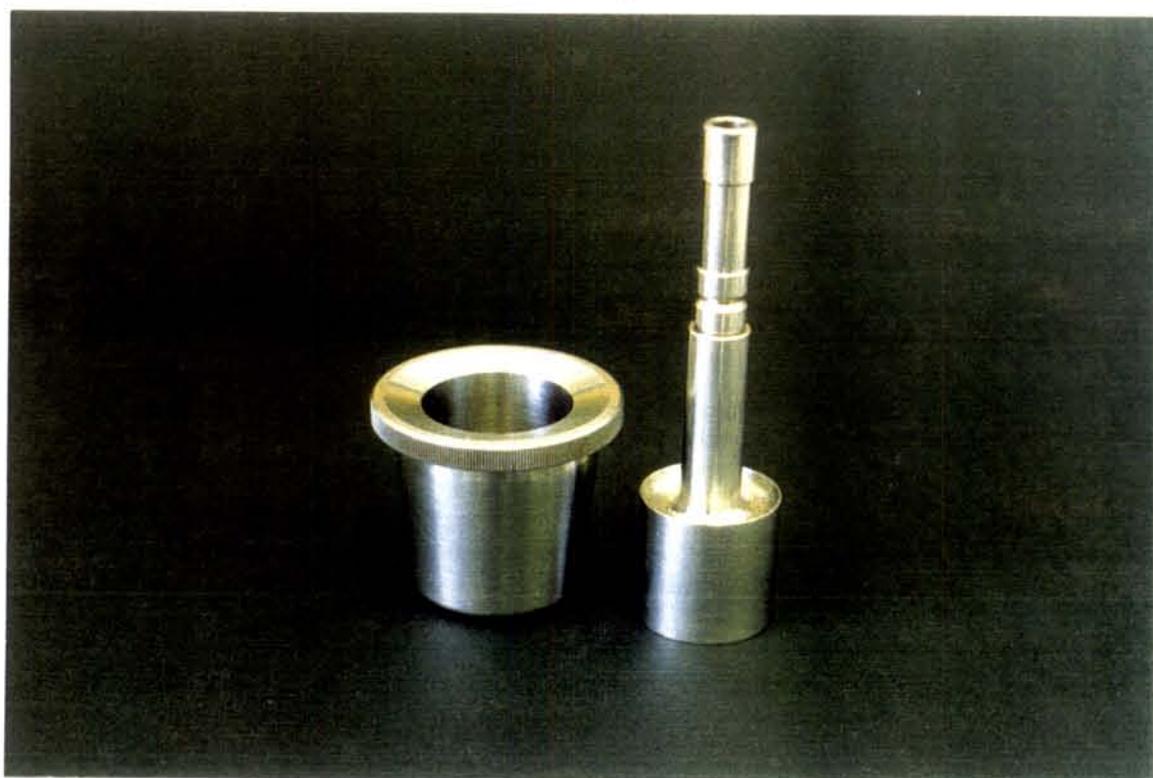


Figura 08 - Sistema de medição ZA-30 com vista do cilindro e do copo.



Figura 09 - Vista inferior do cilindro do sistema de medição ZA-30.

As séries de medidas experimentais foram realizadas tomando 40 pontos na faixa de deformação, sendo 20 pontos em escala ascendente e mais 20 em escala descendente. Para análise de dados foram utilizados os treze maiores valores da taxa de deformação/tensão de cisalhamento, obtidos da série de medidas descendente, evitando a faixa sujeita às perturbações de início de escoamento. Depois de cada reometria eram determinados os teores de sólidos insolúveis, utilizando a metodologia citada no item 3.4.4.

As curvas de taxa de deformação versus tensão de cisalhamento foram ajustadas para os modelos de Casson, Mizrahi-Berk e Herschel-Bulkley.

Observando-se os Quadros de A.1 até A.14 (Apêndice A), nota-se que os valores de distribuição, qui-quadrado (X^2) e soma dos quadrados dos desvios (SSR), estão mais próximos de zero e o coeficiente de regressão (R^2), está mais próximo de 1 para o modelo de Mizrahi-Berk do que para os outros dois modelos. Assim, os melhores parâmetros de ajuste foram obtidos com este modelo sendo, por este motivo, o escolhido para o cálculo das viscosidades aparentes das frações.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Caracterização dos materiais

4.1.1 - Grau de maturação

Os resultados dos ensaios de padronização dos estágios de maturação, realizados em dez exemplares de abacaxi e dez exemplares de manga estão apresentados no Quadro 04. Estes dados representam as cargas (em gramas) necessárias para a ponta de prova do texturômetro penetrar, nas frutas com casca, a uma profundidade de 5,0 mm.

Quadro 04- Cargas utilizadas para determinação de textura em 10 exemplares de abacaxi e manga

	Abacaxi (g)	Manga(g)
Exemplar 01	6609,9	3087,2
Exemplar 02	4744,9	2165,7
Exemplar 03	4780,3	1625,1
Exemplar 04	3892,9	1532,0
Exemplar 05	5465,3	2357,7
Exemplar 06	5122,1	2264,6
Exemplar 07	4483,0	2850,7
Exemplar 08	4034,5	3107,1
Exemplar 09	4585,6	2214,7
Exemplar 10	6139,4	3548,3
MÉDIA	4985,8	2475,3

Os dados do Quadro 04 representam uma padronização que estabelece uma faixa de consistência para as frutas utilizadas na elaboração dos sucos. Com os dados do abacaxi verifica-se que essa faixa de consistência situa-se entre um valor mínimo de 3892,9 gramas para a fruta mais madura e 6609,9 gramas para o exemplar menos maduro. Na manga os valores situam-se entre 1532,0 gramas para a fruta mais madura e 3548,3 gramas para a fruta menos madura.

4.1.2 - Valores de pH, °Brix e pectina

No Quadro 05 tem-se os valores de pH, °Brix e pectina total determinados para os sucos naturais e integrais de abacaxi e manga.

Quadro 05 - Valores de pH, °Brix e pectina determinados para sucos de abacaxi e manga

PARÂMETROS \ SUCOS	Abacaxi	Manga
pH	3,48	4,55
°Brix	13,2	16,7
Pectina (%)	0,083	0,98

4.1.3 - Microscopia

Na Figura 10 observa-se no canto superior direito duas membranas celulares presentes no suco de abacaxi. Considerando que as quadrículas de menor tamanho tem 50 μm , pode-se avaliar as dimensões das membranas em quatro quadrículas de comprimento por dois de largura, ou seja, 200 μm de comprimento por 100 μm de largura. No canto inferior esquerdo é visto um aglomerado de membranas celulares.

Na Figura 11 tem-se a visão de um grupo de membranas celulares e acima delas grânulos de componentes do interior das células. Na Figura 10 também são vistos cristais em forma de agulha (setas).

Na Figura 12, quase no centro da foto, encontra-se uma membrana celular do suco de manga. É possível visualizar algum conteúdo celular ainda presente em seu interior. As dimensões desta membrana se assemelham às dimensões das células de abacaxi, e o formato alongado também apresenta semelhança.

Com o microscópio utilizado não foi possível identificar eventuais diferenças na superfície das paredes celulares das células de abacaxi em relação às paredes celulares do suco de manga.

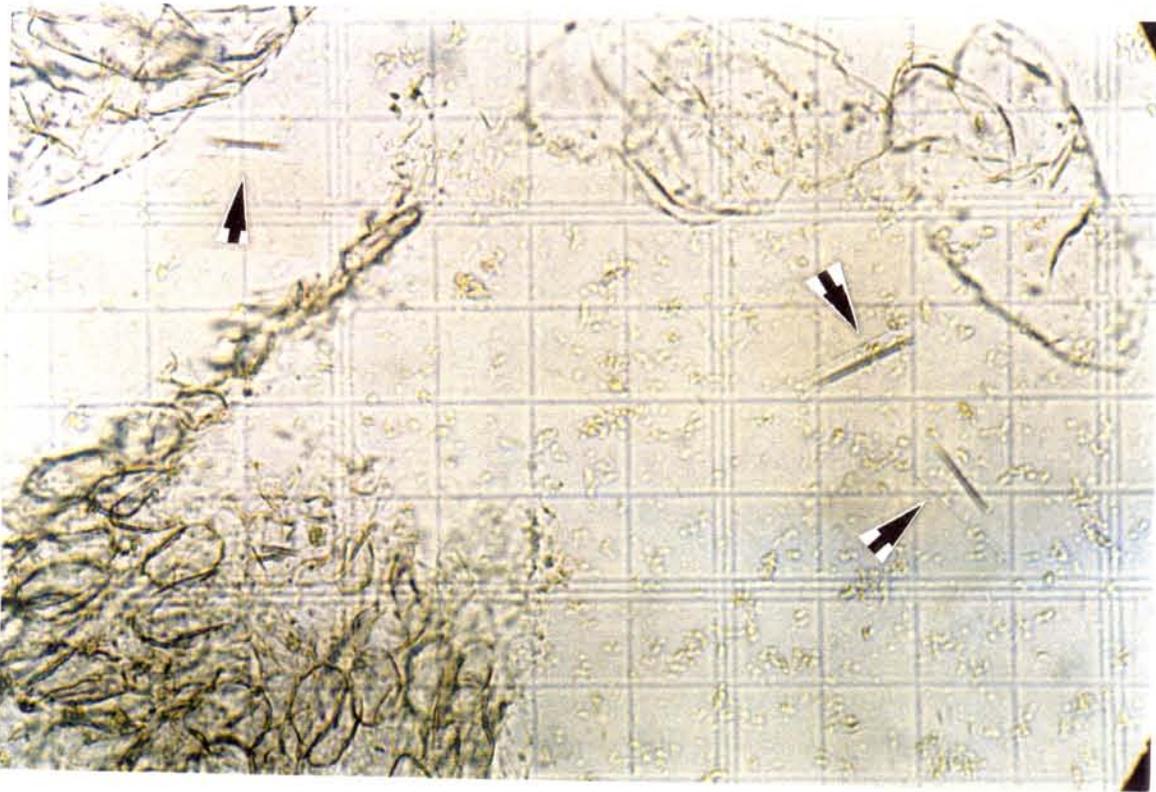


Figura 10 - Microfotografia de células de suco de abacaxi (156X) (quadrículas de 50 μm).

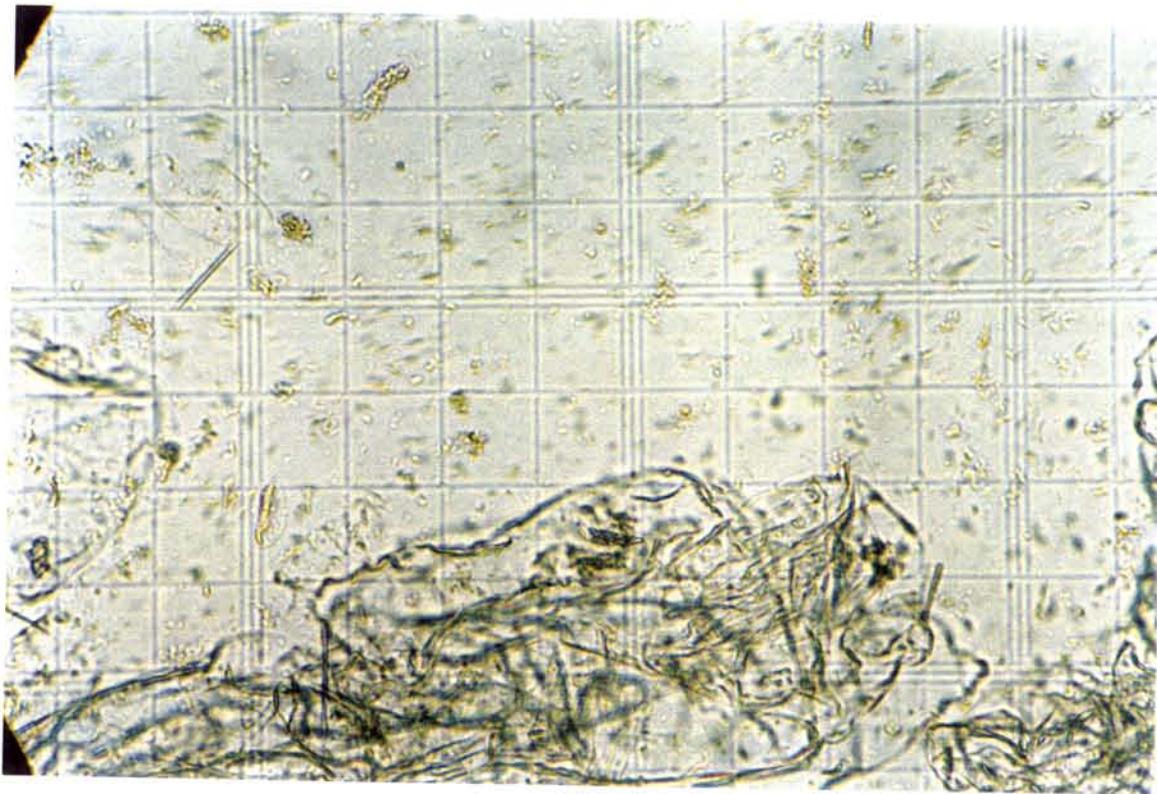


Figura 11 - Microfotografia de células de suco de abacaxi (156X) (quadrículas de 50 μm).

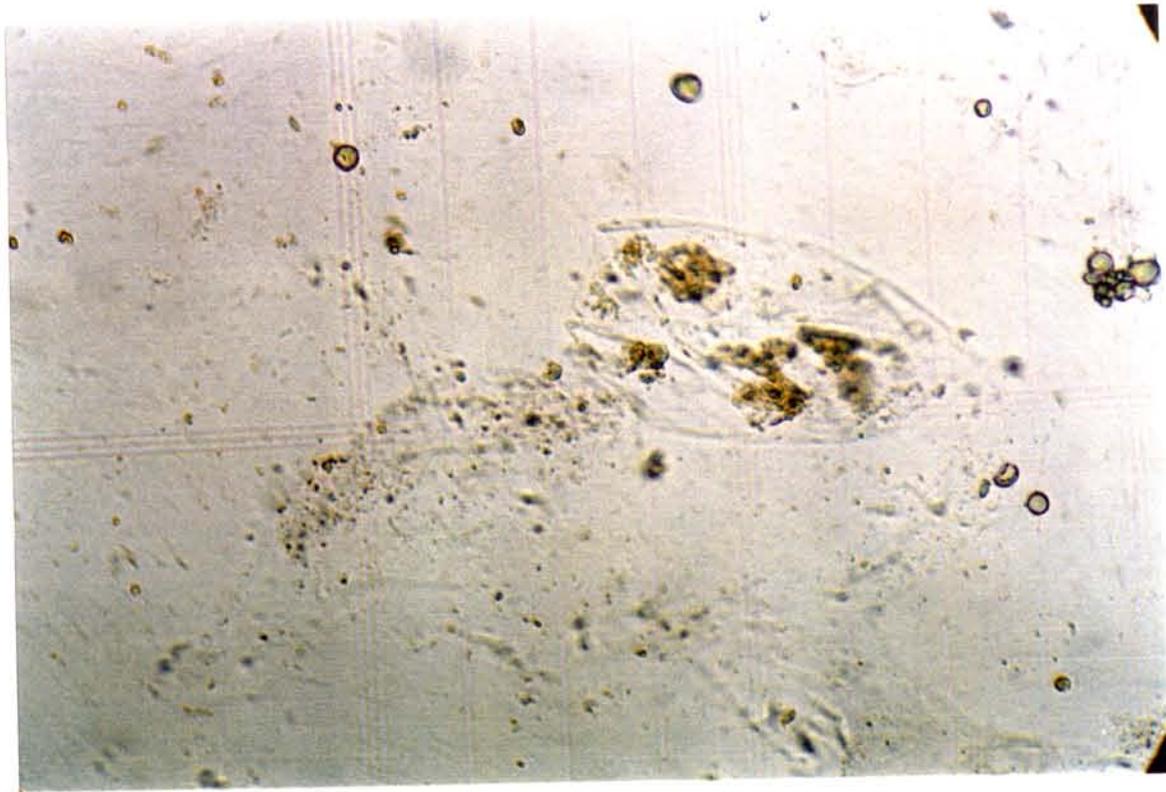


Figura 12 - Microfotografia de célula de suco de manga (156X)
(quadriculas de 50 μm).

4.2- Estudo reológico dos sucos de abacaxi e manga

No presente estudo dos sucos de abacaxi e manga a análise dos dados foi centrada sobre dois pontos: o primeiro estuda o comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga sob a influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos presentes em cada uma das frações; o segundo avalia o uso de peneiras, agitadas mecanicamente, como elemento separador destes sólidos insolúveis suspensos presentes nos sucos.

Os estudos acima mencionados foram conduzidos em relação a dois referenciais: no primeiro a análise é feita tomando por base a malha imediatamente superior ou a fração de material originada da malha imediatamente superior; no segundo a análise é feita tomando por base a abertura de malha da despoldadeira ou o material originado desta malha, denominado “material integral”.

O termo “redução” foi empregado nas análises onde as variações foram sempre negativas ou seja, diminuições. Nas análises onde se verificaram diminuições e aumentos empregou-se o termo “variação”, utilizando-se o sinal (-) para designar diminuições e (+) para designar aumentos.

Visando a simplificação de tabelas e comentários deste Capítulo alguns termos e expressões foram abreviados da forma como se segue:

- “SIS”: Sólidos insolúveis suspensos ou, simplesmente, sólidos insolúveis.

- “Malha ou peneira anterior”: Malha ou peneira com abertura imediatamente superior.

- “Fração anterior”: Fração de material correspondente a malha com abertura imediatamente superior.

- “Viscosidade aparente”: Na ausência de especificação sobre a taxa de deformação, esta propriedade, sempre que for citada no texto, deve ser interpretada como “viscosidade aparente na faixa de taxa de deformação entre 110 s^{-1} e 300 s^{-1} ”.

4.2.1 - Estudo do suco de abacaxi

4.2.1.1 - Suco de abacaxi natural

4.2.1.1.1 - Comportamento reológico

Na Figura 13 tem-se as relações entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para sucos de abacaxi natural ajustadas pelo modelo de Mizrahi-Berk (os parâmetros do modelo são apresentados no apêndice A, Quadro A.6).

Aplicando os parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk tem-se que as frações integral, 1,18 mm, 0,84 mm e 0,59 mm apresentaram comportamento pseudoplástico, enquadrando-se na classificação de HARPER (1960), GARCIA (1974), NAGY et alii (1993) e outros, citados nos itens 2.4 a 2.7, que afirmam ser este o comportamento típico de sucos e purês de frutas contendo particulado insolúvel.

A fração passada em peneira 0,149 mm apresentou comportamento newtoniano. Segundo diversos autores como GHERARDI et alii (1985) estudando purê de pera e IBARZ et alii (1992) trabalhando com suco de pêssego, esse foi o comportamento observado em sucos contendo pouco ou nenhum material particulado.

A fração centrifugada apresentou comportamento dilatante. Este comportamento foi também detectado por VARSHNEY & KUMBHAR (1978), que registraram essa observação em suco filtrado de abacaxi a 7°Brix e a 45°C.

Do conjunto de seis curvas representando tensão de cisalhamento versus taxa de deformação (Figura 13) observa-se três pares de comportamento: o do par formado pelas curvas das frações das peneiras 0,149 mm e centrifugado; o do par formado pelas curvas das frações das peneiras 0,84 mm e 0,59 mm e aquele das frações integral e do peneirado em 1,18 mm.

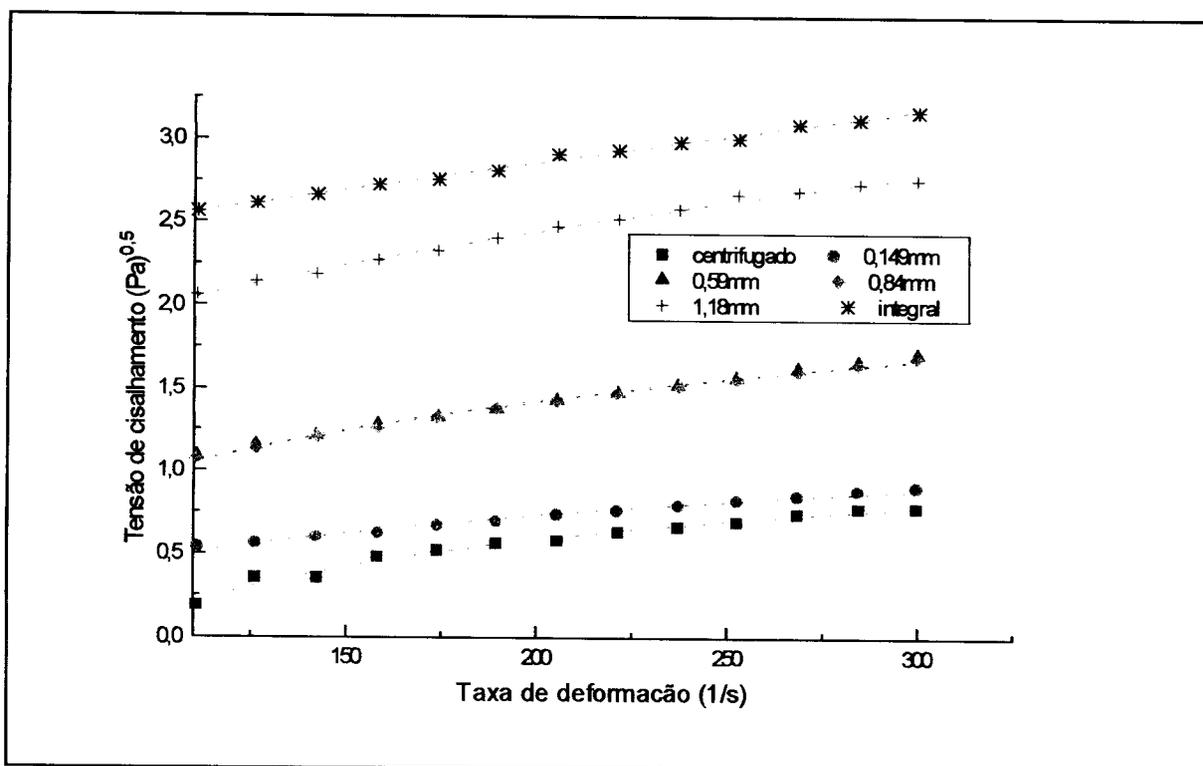


Figura 13 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para abacaxi natural ajustada pelo modelo de Mizrahi-Berk.

As curvas referentes as frações com menor quantidade de sólidos insolúveis, representadas pelas frações centrifugada (teor de sólidos insolúveis teoricamente igual a zero) e da peneira 0,149 mm encontram-se na porção inferior em relação à escala das tensões, são quase paralelas a partir de uma taxa de deformação em torno de 250 s^{-1} e representam as menores viscosidades aparentes do grupo. Mais acima estão as curvas dos materiais passados nas malhas 0,59

mm e 0,84 mm, coincidentes e com inclinações superiores as anteriores, representando uma faixa intermediária de viscosidades aparentes. O terceiro par, formado pelas curvas do material da peneira 1,18 mm e integral, estão mais acima, com inclinações semelhantes e superiores as demais curvas representando um patamar de viscosidades superior aos demais.

A curva do material integral está situada nos maiores valores de tensão, seguida pela curva do material da peneira 1,18 mm e, exceto a coincidência de posições das curvas dos materiais passados nas peneiras 0,84 mm e 0,59 mm, as tensões de cisalhamento decresceram com a redução da abertura de malha empregada em cada material, da mesma forma que o ocorrido com o teor de sólidos insolúveis (Quadro 06).

Também no Quadro 06 nota-se que o teor de sólidos insolúveis determinado nas frações das peneiras 0,84 mm e 0,59 mm são praticamente iguais. Esta igualdade se refletiu nas curvas referentes a estas duas frações que, como se vê na Figura 13, apresentaram comportamentos idênticos.

4.2.1.1.2 - Sólidos insolúveis

Foi feita uma análise do teor de sólidos insolúveis (%) contidos em cada fração em relação à fração obtida na malha anterior (Quadro 06). Procurou-se relacionar a variação da quantidade destas partículas com a redução de abertura de malha da peneira em relação à peneira anterior.

Quadro 06 - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da peneira anterior. Relações entre o teor de SIS de cada fração de suco de abacaxi natural e o teor de SIS da fração anterior.

	INTEGRAL (#1,50mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
REDUÇÃO DA MALHA (mm)	-	0,42	0,34	0,25	0,44	-
REDUÇÃO DA MALHA (%)	-	26	29	30	75	-
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	0,52	0,49	0,32	0,33	0,26	0,00(*)
(%) SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A # ANTERIOR	100	94	65	103	79	-
VARIAÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS	-	-6	-35	+3	-21	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

(-): *redução*

(+): *acrécimo*

Analisando o Quadro 06, percebe-se que para reduções das malhas de 26% a 75% corresponderam variações nos sólidos entre +3% e -35%. Constatase ainda que houve correspondência entre as reduções de malhas e as reduções das quantidades de sólidos insolúveis, com exceção da peneira 0,59mm, com a qual se obteve praticamente os mesmos resultados da peneira 0,84mm. Na Figura 14, apresentada mais adiante, observa-se que a redução de sólidos insolúveis obtida com a peneira 0,84mm é que foi atípica em relação às outras malhas.

Em termos percentuais, a peneira 0,84 mm foi a responsável pela maior das variações dos sólidos insolúveis (-35%), praticamente igualando, em termos absolutos, a retenção obtida com a malha 0,59 mm (abertura 30% inferior) e superando em 14% o desempenho da malha 0,149 mm (abertura da malha 82%

menor). Em relação a malha 1,18 mm, sua retenção percentual foi 5,8 vezes superior.

Numa segunda etapa foi feita uma análise do teor (%) de sólidos insolúveis contidos em cada fração em relação à fração integral, obtida na malha da despoldadeira. Procurou-se relacionar a redução da quantidade destas partículas com a redução de abertura de malha da peneira em relação à malha da despoldadeira. Os dados são apresentados no Quadro 06.A.

Quadro 06.A - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da despoldadeira. Relações entre o teor de SIS de cada fração de peneirados de suco de abacaxi natural e o teor de SIS da fração integral. Relação entre as reduções de teor de SIS e de abertura de malha.

	INTEGRAL (#1,60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
REDUÇÃO DA MALHA (mm)	-	0,42	0,76	1,01	1,45	-
REDUÇÃO DA MALHA (%) (1)	-	26	47	63	91	-
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	0,52	0,49	0,32	0,33	0,26	0,00(*)
(%) SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL	100	94	62	64	50	-
REDUÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS (2)	-	6	38	36	50	-
RELAÇÕES ENTRE AS REDUÇÕES DAS LINHAS (2) E (1)	-	0,23	0,81	0,57	0,55	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

É possível observar a partir dos valores do Quadro 06.A que para uma redução de abertura de malha de 26% a 91% correspondeu uma redução de sólidos insolúveis de 6% a 50%. A peneira 1,18 mm provocou uma redução destes sólidos inferior a 10% do teor inicial. As duas malhas seguintes, 0,84 e 0,59mm, reduziram em mais de 30% e praticamente não diferiram entre si. Desta forma, das quatro malhas utilizadas obteve-se, na prática, três materiais, uma vez que não se observou uma diferença efetiva entre os teores de sólidos insolúveis das frações passadas nas peneiras 0,84mm e 0,59mm. Por fim, o último peneiramento resultou numa diminuição de 50% do teor de sólidos ou seja, metade do teor total de sólidos da fração integral.

Para quantificar a proporção de decréscimo do teor de sólidos insolúveis em relação ao decréscimo na abertura de malha dividiu-se a redução (%) de sólidos insolúveis para cada fração, em relação à fração integral, pela redução de malha calculada em relação à malha da despoldadeira (Quadro 06.A).

A menor relação entre redução percentual de teor de sólidos insolúveis e redução percentual de malha ocorreu com a fração da peneira 1,18 mm (0,23). Seguiram-se depois os peneirados das malhas 0,149 mm e 0,59 mm, com relações praticamente iguais (0,55 e 0,57). A redução de malha proporcionalmente mais eficaz na redução de sólidos insolúveis foi obtida com a peneira 0,84 mm, cuja relação entre redução de sólidos e redução de malha (0,81) foi 3,5 vezes maior que a relação da malha 1,18 mm e quase 50 % superior às demais. Uma possível explicação para o fato seria uma quantidade maior de partículas com dimensões entre 0,84 mm e 1,18 mm

Na Figura 14 observa-se o teor de sólidos insolúveis como função da abertura de malha utilizada nos peneiramentos (ajuste linear: $R=0,943$; ajuste por polinômio de 2º grau: $R=0,946$).

O comportamento dos pontos experimentais evidencia a redução da quantidade de sólidos em cada etapa, com destaque para a fração obtida com a malha 0,84 mm. O ponto experimental que representa esta fração encontra-se deslocado em relação aos demais, o que poderia ser interpretado como devido a uma maior quantidade de partículas com dimensão entre 0,84 e 1,18 mm.

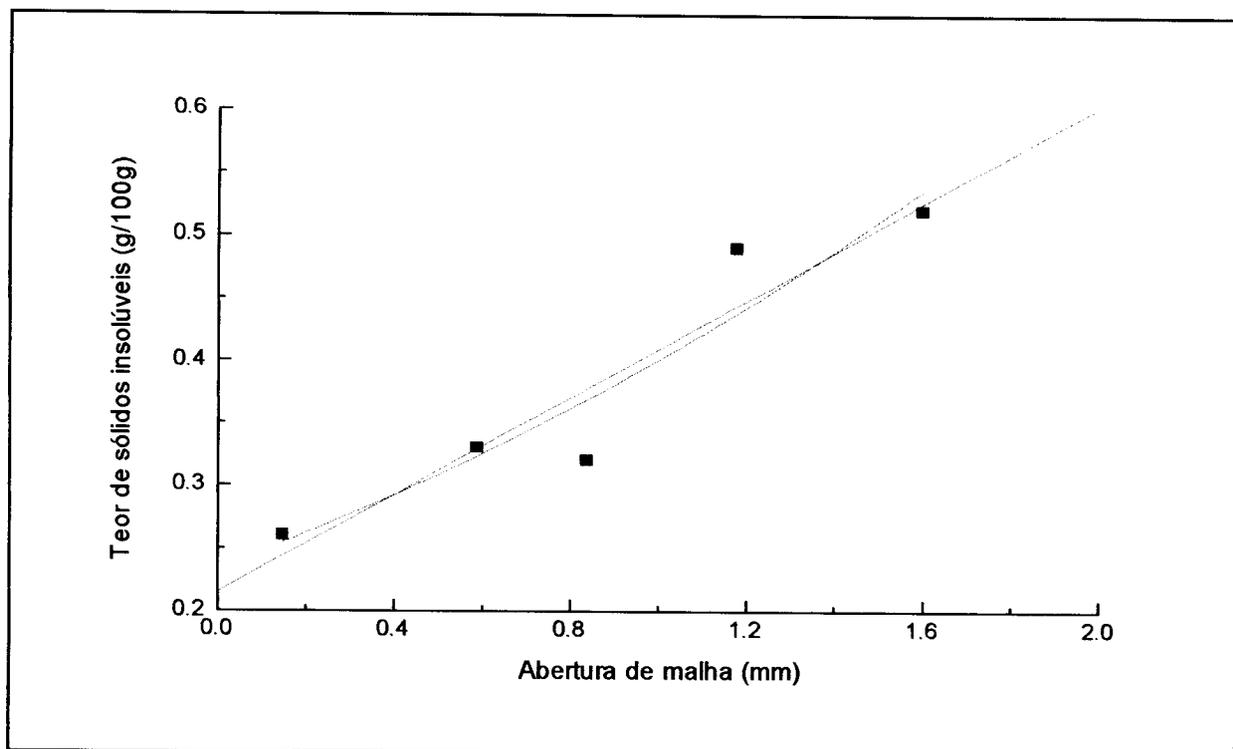


Figura 14 - Teor de sólidos insolúveis das frações de abacaxi natural em função da malha utilizada no peneiramento (ajuste linear (---), ajuste polinomial 2º grau (---)).

4.2.1.1.3 - Viscosidade

As viscosidades obtidas para as seis frações estão apresentadas no Quadro 06.B. Foi feita uma análise da viscosidade (%) de cada fração em relação à viscosidade da fração obtida na malha anterior. Estudou-se a variação da viscosidade com a variação no teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração anterior.

As viscosidades caíram com a redução dos sólidos insolúveis, mas as taxas de redução de viscosidade foram diferentes das taxas de redução de sólidos, como se observa dos valores do Quadro 06.B.

A maior redução de viscosidade ocorreu com a segunda maior redução de sólidos insolúveis (malha 0,149 mm com 72% a menos de viscosidade e 21% a menos de sólidos insolúveis). A segunda maior redução de viscosidade ocorreu com a maior redução de sólidos insolúveis (malha 0,84 mm, com 63% de redução de viscosidade e 35% de redução de sólidos insolúveis). Após vem a fração de material da malha 1,18 mm, com redução de viscosidade inferior a 30% do percentual obtido com a malha 0,149 mm e redução de sólidos insolúveis de 6%. Destes números observa-se que o peneiramento com a malha 0,59 mm não alterou a viscosidade da fração em relação à anterior. No extremo oposto, o peneiramento com a malha 0,149 mm foi o mais efetivo.

Quadro 06.B - Variação da viscosidade de cada fração de suco de abacaxi natural em relação à viscosidade da fração anterior. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de SIS de cada fração em relação à fração anterior.

	PENEIRADOS					CENTRIFUGADO
	INTEGRAL (#1.60mm)	(#1.18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	0,52	0,49	0,32	0,33	0,26	0,00(*)
VISCOSIDADE APARENTE A 300 S-1 (M.B) (mPa.s)	33,6	25,7	9,6	9,6	2,7	2,0
VARIAÇÃO (%) DE VISCOSIDADE EM RELAÇÃO A FRAÇÃO ANTERIOR (1)	-	-23	-63	0	-72	-26
VARIAÇÃO DE SIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO ANTERIOR (2)	-	-6	-35	+3	-21	-
RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁÇÕES DAS LINHAS (1) E (2)	-	3,8	1,8	0,0	3,4	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

(-): *redução*

(+): *acrécimo*

Com o intuito de verificar a proporção de decréscimo da viscosidade em relação ao decréscimo no teor de sólidos dividiu-se a variação de viscosidade, calculada para cada fração em relação à fração anterior, pela variação do teor de sólidos insolúveis, calculada para cada fração também em relação à fração anterior (Quadro 06.B).

Analisando as relações entre as variações de viscosidade e variações dos sólidos insolúveis apresentadas no Quadro 06.B observa-se que o valor mais alto (3,8) é do peneirado da malha 1,18 mm, seguido pela fração da malha 0,149 mm

(3,4) e pela fração da malha 0,84 mm (1,8). A variação nos sólidos insolúveis provocada pela malha 0,59 mm foi desprezível e a variação na viscosidade correspondente, nula, demonstrando a dependência entre a viscosidade aparente e o teor de sólidos insolúveis.

No Quadro 06.C foi feita uma análise da viscosidade (%) de cada fração em relação à viscosidade da fração obtida na malha da despoldadeira.

Para uma redução de sólidos insolúveis de 6% a 50% correspondeu uma variação de viscosidade de -23% a -92%. Da fração integral até a fração passada em centrífuga verifica-se uma relação direta entre a viscosidade e o teor de sólidos suspensos, observando-se que a redução do teor de sólidos provocou uma redução consequente na viscosidade. A peneira 1,18 mm reduziu a viscosidade em 23% (redução de sólidos de 6%). Nos peneiramentos seguintes (0,84 mm e 0,59 mm) o teor de sólidos manteve-se em torno de 37%, o que se refletiu numa redução de viscosidade igual para as duas frações (71%). No último peneiramento (0,149 mm) a viscosidade caiu em mais de 90% para uma redução de sólidos que atingiu a metade do teor da fração integral.

Quadro 06.C- Variação da viscosidade de cada fração de suco de abacaxi natural em relação à viscosidade da fração integral. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de SIS de cada fração em relação à fração integral. Relação entre viscosidade e teor de SIS de cada fração.

	PENEIRADOS					CENTRIFUGADO
	INTEGRAL (#1.60mm)	(#1.18mm)	(#0.84mm)	(#0.59mm)	(#0.149mm)	
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	0,52	0,49	0,32	0,33	0,26	0,00(*)
VISCOSIDADE APARENTE A 300 S ⁻¹ (M.B) (mPa.s)	33,6	25,7	9,6	9,6	2,7	2,0
VARIAÇÃO (%) DE VISCOSIDADE EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL (1)	-	-23	-71	-71	-92	-94
REDUÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL (2)	-	6	38	36	50	-
RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁÇÕES DAS LINHAS (1) E (2)	-	3,8	1,9	2,0	1,8	-
RELAÇÃO ENTRE VISCOSIDADE E TEOR DE SIS (mPa.s.100g/g)	64,6	52,4	30,0	29,1	10,4	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

(-): *redução*

A fim de averiguar a proporção de decréscimo da viscosidade em relação ao decréscimo no teor de sólidos dividiu-se a variação de viscosidade, calculada para cada fração em relação à fração integral, pela redução do teor de sólidos insolúveis, calculada para cada fração, também em relação à fração integral (Quadro 06.C).

Das relações entre variação de viscosidade e variação de sólidos insolúveis observa-se que o peneirado da malha 1,18 mm destacou-se em relação aos demais, com um valor de 3,8. Da fração da peneira 0,84 mm obteve-se uma relação igual a metade da anterior (1,9). A seguir tem-se o valor de 2,0 obtido com a peneira 0,59 mm. Da menor malha das peneiras a relação foi intermediária às duas anteriores (1,8).

No Quadro 06.C são apresentadas as relações entre as viscosidades aparentes e os teores de sólidos insolúveis para cada fração.

Nas relações viscosidade/sólidos insolúveis são expressos os graus de influência dos sólidos insolúveis sobre a viscosidade, onde o suco integral tem um valor na faixa de 64 mPa.s.100g/g e o passado na peneira 1,18 mm está na faixa de 52 mPa.s.100g/g. Em outro patamar estão as partículas passadas nas malhas 0,84 mm e 0,59 mm com relação em torno de 30 mPa.s.100g/g. Após vem as partículas passadas em malha 0,149 mm (índice próximo a 10 mPa.s.100g/g) que influenciaram de forma menos acentuada.

Na Figura 15 estão representadas as viscosidades aparentes a 300 s^{-1} em função do teor de sólidos insolúveis, onde observa-se a dependência das mesmas em relação a este teor. Observa-se que a eliminação das partículas com dimensões inferiores a 0,149 mm, pela centrifugação, pouco influiu na redução de viscosidades aparentes.

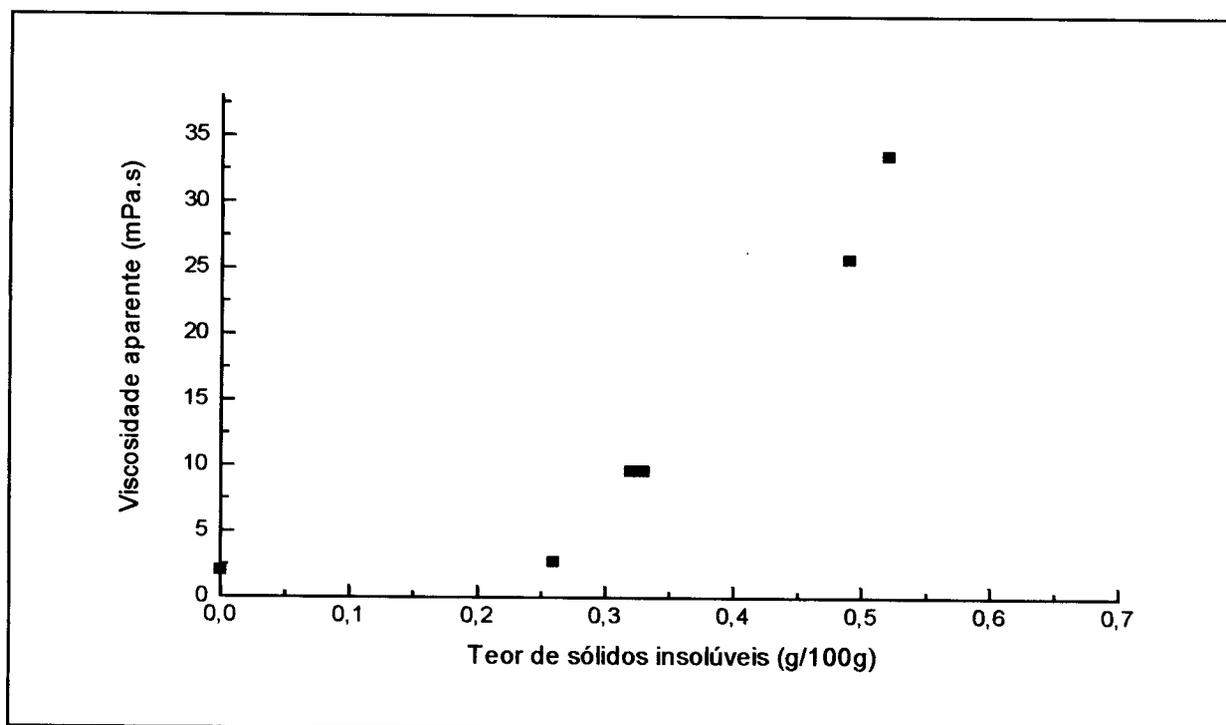


Figura 15 - Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de abacaxi natural para seus respectivos teores de sólidos.

Os sólidos passados na peneira $0,149\text{ mm}$, num total de $0,26\text{g}/100\text{g}$, apesar de representar metade dos sólidos insolúveis presentes na fração integral, apresentaram baixa influência sobre a viscosidade aparente e, como se observa na Figura 15, a sua exclusão por centrifugação pouco reduziu no valor deste parâmetro.

4.2.1.1.4 - Conclusões para suco de abacaxi natural

1 - As frações passadas em malha igual ou superior a 0,59 mm apresentaram comportamento pseudoplástico. A fração passada em malha 0,149 mm apresentou comportamento newtoniano. A fração centrifugada apresentou comportamento dilatante.

2 - O uso de peneiramentos resultou em materiais com menores teores de sólidos insolúveis suspensos e a faixa de redução obtida nos teores destes sólidos variou entre 6% e 50%.

3 - A peneira de malha 0,59 mm não acrescentou redução no teor de sólidos insolúveis suspensos em relação a peneira de malha 0,84 mm.

4 - Menores teores de sólidos insolúveis resultaram em decréscimo das viscosidades aparentes, mesmos resultados apresentados em QUEIROZ et alii (1996). Os sólidos retidos na peneira 0,149 mm foram responsáveis por 92% da viscosidade aparente (taxa de deformação de 300 s^{-1}) apesar de representar apenas 50% dos sólidos insolúveis presentes na fração integral. Isto indica que os sólidos insolúveis com maior tamanho de partícula influenciaram mais a viscosidade, resultado idêntico ao observado por MISSAIRE et alii (1991) trabalhando com polpa de maçã.

5 - O peneiramento com a malha 0,149 mm provocou uma redução no teor de sólidos insolúveis suspensos em metade do valor presente na fração integral, produzindo no comportamento reológico da fração 0,149 mm um efeito

semelhante à eliminação total dos sólidos insolúveis suspensos pela centrifugação.

6 - A eliminação total dos sólidos insolúveis suspensos com a centrifugação reduziu a viscosidade aparente da fração centrifugada para menos de 1/16 do valor da viscosidade aparente da fração integral na taxa de deformação de 300 s^{-1} , confirmando o efeito dos sólidos insolúveis sobre a viscosidade, como observado por GUNJAL & WAGHMARE (1987) em sucos de manga.

4.2.1.2 - Suco de abacaxi despectinizado

4.2.1.2.1 - Comportamento reológico

Na Figura 16 tem-se as relações entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para sucos de abacaxi despectinizados ajustadas pelo modelo de Mizrahi-Berk (parâmetros do modelo no apêndice A, Quadro A.7).

Todas as frações peneiradas de suco de abacaxi despectinizado apresentaram comportamento pseudoplástico. A amostra centrifugada comportou-se como fluido newtoniano, resultados semelhantes aos obtidos por SAENZ & COSTEL (1986) para derivados de limão clarificados e não clarificados e MARQUES & MEIRELES (1996) estudando suco de laranja.

Observa-se do conjunto de curvas da Figura 16 o destaque da curva referente a fração integral, com valores de tensão superiores em mais que o dobro em relação as demais, para cada valor de taxa de deformação. Nos resultados apresentados no Quadro 07 verifica-se que o comportamento reológico observado na Figura 16 é acompanhado por um valor também diferenciado, do teor de sólidos insolúveis, em relação às demais frações. Isto indica dois fatos: o primeiro é que grande quantidade de sólidos insolúveis foi retida, inclusive na malha de maior abertura (1,18 mm); o segundo é a dependência da viscosidade aparente, em relação aos sólidos insolúveis, do suco despectinizado.

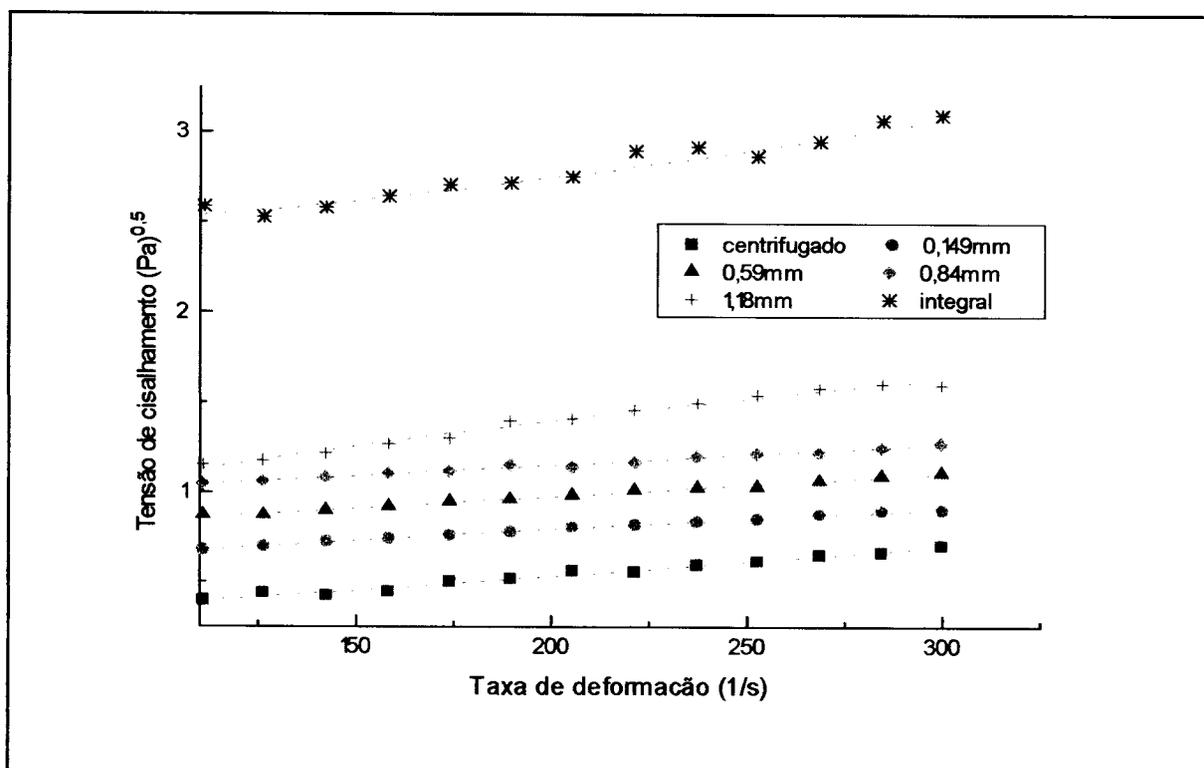


Figura 16- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para sucos de abacaxi despectinizados ajustada pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Do conjunto de curvas representando as frações com menor quantidade de material insolúvel, desde o material centrifugado até o passado em peneira 0,84 mm, é possível notar um paralelismo aproximado entre as mesmas, com inclinações semelhantes e com aumentos graduais nas tensões de cisalhamento para cada valor de taxa de deformação, conforme o aumento da abertura de malha.

A fração passada em malha 1,18 mm afastou-se das demais curvas apresentando um pequeno aumento na inclinação.

Da mesma forma que o ocorrido com os sucos de abacaxi naturais as tensões de cisalhamento decresceram com a redução de abertura de cada malha empregada, assim como aconteceu com o teor de sólidos insolúveis (Quadro 07).

4.2.1.2.2 - Sólidos insolúveis

Foi feita uma análise do teor de sólidos insolúveis (%) contidos em cada fração em relação à fração obtida na malha anterior (Quadro 07). Procurou-se relacionar a variação da quantidade destas partículas com a redução de abertura de malha da peneira em relação à peneira anterior.

Quadro 07 - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da peneira anterior e relações entre o teor de SIS de cada fração de suco de abacaxi despectinizado e o teor de SIS da fração anterior

	INTEGRAL (#1,60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
REDUÇÃO DA MALHA (mm)	-	0,42	0,34	0,25	0,44	-
REDUÇÃO DA MALHA (%)	-	26	29	30	75	-
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	0,61	0,25	0,19	0,11	0,09	0,00(*)
(%) SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A # ANTERIOR	100	41	76	58	82	-
VARIAÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS	-	-59	-24	-42	-18	-

#: **malha**

(*): **valor teórico**

(-): **redução**

Pecebe-se dos dados do Quadro 07 que para reduções de abertura de malha entre 26% e 75% corresponderam variações nos teores de sólidos -18% até -59%. As taxas de redução de sólidos insolúveis, porém, não acompanharam as taxas de redução das malhas.

Em termos percentuais, a retenção de sólidos insolúveis pela peneira 1,18mm foi a maior (59%) dentre todas as malhas utilizadas, chegando a retirar mais que o triplo da quantidade de sólidos retirados pela peneira 0,149 mm (18%) e mais que o dobro daqueles retidos pela peneira 0,84 mm (24%). A peneira 0,59 mm foi a que teve o desempenho mais aproximado àquela (42%), porém, ainda assim, 28% inferior. Da malha 1,18 mm até a de 0,149 mm nota-se um desempenho irregular na redução dos sólidos insolúveis, culminando com o resultado obtido com esta última peneira, que embora seja 75% menor que a sua anterior só reduziu aqueles em 18%.

Na etapa seguinte foi feita uma análise do teor (%) de sólidos insolúveis contidos em cada fração em relação à fração integral, obtida na malha da despoldadeira. Procurou-se relacionar a redução da quantidade destas partículas com a redução de abertura de malha da peneira em relação à malha da despoldadeira. Os dados são apresentados no Quadro 07.A.

Quadro 07. A - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da despoldadeira e relações entre o teor de SIS de cada fração de suco de abacaxi despectinizado e o teor de SIS da fração integral. Relação entre as reduções de teor de sólidos e de abertura de malha.

	PENEIRADOS					CENTRIFUGADO
	INTEGRAL (#1,60mm)	(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
REDUÇÃO DA MALHA (mm)	-	0,42	0,76	1,01	1,45	-
REDUÇÃO DA MALHA (%) (1)	-	26	47	63	91	-
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	0,61	0,25	0,19	0,11	0,09	0,00(*)
(%) SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL	100	41	31	18	15	-
REDUÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS (2)	-	59	69	82	85	-
RELAÇÕES ENTRE AS REDUÇÕES DAS LINHAS (2) E (1)	-	2,26	1,47	1,30	0,93	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

Para uma redução de abertura de malha de 26% a 91% correspondeu uma redução de sólidos insolúveis de 59% a 85%. À medida que se reduziu a malha obteve-se consequente redução nos teores de sólidos insolúveis em todos os peneirados. Assim, entre a peneira 1,18 mm (menor redução de sólidos, 59%) e a peneira 0,84 mm (69% de redução de sólidos) houve uma variação de percentual de -10%. Entre a peneira 0,84 mm e a 0,59 mm (82% de redução de sólidos) ocorreu uma variação de -13%. Entre a peneira 0,59 mm e a 0,149 mm (85% de redução de sólidos) houve uma variação de -3% (Quadro 07.A).

Para quantificar a proporção de decréscimo do teor de sólidos insolúveis em relação ao decréscimo na abertura de malha dividiu-se a redução (%) de sólidos insolúveis para cada fração, em relação à fração integral, pela redução de malha calculada em relação à malha da despoldadeira (Quadro 07.A).

Embora a maior redução percentual de sólidos insolúveis obtida com os peneiramentos tenha ocorrido com o uso da peneira 0,149 mm (85%), verifica-se que esta malha apresentou a menor relação entre redução percentual de sólidos insolúveis e redução percentual de abertura de malha (0,93), seguida, em ordem crescente pelas malhas 0,59 mm, com 1,30 e 0,84 mm com 1,47. Por fim, vem a peneira 1,18 mm cuja redução de malha foi proporcionalmente mais eficaz na redução de sólidos insolúveis (2,26), superando a peneira 0,149 mm em quase 250%. Esta diferença pode ser devida a uma presença maior, na amostra, de partículas com dimensões entre 1,18 mm e 1,60 mm.

Na Figura 17 observa-se o teor de sólidos insolúveis como função da abertura de malha utilizada nos peneiramentos (ajuste linear: $R=0,895$; ajuste por polinômio de 2º grau: $R=0,987$).

O comportamento dos pontos experimentais indica a redução da quantidade de sólidos em cada etapa. Identifica-se uma maior redução no teor de sólidos insolúveis provocada pela peneira 1,18 mm. Nos peneiramentos seguintes as reduções foram mais gradativas, apesar do pequeno deslocamento do ponto representado pela malha 0,59 mm em relação à malha anterior.

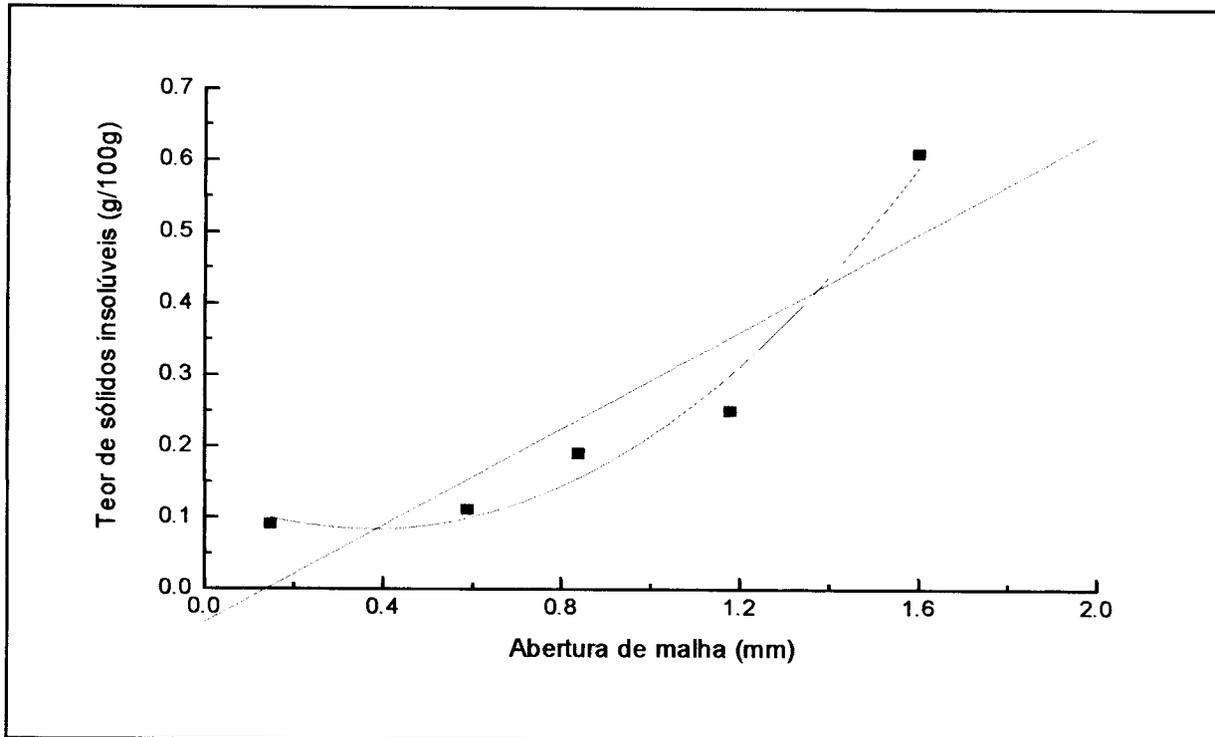


Figura 17-Teor de sólidos insolúveis das frações de abacaxi despectinizado em função da malha utilizada no peneiramento (ajuste linear (---), ajuste polinomial 2º grau (---)).

4.2.1.2.3 - Viscosidade

As viscosidades obtidas para as seis frações estão apresentadas no Quadro 07.B. Foi feita uma análise da viscosidade (%) de cada fração em relação à viscosidade da fração obtida na malha anterior. Estudou-se a variação da viscosidade com a variação no teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração anterior.

As viscosidades caíram com a retirada gradativa dos sólidos insolúveis, no entanto, as taxas de redução daquelas foram diferentes das taxas de redução

destes, como se observa dos valores de redução de viscosidade e de sólidos insolúveis no Quadro 07.B.

Quadro 07.B - Variação da viscosidade de cada fração de suco de abacaxi despectinizado em relação à viscosidade da fração anterior. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de SIS de cada fração em relação a fração anterior.

	INTEGRAL (#1.60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1.18mm)	(#0.84mm)	(#0.59mm)	(#0.149mm)	
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	0,61	0,25	0,19	0,11	0,09	0,00(*)
VISCOSIDADE APARENTE A 300 S-1 (M.B) (mPa.s)	30,7	8,7	5,3	3,8	2,7	1,6
VARIAÇÃO (%) DE VISCOSIDADE EM RELAÇÃO A FRAÇÃO ANTERIOR (1)	-	-71	-39	-28	-28	-43
VARIAÇÃO DE SIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO ANTERIOR (2)	-	-59	-24	-42	-18	-
RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁÇÕES DAS LINHAS (1) E (2)	-	1,2	1,6	0,7	1,6	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

(-): *redução*

A maior redução de viscosidade ocorreu com a maior redução de sólidos insolúveis (71% e 59% respectivamente). Assim como na retenção dos sólidos insolúveis a malha 1,18 mm foi a que originou esta fração de material, com resultado 82% superior à peneira com segundo melhor desempenho (malha 0,84 mm com 39% a menos de viscosidade para uma redução de sólidos insolúveis de

24%) e 150% superior às demais, 0,59 mm (redução de viscosidade igual a anterior, 28%, para a menor de todas as reduções de sólidos insolúveis, 18%).

A fim de verificar a proporção de decréscimo da viscosidade em relação ao decréscimo no teor de sólidos dividiu-se a variação de viscosidade, calculada para cada fração em relação à fração anterior, pela variação do teor de sólidos insolúveis, calculada para cada fração também em relação à fração anterior (Quadro 07.B).

Fazendo a relação variação de viscosidade/variação de sólidos insolúveis respectivos para cada fração de material, tem-se o valor mais alto com o passado na peneira 0,84 mm (1,63). Com valor aproximado ao anterior vem a fração de material da peneira 0,149 mm (1,56). A seguir está a fração da peneira 1,18 mm (1,21), vindo depois o peneirado da malha 0,59 mm (0,68).

No Quadro 07.C foi feita uma análise da viscosidade (%) de cada fração em relação à viscosidade da fração obtida na malha da despoldadeira.

Para uma redução de sólidos insolúveis de 59% a 85% correspondeu uma variação de viscosidade de 71% a 91%.

À menor redução de sólidos insolúveis (malha 1,18 mm) correspondeu a menor redução de viscosidade (71%). Seguiu-se a segunda menor redução de sólidos (malha 0,84), a qual correspondeu a segunda menor redução de viscosidade (82%). À terceira e quarta redução de sólidos (peneiras 0,59 mm e 0,149 mm) corresponderam na mesma ordem às terceira e quarta reduções de viscosidade (-88% e -91%, respectivamente).

Quadro 07.C- Variação da viscosidade de cada fração de suco de abacaxi despectinizado em relação à viscosidade da fração integral. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de SIS de cada fração em relação à fração integral. Relação entre viscosidade e teor de SIS de cada fração.

	PENEIRADOS					CENTRIFUGADO
	INTEGRAL (#1.60mm)	(#1.18mm)	(#0.84mm)	(#0.59mm)	(#0.149mm)	
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	0,61	0,25	0,19	0,11	0,09	0,00(*)
VISCOSIDADE APARENTE A 300 S-1 (M B) (mPa s)	30,7	8,7	5,3	3,8	2,7	1,6
VARIAÇÃO (%) DE VISCOSIDADE EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL (1)	-	-71	-83	-88	-91	-95
REDUÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL (2)	-	59	69	82	85	-
RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁÇÕES DAS LINHAS (1) E (2)	-	1,2	1,2	1,1	1,1	-
RELAÇÃO ENTRE VISCOSIDADE E TEOR DE SIS (mPa s/100g)	50,3	35,0	28,0	34,5	30,2	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

(-): *redução*

Verifica-se uma relação direta entre a retirada de sólidos insolúveis e a redução de viscosidade desde a peneira 1,18 mm até a fração centrifugada, mas as diferenças de viscosidade entre a fração seguinte e a anterior diminuíram com a redução das malhas, o que nem sempre ocorreu com os sólidos.

A fim de averiguar a proporção de decréscimo da viscosidade em relação ao decréscimo no teor de sólidos dividiu-se a variação de viscosidade, calculada para cada fração em relação à fração integral, pela redução do teor de sólidos

insolúveis, calculada para cada fração, também em relação à fração integral (Quadro 07.C). As relações entre redução de viscosidade e redução de sólidos insolúveis oscilaram entre os valores 1,1 (peneiras 0,149 mm e 0,59 mm) e 1,2 (peneiras 0,84 mm e 1,18 mm), ou seja, as reduções de sólidos insolúveis obtidas com cada um destes pares de peneiras se refletiu de maneira semelhante nas reduções de viscosidade destes pares (Quadro 07.C).

No que se refere aos teores de sólidos insolúveis presentes em cada material e a viscosidade a estes devida percebe-se que a maior relação viscosidade/sólidos insolúveis é da fração integral, indicando mais influência proporcional dos sólidos desta fração sobre a viscosidade que os sólidos das demais. Nos peneirados a influência dos sólidos passados em malha 1,18 mm e 0,59 mm é aproximada, sendo 30% aproximadamente, inferior à da fração integral. A seguir vem os sólidos do peneirado da malha 0,149 mm que influenciaram a viscosidade 40% menos que os sólidos da fração integral e depois os sólidos insolúveis da malha 0,84 mm com valor 44% menor.

Na Figura 18 observa-se a viscosidade em função dos sólidos insolúveis. Para valores de sólidos insolúveis na faixa entre 0,61 e 0,19 g/100g (Quadro 07.A) a viscosidade aparente diminui como uma relação aproximadamente linear, como se pode ver pela inclinação deste trecho da curva. Inclinação semelhante a esta, tem também o trecho de curva na faixa de sólidos insolúveis entre 0,11 e 0,09 g/100g. Os trechos da curva correspondentes aos teores de sólidos insolúveis na faixa de 0,19 a 0,11 g/100g e na faixa de 0,09 a 0,0 g/100g têm inclinações semelhantes e menos acentuadas que os dois trechos anteriormente citados, denotando uma menor variação da viscosidade com a redução no teor de sólidos insolúveis.

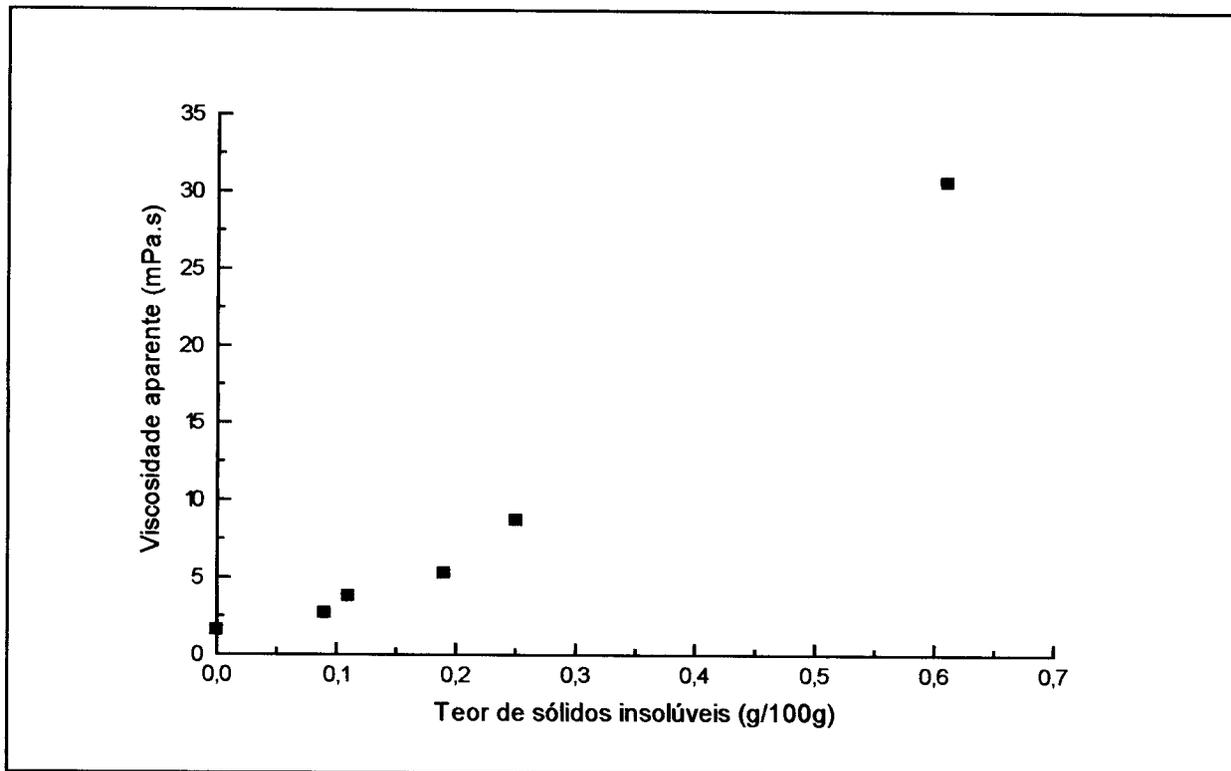


Figura 18- Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de abacaxi despectinizado para seus respectivos teores de sólidos

4.2.1.2.4 - Conclusões para suco de abacaxi despectinizado

1 - Todas as frações peneiradas de suco de abacaxi despectinizado apresentaram comportamento pseudoplástico. A amostra centrifugada comportou-se como fluido newtoniano.

2 - O uso de peneiramentos reduziu o teor de sólidos insolúveis suspensos para menos da metade do teor presente na fração integral, já a partir da peneira 1,18 mm. Com a peneira 0,149 mm a redução atingiu um valor de quase 1/7 do teor da fração integral.

3 - A retirada gradativa dos sólidos insolúveis suspensos pelos peneiramentos foi acompanhada pela redução nos valores de viscosidade aparente.

4 - A eliminação total dos sólidos insolúveis suspensos pela centrifugação reduziu a viscosidade aparente para menos de 1/19 do valor obtido para a fração integral.

4.2.1.3 - Comparação entre os resultados dos sucos de abacaxi natural e despectinizado

4.2.1.3.1 - Comportamento reológico

Na Figura 19 estão representadas as curvas tensão de cisalhamento versus taxa de deformação para três amostras de suco de abacaxi naturais e três amostras de suco de abacaxi despectinizadas. As amostras de cada material foram escolhidas visando comparar as frações com maior teor de sólidos insolúveis (integrais), as frações isentas destes sólidos (centrifugados) e as frações passadas em peneiras intermediárias (0,84 mm).

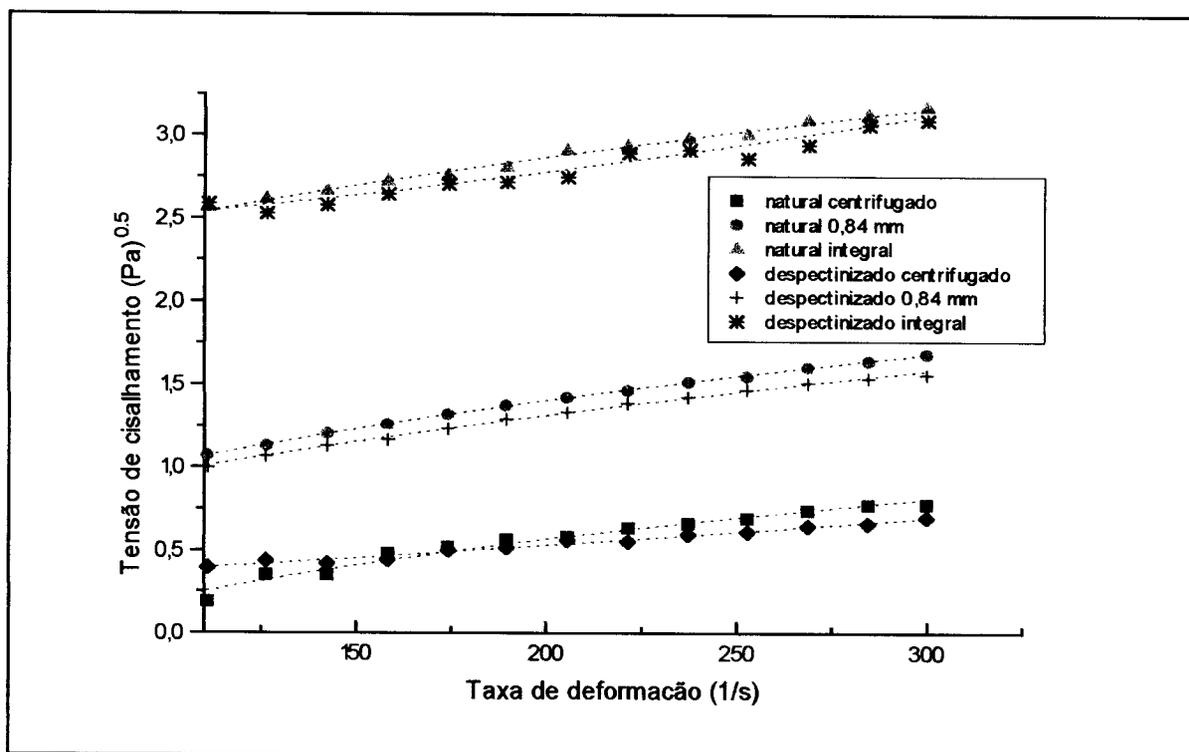


Figura 19 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para as frações integral, passada em peneira 0,84 mm e centrifugada de abacaxi natural e despectinado com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Observa-se nas seis curvas um comportamento semelhante a cada duas, formando três pares, com as curvas das frações centrifugadas praticamente coincidindo. Nas curvas das frações passadas em peneira 0,84 mm as inclinações são semelhantes embora a fração do material natural esteja representado numa posição pouco superior à posição do material despectinizado, na escala das tensões. O mesmo ocorre com as frações dos materiais integrais, com a curva do material natural posicionada pouco acima da curva do despectinizado. Em ambos os casos é possível perceber a maior dispersão dos pontos experimentais em torno das curvas de ajuste, o que não foi notado nas frações peneiradas e centrifugadas.

4.2.1.3.2 - Avaliação do uso das peneiras na redução do teor de sólidos insolúveis dos materiais

Na Figura 20 e Quadros 06.A e 07.A observa-se que a retenção dos sólidos insolúveis por cada uma das peneiras diferiu entre o suco de abacaxi natural e o despectinizado. Todas as peneiras retiveram mais sólidos no material despectinizado do que no material natural. A peneira 1,18 mm reteve apenas 6,0% de sólidos do material integral natural, enquanto no material integral despectinizado a retenção atingiu quase 60%. No peneiramento seguinte (0,84 mm) a retenção de sólidos no material natural melhorou, chegando a 38%. Mesmo assim o peneiramento do material despectinizado em malha 0,84 mm atingiu uma retenção de 68%. Esta tendência continuou nos peneiramentos seguintes, com a retenção máxima conseguida no material natural inferior a retenção mínima obtida com o despectinizado (50% da peneira 0,149 mm contra 59% da peneira 1,18 mm).

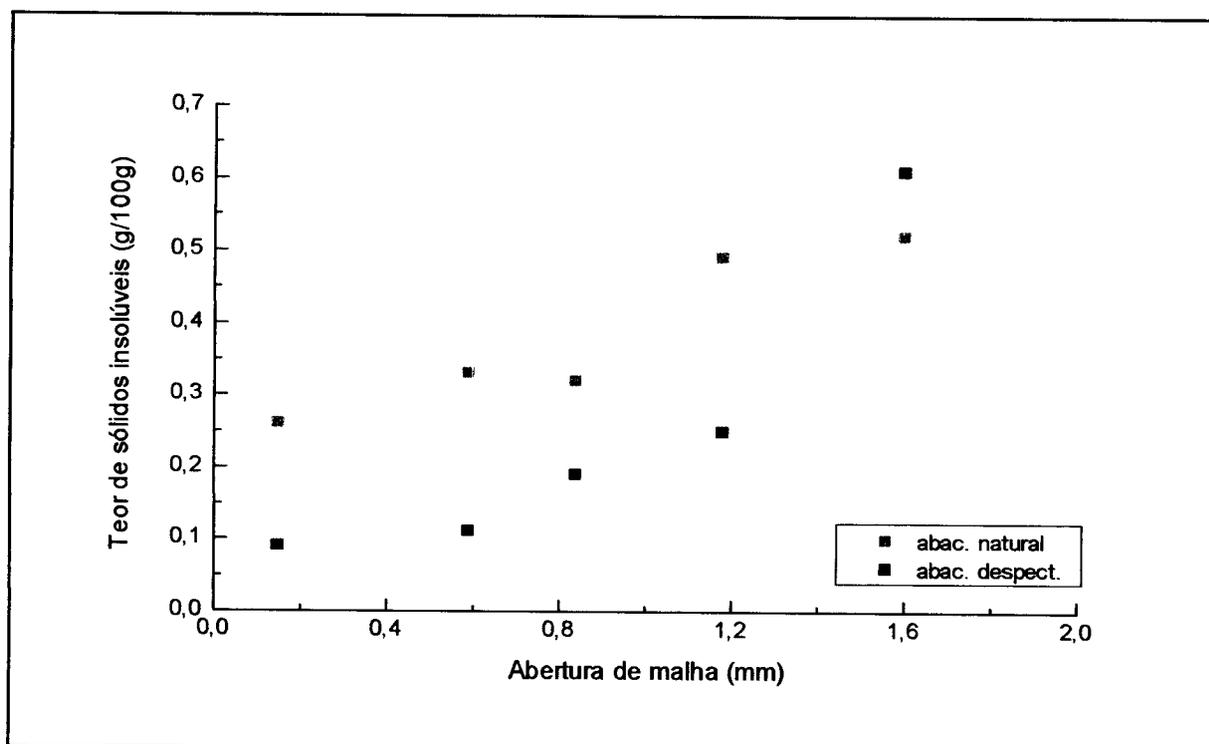


Figura 20 - Teores de sólidos insolúveis das frações de abacaxi natural e despectinizado em função da malha utilizada no peneiramento

Em valores absolutos o teor de sólidos insolúveis medido no material natural da menor peneira (0,149 mm) foi praticamente igual ao teor de sólidos medido no material despectinizado da maior peneira (1,18 mm). Nota-se também que, ao material natural, a peneira 0,59 mm não acrescentou retenção em relação a peneira anterior (0,84 mm). Fato semelhante ocorreu com o despectinizado, porém, com a peneira 0,149 mm, que pouco aumentou a retenção em relação a peneira 0,59 mm apesar de ter abertura de malha 75% menor.

A eficiência de retenção, dada pela relação entre redução percentual da quantidade de sólidos e redução percentual de malha foi maior nos peneiramentos do material despectinizado em todas as malhas utilizadas. Neste material as maiores eficiências foram obtidas sempre com as malhas de maior abertura,

notando-se que a menor eficiência, conseguida com a peneira 0,149 mm (0,93) foi superior a maior eficiência obtida no material natural (0,81 com a peneira 0,84 mm). Neste material natural a maior peneira (1,18 mm) foi a que apresentou a menor eficiência (0,23), enquanto as peneiras 0,59 mm e 0,149 mm tiveram índices semelhantes e intermediários aos demais (0,57 e 0,55 respectivamente).

4.2.1.3.3 - Influência dos sólidos insolúveis na viscosidade dos sucos natural e despectinizado de abacaxi

As viscosidades dos materiais natural e despectinizado acompanharam os teores de sólidos insolúveis, diminuindo de valor a medida em que estes foram sendo reduzidos e a forma como as viscosidades caíram com as reduções de sólidos insolúveis diferiram do material natural para o despectinizado. Assim o material natural, em relação ao despectinizado, partiu de um teor de sólidos inferior e uma viscosidade superior, medidos no produto integral, para um teor de sólidos superior e uma viscosidade similar no último peneiramento. Verificam-se assim, pontualmente, viscosidades semelhantes em materiais com diferentes teores de sólidos insolúveis. Comparando os materiais passados em cada uma das peneiras percebe-se que na menor das malhas as viscosidades do material natural e do despectinizado apresentaram valores idênticos para teores de sólidos diferentes em 65% (Quadros 06.C e 07.C). No material natural, embora a maior redução de viscosidade entre os peneirados (92%) tenha ocorrido na fração da malha 0,149 mm, com o material da peneira 0,84 mm já foi conseguida uma redução de 71%. Da mesma forma o material despectinizado teve sua maior redução de viscosidade com a peneira 0,149 mm (91%), mas a peneira 1,18 mm originou um material com a viscosidade reduzida em 71%.

Na Figura 21 vê-se o comportamento das curvas de viscosidade em função do teor de sólidos insolúveis para os dois materiais. Observando os valores das relações entre redução percentual de viscosidade e redução percentual do teor de sólidos insolúveis percebe-se que as reduções de sólidos provocaram reduções de viscosidade em ordens diferentes entre o material natural e o despectinizado.

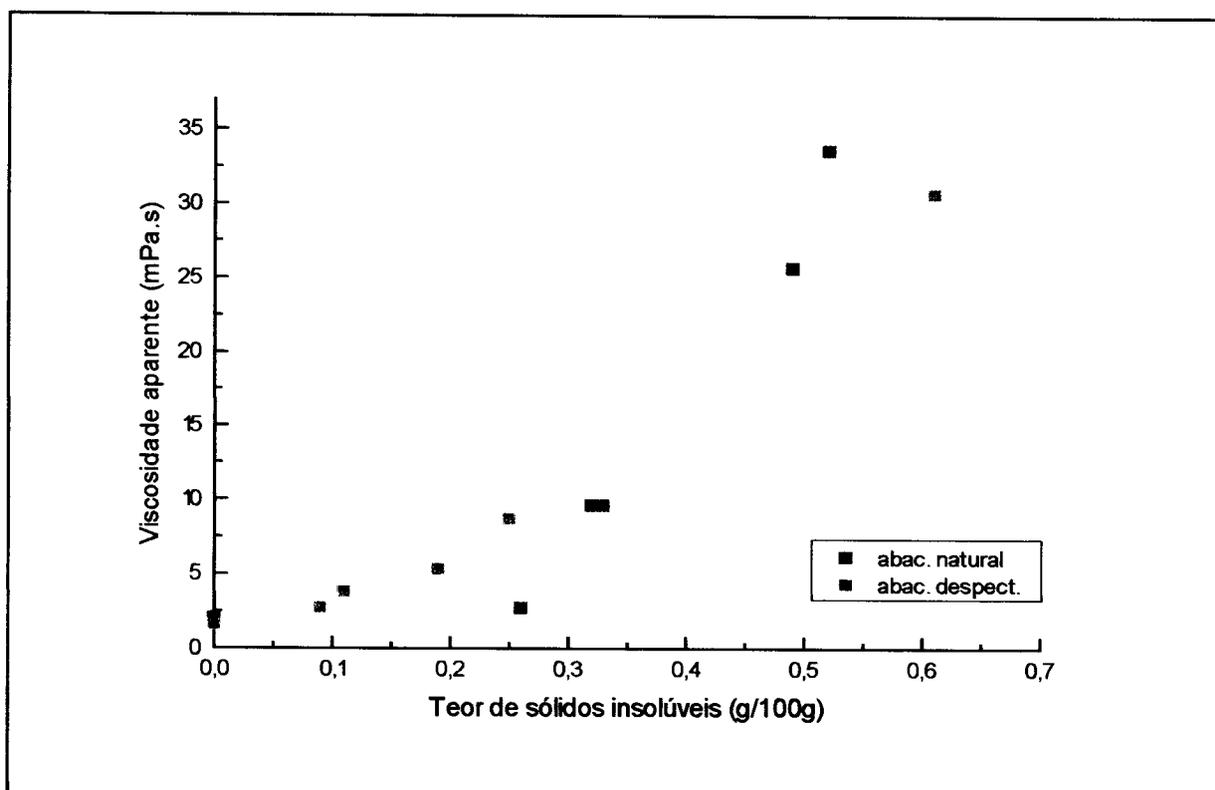


Figura 21 - Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de abacaxi natural e despectinizado para seus respectivos teores de sólidos

No despectinizado todas as relações foram em níveis semelhantes e situaram-se na faixa entre 1,1 e 1,2 para todos os peneirados. No material natural, após o valor de 3,8 do material da peneira 1,18 mm, o índice da relação se situou

entre 1,8 e 2,0 para os demais peneirados. Considerando os valores absolutos de viscosidade e de sólidos insolúveis, a relação entre ambos também foi mais estável no despectinizado para todos os peneirados. No entanto, a média destes valores foi semelhante para o natural (37,3 mPa.s.100g/g) e para o despectinizado (35,3 mPa.s.100g/g), com o desvio padrão do natural sendo mais que o dobro do desvio padrão do despectinizado (19,1 mPa.s.100g/g contra 7,8 mPa.s.100g/g). Esta diferença entre os desvios refletiu particularmente os valores obtidos para o suco natural integral, com 64,6 mPa.s.100g/g e o suco natural da peneira 0,149 mm, com 10,4 mPa.s.100g/g. No caso do material integral, tanto natural quanto despectinizado, este pareceu sofrer mais influência dos sólidos insolúveis contidos nas suas amostras do que os materiais peneirados. Também no caso do material natural da peneira 1,18 mm obteve-se um número superior aos dos demais peneirados. De maneira geral a viscosidade do despectinizado mostrou uma certa constância na sua dependência em relação aos sólidos insolúveis em todos os peneirados, ao contrário do material natural onde apenas os valores para os materiais das peneiras 0,84 mm e 0,59 mm estiveram próximos e com um valor semelhante aqueles dos despectinizados.

4.2.1.3.4 - Conclusões para a comparação dos sucos de abacaxi natural e despectinizado

1 - Os peneiramentos provocaram reduções dos sólidos insolúveis nos dois materiais, mostrando-se como meio válido de separação de partículas insolúveis suspensas de sucos de abacaxi. As faixas de teores de sólidos insolúveis suspensos presentes nos materiais passados em cada peneira foram:

- Malha 0,149 mm, de 0,09 a 0,26 g/100g;
- Malha 0,59 mm, de 0,11 a 0,33 g/100g;
- Malha 0,84 mm, de 0,19 a 0,32 g/100g;
- Malha 1,18 mm, de 0,25 a 0,49 g/100g.

2 - O teor de sólidos insolúveis suspensos mostrou-se o principal fator responsável pelo comportamento reológico dos sucos de abacaxi naturais e despectinizados, resultado semelhante ao relatado para sucos de tomate (WHITTENBERGER & NUTTING, 1957, HOLDSWORTH, 1971), de damasco (TRIFIRÒ et alii, 1987), e de frutas diversas (SARAVACOS, 1968). A redução do teor de sólidos insolúveis suspensos afetou de forma diferente os valores de viscosidade aparente dos dois materiais porém, essa diferença não foi grande o suficiente para que se possa afirmar se a mesma foi devida a precipitação da pectina ou se foi devida a variabilidade natural das amostras.

3 - A redução do teor de sólidos insolúveis suspensos dos sucos de abacaxi naturais e despectinizados a níveis entre 0,09 e 0,26 g/100g provocou

reduções de viscosidade aparente a níveis semelhantes às obtidas com a eliminação total desses sólidos, nas amostras.

4.2.2 - Estudo do suco de manga

4.2.2.1 - Suco de manga natural

4.2.2.1.1 - Comportamento reológico

Na Figura 22 tem-se as relações entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para sucos de manga natural ajustadas pelo modelo de Mizrahi-Berk (parâmetros do modelo no Apêndice A, Quadro A.8).

Todas as frações de suco de manga natural, inclusive a fração centrifugada apresentaram comportamento pseudoplástico. Este comportamento condiz com os resultados obtidos por autores diversos para sucos contendo sólidos suspensos (VITALI & RAO, 1984, TRIFIRÒ et alii, 1987) e sucos contendo pectina (HOLDSWORTH, 1971, MANOHAR et alii, 1990).

Analisando as curvas da Figura 22 e considerando, por hipótese, que à redução global da quantidade de sólidos insolúveis corresponde uma diminuição de tensão de cisalhamento para cada taxa de deformação esta hipótese só seria confirmada pela curva que representa a fração centrifugada. O comportamento das curvas representando os peneirados e a fração integral não apresenta qualquer tendência que faça supor que a maior ou menor quantidade de sólidos insolúveis extraída por cada uma das malhas tenha sido causa de reduções das tensões de cisalhamento em cada taxa de deformação. Exemplo disto é a curva referente a fração 0,149 mm que, apesar de ter a menor das aberturas de malha está posicionada na região de maiores tensões de cisalhamento. A curva

representando o comportamento do material integral encontra-se mais abaixo, sendo superada também pela curva da fração da peneira 1,18 mm e superando, além do centrifugado, apenas as peneiras 1,18 mm e 0,84 mm. Nota-se ainda que nos materiais das peneiras 0,84 mm e 0,59 mm foram medidos praticamente os mesmos teores de sólidos insolúveis (Quadro 08) mas as suas curvas não coincidem, o que reforça o indício de que o teor destes sólidos, dentro da faixa obtida com as malhas de 1,6 mm até 0,149 mm teve um efeito aleatório na faixa de tensões de cisalhamento e taxas de deformação estudadas.

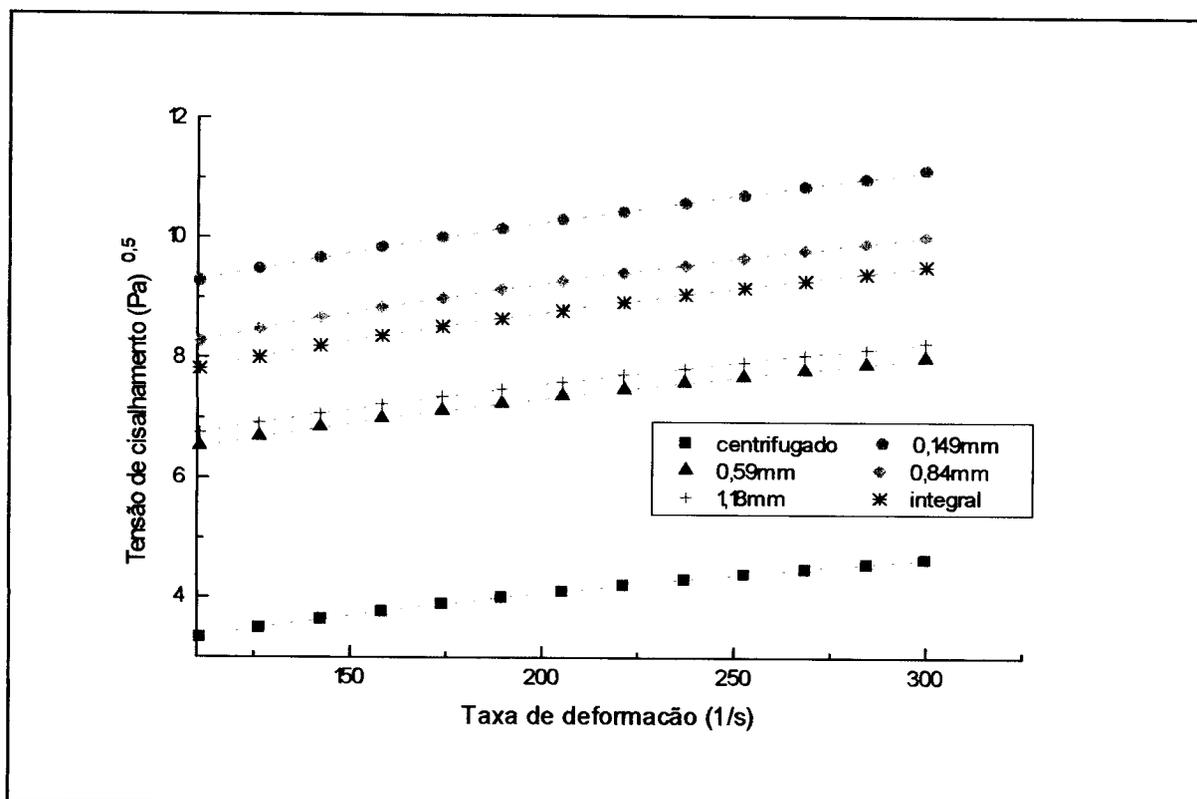


Figura 22 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para manga natural ajustada pelo modelo de Mizrahi-Berk.

4.2.2.1.2 - Sólidos insolúveis

Foi feita uma análise do teor de sólidos insolúveis (%) contidos em cada fração em relação à fração obtida na malha anterior (Quadro 08). Estudou-se a variação da quantidade destas partículas com a redução de abertura de malha da peneira em relação à peneira anterior.

No Quadro 08 observa-se os efeitos dos peneiramentos sobre os teores de sólidos insolúveis. À variação de -26% a -75% na abertura de malha das peneiras correspondeu uma variação nestes sólidos de +3% a -25% . As taxas de variação destes foram diferentes das taxas de variação das malhas.

Percentualmente a retenção de sólidos insolúveis de maior valor (-25%) foi obtida com a peneira 0,149 mm (maior redução de malha, 75%).

Quadro 08 - Relações entre a malha de cada peneira e a malha anterior. Relações entre o teor de SIS de cada fração de peneirados de suco de manga natural e o teor de SIS da fração anterior.

	INTEGRAL (#1,60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
REDUÇÃO DA MALHA (mm)	-	0,42	0,34	0,25	0,44	-
REDUÇÃO DA MALHA (%)	-	26	29	30	75	-
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	1,02	0,94	0,77	0,79	0,59	0,00(*)
(%) SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A # ANTERIOR	100	92	82	103	75	-
VARIAÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS	-	-8	-18	+3	-25	-

: *malha*

(*): *valor teórico*

(-): *redução*

(+): *acrécimo*

Seguiram-se a peneira 0,84 mm, reduzindo os sólidos em -18%, a peneira 1,18 mm, com 8% de redução e finalmente a peneira 0,59 mm que não provocou redução de sólidos insolúveis, apesar de ter abertura 29% inferior a abertura da malha anterior.

Numa segunda etapa foi feita uma análise do teor (%) de sólidos insolúveis contidos em cada fração em relação à fração integral, obtida na malha da despoldadeira. Procurou-se relacionar a redução da quantidade destas partículas com a redução de abertura de malha da peneira em relação à malha da despoldadeira. Os dados são apresentados no Quadro 08.A.

Quadro 08.A - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da despoldadeira. Relações entre o teor de SIS de cada fração de peneirados de suco de manga natural e o teor de SIS da fração integral. Relação entre as reduções de teor de sólidos e de abertura de malha.

	INTEGRAL (#1,60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
REDUÇÃO DA MALHA (mm)	-	0,42	0,76	1,01	1,45	-
REDUÇÃO DA MALHA (%) (1)	-	26	47	63	91	-
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	1,02	0,94	0,77	0,79	0,59	0,00(*)
(%) SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL	100	92	75	77	58	-
REDUÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS (2)	-	8	25	23	42	-
RELAÇÕES ENTRE AS REDUÇÕES DAS LINHAS (2) E (1)	-	0,30	0,52	0,36	0,46	-

: *malha*

(*): *valor teórico*

Para uma variação de abertura de malha entre -26% e -91% correspondeu uma redução de sólidos insolúveis numa faixa de 8% a 42%

Os peneiramentos provocaram, com exceção da peneira 0,59 mm, uma redução gradual no teor de sólidos insolúveis.

A menor das reduções foi obtida com o uso da peneira 1,18 mm (8%), que representou uma diminuição de malha de 26%. Em seguida, a peneira 0,84 mm, 47% menor em abertura de malha, originou uma fração com 25% a menos de sólidos (redução três vezes maior que a anterior). A peneira 0,59 mm, 63%

menor em abertura de malha, originou uma redução de sólidos de 23%, inferior a obtida com a malha anterior, apesar de ter 0,25 mm a menos de abertura que aquela. A maior das reduções de sólidos insolúveis (42%) foi obtida com a maior das reduções de malha (91%), peneira 0,149 mm, chegando a ser mais de quatro vezes superior à redução da malha 1,18 mm.

Para quantificar a proporção de decréscimo do teor de sólidos insolúveis em relação ao decréscimo na abertura de malha dividiu-se a redução (%) de sólidos insolúveis para cada fração, em relação à fração integral, pela redução de malha calculada em relação à malha da despoldadeira (Quadro 08.A).

Dos valores das relações entre redução percentual de sólidos insolúveis/redução percentual de malha (Quadro 08.A) tem-se que a redução de malha mais significativa na redução de sólidos foi obtida com a peneira 0,84 mm com o valor de 0,52. A seguir vem a peneira 0,149 com 0,46. Após vem as peneiras 0,59 mm (com valor igual a 0,36) e 1,18 mm (0,30).

Na Figura 23 observa-se o teor de sólidos insolúveis como função da abertura de malha utilizada nos peneiramentos (ajuste linear: $R=0,973$; ajuste por polinômio de 2º grau: $R=0,976$).

O comportamento dos pontos experimentais evidencia a redução da quantidade de sólidos em cada etapa, com destaque para a fração obtida com a malha 0,84 mm. Esta fração representou uma retenção maior de sólidos insolúveis em relação à peneira 1,18 mm. A peneira 0,149 mm igualmente representa uma retenção maior em relação à sua anterior, peneira 0,59 mm. Interpretando estes comportamentos conclui-se que o material integral possuía

maior quantidade de partículas com tamanho entre 0,84 mm e 1,18 mm e entre 0,149 mm e 0,59 mm. Entre 0,59 mm e 0,84 mm não ficou evidenciada a presença de partículas.

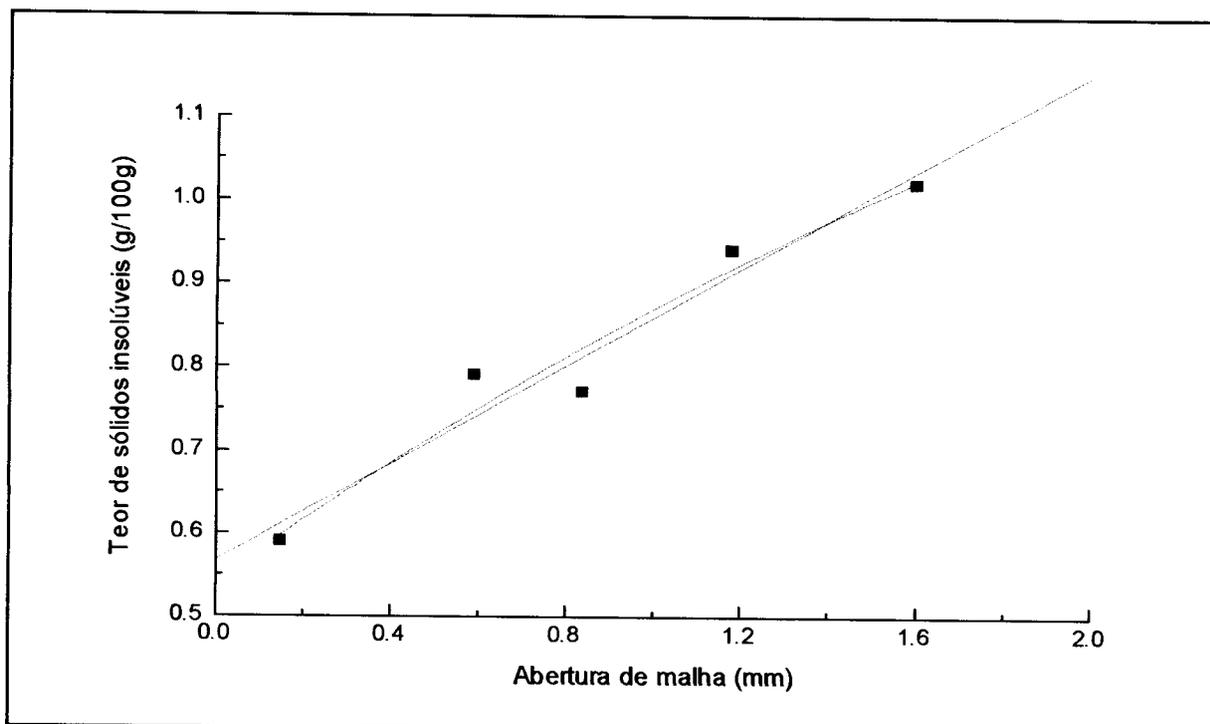


Figura 23 - Teores de sólidos insolúveis das frações de manga natural em função da malha utilizada no peneiramento (ajuste linear (---), ajuste polinomial 2º grau (---)).

4.2.2.1.3 - Viscosidade

As viscosidades obtidas para as seis frações estão apresentadas no Quadro 08.B. Foi feita uma análise da viscosidade (%) de cada fração em relação à viscosidade da fração obtida na malha anterior. Estudou-se a variação da viscosidade com a variação no teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração anterior.

As viscosidades não diminuíram com a retirada gradativa dos sólidos insolúveis como se vê dos dados do Quadro 08.B. Ao contrário, a redução gradual nos teores de sólidos foi acompanhada por variações aparentemente aleatórias nos valores de viscosidade. Os números referentes a esta propriedade nos peneirados variaram em valores superiores e inferiores ao medido na fração integral.

Quadro 08.B - Variação da viscosidade de cada fração de suco de manga natural em relação à viscosidade da fração anterior.

	INTEGRAL (#1 60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	1,02	0,94	0,77	0,79	0,59	0,00(*)
VISCOSIDADE APARENTE A 300 S-1 (M.B) (mPa.s)	302,4	226,0	335,1	212,6	412,5	70,4
VARIAÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS	-	-8	-18	+3	-25	-
VARIAÇÃO (%) DE VISCOSIDADE EM RELAÇÃO A FRAÇÃO ANTERIOR	-	-25	+48	-37	+94	-83

#: *malha*

(*): *valor teórico*

(-): *redução*

(+): *acréscimo*

O exemplo de maior redução de viscosidade (malha 0,59 mm com variação de sólidos insolúveis de +3%) atingiu o valor de 37%. No outro extremo está a peneira 0,149 mm (redução de sólidos de -25%) que originou uma fração com praticamente o dobro (94%) da viscosidade em relação à anterior. As

peneiras 1,18 mm e 0,84 mm reduziram e aumentaram as viscosidades, respectivamente, (-25% e +48%), para duas reduções de sólidos (8% e 18%).

No Quadro 08.C foi feita uma análise da viscosidade (%) de cada fração em relação à viscosidade da fração obtida na malha da despulpadeira.

Quadro 08.C- Variação da viscosidade de cada fração de suco de manga natural em relação à viscosidade da fração integral. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de SIS de cada fração em relação à fração integral. Relação entre viscosidade e teor de SIS de cada fração.

	INTEGRAL (#1,60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	1,02	0,94	0,77	0,79	0,59	0,00(*)
VISCOSIDADE APARENTE A 300 S-1 (M.B) (mPa.s)	302,4	226,0	335,1	212,6	412,5	70,4
REDUÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS	-	8	25	23	42	-
VARIAÇÃO (%) DE VISCOSIDADE EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL	-	-25	+11	-30	+36	-77
RELAÇÃO ENTRE VISCOSIDADE E TEOR DE SIS (mPa.s/100g)	296,5	240,4	435,2	269,1	699,1	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

(-): *redução*

(+): *acrécimo*

Para uma redução de sólidos de 8% a 42% corresponderam variações de viscosidade entre -30% a +36% (212 a 412 mPa.s), sem que a valores decrescentes de sólidos correspondessem valores decrescentes de viscosidade. Em torno do valor da viscosidade da fração integral (302,4 mPa.s) alternaram-se

para mais e para menos os valores de viscosidade dos peneirados. Assim observa-se que a retirada de 8% nos sólidos insolúveis da fração integral pela peneira 1,18 mm corresponde uma redução de 25% mas a viscosidade aumenta em 11%. A peneira subsequente (0,59 mm) manteve os sólidos insolúveis em praticamente os mesmos níveis da anterior, porém, na viscosidade é medida uma redução de 30%. À maior redução de sólidos insolúveis (42%, peneira 0,149 mm) correspondeu a maior viscosidade entre todas as frações, superando a viscosidade da fração integral em 36%. Observa-se entretanto, que quando o teor destes sólidos se aproxima de zero (fração centrifugada) a viscosidade cai quase 67% em relação a menor viscosidade medida nos peneirados (70,4 contra 212,6 mPa.s da peneira 0,59 mm).

Estes dados levam a conclusão de que a retenção dos sólidos insolúveis desde a peneira 1,18 mm até a peneira 0,149 mm não apresentaram qualquer efeito de redução sobre a viscosidade. Por outro lado observa-se o contrário dos cerca de 58% eliminados em centrífuga, com tamanho de partícula passadas em malha de 0,149 mm.

A fim de averiguar a proporção de decréscimo da viscosidade em relação ao decréscimo no teor de sólidos dividiu-se a variação de viscosidade, calculada para cada fração em relação à fração integral, pela redução do teor de sólidos insolúveis, calculada para cada fração, também em relação à fração integral (Quadro 08.C).

Os valores das relações viscosidade / sólidos insolúveis variaram, entre o mínimo de 240,4 mPa.s.100g/g na malha 1,18 mm e o máximo de 699,1 mPa.s.100g/g na malha 0,149 mm correspondendo a 191%, oscilando entre estes

extremos em cada um dos peneiramentos inclusive a fração integral. Pela ordem após a malha 1,18 mm com 240,4 mPa.s.100g/g vem a malha 0,59 mm, com 269,1 mPa.s.100g/g, fração integral com 296,5 mPa.s.100g/g, a malha 0,84 mm com 435,2 mPa.s.100g/g e finalmente a 0,149 mm com 699,1 mPa.s.100g/g. Apesar da variabilidade destes números percebe-se pela Figura 24 que as viscosidades não apresentam tendência a redução com a retenção dos sólidos obtida nos peneiramentos.

Pela Figura 24 é possível observar o comportamento aleatório da viscosidade aparente em toda a faixa de sólidos insolúveis de 1,02 a 0,59 g/100g. Na faixa de sólidos insolúveis entre 0,79 e 1,02 g/100g os valores de viscosidade aparente, para a taxa de deformação de 300 s^{-1} , oscilaram em torno de 250 mPa.s. No teor de sólidos insolúveis igual a 0,59 g/100g, passado na peneira 0,149 mm, o valor da viscosidade aparente à mesma taxa de deformação superaram os 400 mPa.s. Com o teor de sólidos insolúveis levado a zero pela centrifugação, verifica-se então, redução de viscosidade aparente.

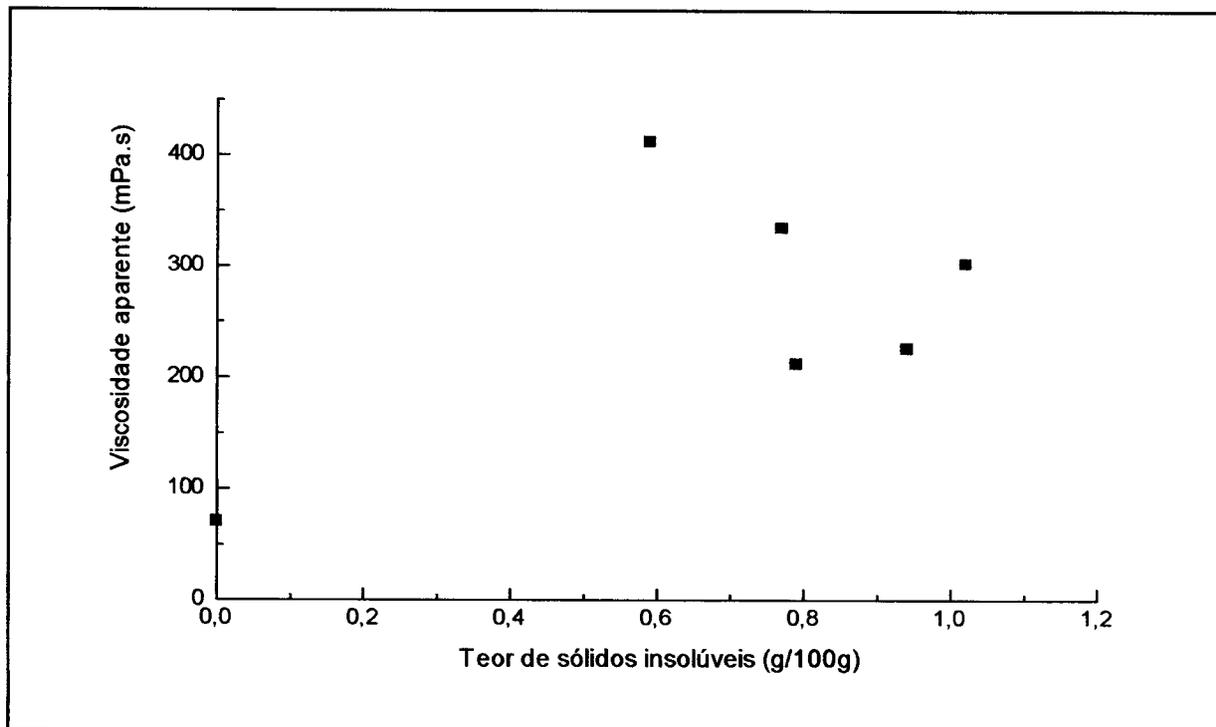


Figura 24 - Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de manga natural para seus respectivos teores de sólidos.

4.2.2.1.4 - Conclusões para suco de manga natural

1 - Os peneiramentos reduziram o teor de sólidos insolúveis suspensos do material integral em todas as aberturas de malha utilizadas.

2 - A peneira de malha 0,59 mm não acrescentou redução no teor de sólidos insolúveis suspensos em relação a peneira de malha 0,84 mm.

3 - A diminuição gradual no teor de sólidos insolúveis suspensos pelos peneiramentos não implicou, como consequência, em redução da viscosidade aparente.

4 - A eliminação total dos sólidos insolúveis suspensos, na centrifugação, resultou em decréscimo da viscosidade aparente. Isto indica que as dimensões dos sólidos insolúveis suspensos que mais afetaram a reologia dos sucos de manga naturais se situam entre zero e 0,149 mm. Este resultado coincide com o resultado relatado por QIU & RAO (1988) que, trabalhando com compota de maçã, verificaram que o aumento na viscosidade estava relacionado com o decréscimo no tamanho das partículas. A discrepância em relação a outros trabalhos (JINESCU, 1974, MISSAIRE, 1991) estaria relacionada ao caráter estruturado da compota.

4.2.2.2 - Suco de manga despectinizado

4.2.2.2.1 - Comportamento reológico

Na Figura 25 tem-se as relações entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para sucos de manga despectinizados ajustadas pelo modelo de Mizrahi-Berk (parâmetros do modelo no Apêndice A, Quadro A.9), onde se observa o efeito da despectinização sobre o comportamento reológico dos sucos de manga.

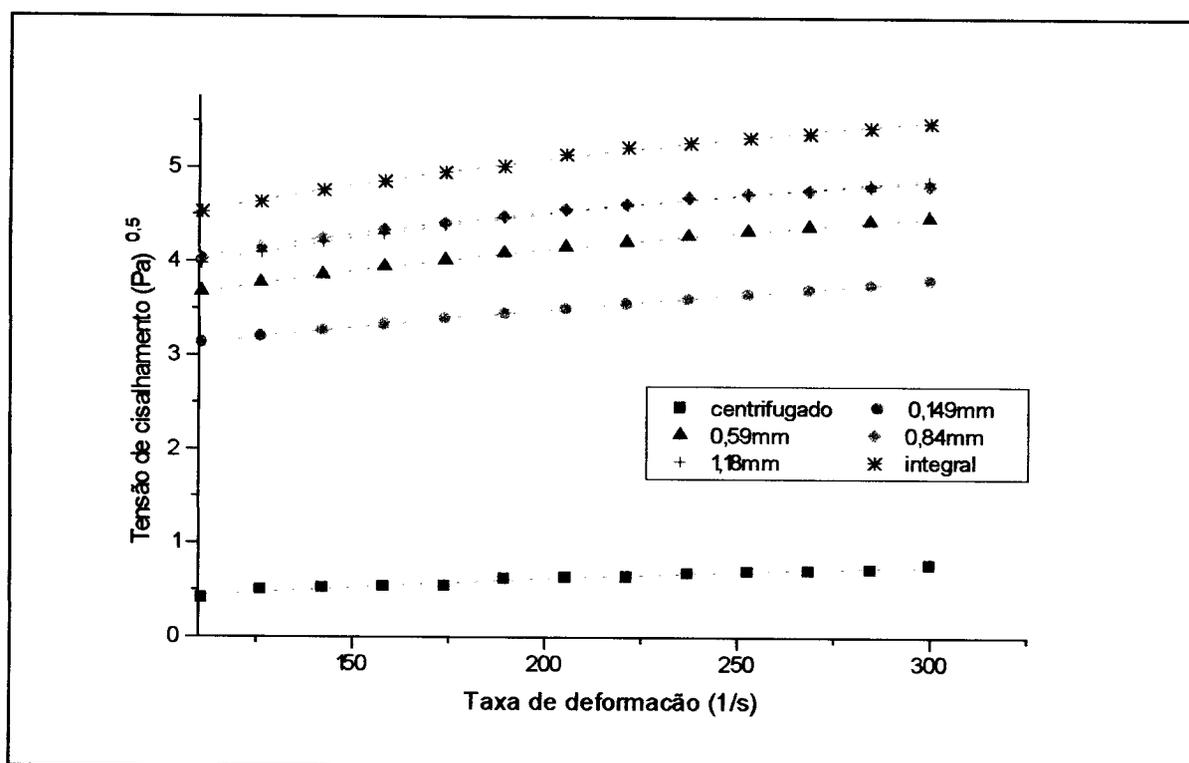


Figura 25 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para sucos de manga despectinizados ajustada pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Todas as frações peneiradas de suco de manga despectinizado apresentaram comportamento pseudoplástico, resultado relatado por diversos autores para sucos contendo particulado insolúvel (RAO et alii, 1974, IBARZ, 1992). A fração centrifugada, apresentou comportamento dilatante, mesmo resultado observado por VARSHNEY & KUMBHAR (1978) em suco de abacaxi filtrado.

A precipitação da pectina fez, como consequência, com que as reduções nos teores de sólidos insolúveis (Quadro 09), provocadas por cada uma das malhas, se refletisse em reduções de viscosidade. Isto pode ser visto pela posição das curvas onde, entre a fração centrifugada, que foi representada pela curva situada na região dos menores valores de tensão de cisalhamento, e a fração integral, representada nos maiores valores de tensão, estão as curvas dos peneirados, com a fração da peneira 0,149 mm na posição mais inferior, seguida pela fração da peneira 0,59. Mais acima estão as curvas das frações das peneiras 0,84 mm e 1,18 mm, que praticamente são coincidentes. À exceção destes dois últimos casos, percebe-se, do conjunto de curvas, a dependência do comportamento reológico com o teor de sólidos insolúveis.

4.2.2.2.2 - Sólidos insolúveis

Foi feita uma análise do teor de sólidos insolúveis (%) contidos em cada fração em relação à fração obtida na malha anterior (Quadro 09). Estudou-se a variação da quantidade destas partículas com a redução de abertura de malha da peneira em relação à peneira anterior.

Quadro 09 - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da peneira anterior. Relações entre o teor de SIS de cada fração de peneirados de suco de manga despectinizado e o teor de SIS da fração anterior.

	INTEGRAL (#1,50mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
REDUÇÃO DA MALHA (mm)	-	0,42	0,34	0,25	0,44	-
REDUÇÃO DA MALHA (%)	-	26	29	30	75	-
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	1,18	1,14	1,06	0,95	0,90	0,00(*)
(%) SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A # ANTERIOR	100	97	93	90	94	-
VARIAÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS	-	-3	-7	-10	-6	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

(-): *redução*

(+): *acrécimo*

No Quadro 09 tem-se os teores de sólidos insolúveis referentes a fração passada em cada uma das peneiras. O efeito dos peneiramentos sobre o teor de sólidos insolúveis é também observado na Figura 26. Para uma variação de abertura de malha entre -26% e -75% correspondeu uma variação de sólidos insolúveis de -3% a -10% e as taxas de redução destes sólidos foram diferentes das taxas de redução das aberturas.

Percentualmente a maior redução de sólidos insolúveis foi obtida com a peneira 0,59 mm (10% para uma redução de malha de 29%). Seguiu-se a peneira 0,84 mm com 7% de redução (redução de malha de 28%). Com resultado próximo a este ficou a fração da peneira 0,149 mm, com 6% de redução de sólidos, quase o dobro da fração da malha seguinte, 1,18 mm, cuja redução de

3% nos sólidos (redução de malha de 26%) foi a menor de todas, perfazendo 1/3 daquela obtida com o peneirado em 0,59 mm.

Numa segunda etapa foi feita uma análise do teor (%) de sólidos insolúveis contidos em cada fração em relação à fração integral, obtida na malha da despulpadeira. Procurou-se relacionar a redução da quantidade destas partículas com a redução de abertura de malha da peneira em relação à malha da despulpadeira. Os dados são apresentados no Quadro 09.A.

Quadro 09.A - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da despulpadeira. Relações entre o teor de SIS de cada fração de peneirados de suco manga despectinizado e o teor de SIS da fração integral. Relação entre as reduções de teor de sólidos e de abertura de malha.

	INTEGRAL (#1,60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
REDUÇÃO DA MALHA (mm)	-	0,42	0,76	1,01	1,45	-
REDUÇÃO DA MALHA (%) (1)	-	26	47	63	91	-
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	1,18	1,14	1,06	0,95	0,90	0,00(*)
(%) SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL	100	92	75	77	58	-
REDUÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS (2)	-	3	10	19	24	-
RELAÇÕES ENTRE AS REDUÇÕES DAS LINHAS (2) E (1)	-	0,13	0,22	0,31	0,26	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

Para uma variação de malha de -26% a -91% obteve-se reduções de sólidos insolúveis entre 3% e 24%. À medida que a abertura de malha foi sendo reduzida foi-se obtendo frações com teores destes sólidos cada vez menores. A redução de sólidos obtida com a peneira 1,18 mm (26% menor em abertura de malha) foi a menor de todos os peneirados, produzindo exatamente 1/3 da redução obtida com a peneira 0,84 mm (segunda menor redução de sólidos, 10% e redução de malha de 47%). A peneira 0,59 mm aumentou a redução para 19% (redução de malha de 63%) o que representa quase o dobro da redução obtida com a peneira anterior. A peneira 0,149 mm, com redução de malha de 91% aumentou a redução de sólidos para 24%.

Para quantificar a proporção de decréscimo do teor de sólidos insolúveis em relação ao decréscimo na abertura de malha dividiu-se a redução (%) de sólidos insolúveis para cada fração, em relação à fração integral, pela redução de malha calculada em relação à malha da despoldadeira (Quadro 09.A).

Apesar de a maior redução de sólidos insolúveis ter ocorrido com a peneira 0,149 mm, fazendo a relação entre os valores de redução percentual de sólidos insolúveis e redução percentual de malha, ambas em relação a fração integral, tem-se a melhor relação com a peneira 0,59 mm (0,31). A seguir vem a peneira 0,149 mm com relação igual a 0,26 e depois a peneira 0,84 mm com 0,22. Em último lugar e com um valor que não ultrapassa 59% do mínimo valor obtido com as demais malhas está a peneira 1,18 mm.

Na Figura 26 observa-se o teor de sólidos insolúveis como função da abertura de malha utilizada nos peneiramentos (ajuste linear: $R=0,973$; ajuste por polinômio de 2º grau: $R=0,975$).

Tem-se um comportamento gradativo da redução de sólidos insolúveis com a redução da malha usada no peneiramento. O comportamento dos pontos experimentais evidencia a redução da quantidade de sólidos em cada etapa, com destaque para a fração obtida com a malha 0,59 mm. Inversamente, identifica-se a menor redução proporcional provocada pela peneira de 1,18 mm..

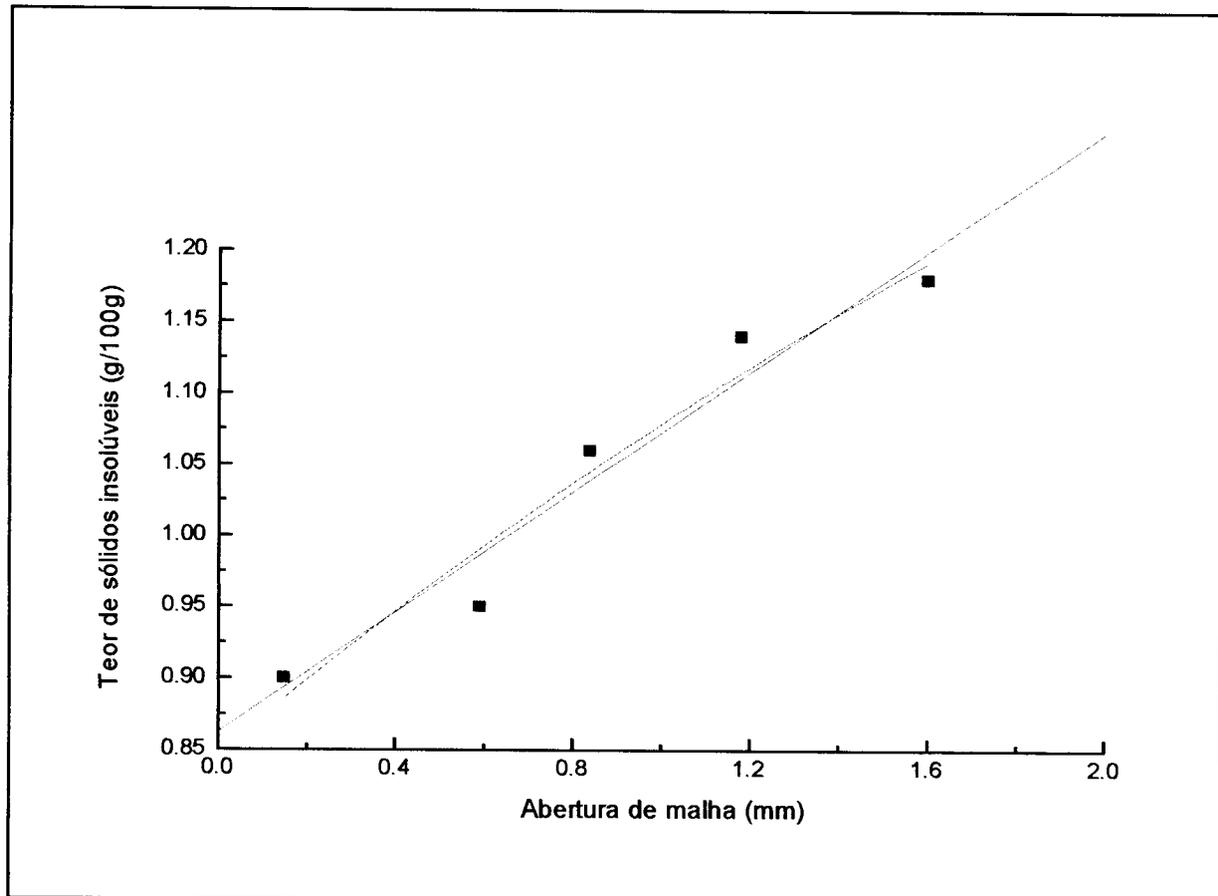


Figura 26 - Teores de sólidos insolúveis das frações de manga despectinizadas em função da malha utilizada no peneiramento (ajuste linear (---), ajuste polinomial 2º grau (---)).

4.2.2.2.3 - Viscosidade

As viscosidades obtidas para as seis frações estão apresentadas no Quadro 09.B. Foi feita uma análise da viscosidade (%) de cada fração em relação à viscosidade da fração obtida na malha anterior. Estudou-se a variação da viscosidade com a variação no teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração anterior.

Quadro 09.B - Variação da viscosidade de cada fração de suco de manga despectinizado em relação à viscosidade da fração anterior. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de SIS de cada fração em relação a fração anterior.

	INTEGRAL (#1,60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	1,18	1,14	1,06	0,95	0,90	0,00(*)
VISCOSIDADE APARENTE A 300 S ⁻¹ (M.S) (mPa.s)	100,9	79,3	78,1	66,5	48,2	1,9
VARIAÇÃO (%) DE VISCOSIDADE EM RELAÇÃO A FRAÇÃO ANTERIOR (1)	-	-21	-1	-15	-27	-96
VARIAÇÃO DE SIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO ANTERIOR (2)	-	-3	-7	-10	-6	-
RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁÇÕES DAS LINHAS (1) E (2)	-	6,3	0,2	1,4	4,5	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

(-): *redução*

As viscosidades diminuíram com a retirada de sólidos insolúveis, mas de forma irregular e a taxas diferentes, como se vê pelos valores do Quadro 09.B e Figura 27, apresentada mais adiante. A maior das reduções de viscosidade ocorreu com uma das reduções intermediárias dos sólidos (6%, malha 0,149 mm). A segunda maior redução de viscosidade ocorreu com a menor das reduções de sólidos (3% com a malha 1,18 mm). A seguir vem o peneirado da malha 0,59 mm que com uma redução nos sólidos 66% superior à fração da peneira 0,149 mm apresentou uma redução de viscosidade quase 50% inferior ao peneirado daquela malha (15% contra 27%). Por fim a fração da peneira 0,84 mm praticamente não reduziu a viscosidade do valor obtido com a malha anterior, embora a redução de sólidos com esta malha tenha atingido um valor de quase duas vezes o obtido com aquela malha (7% contra 3%).

Com o intuito de verificar a proporção de decréscimo da viscosidade em relação ao decréscimo no teor de sólidos dividiu-se a variação de viscosidade, calculada para cada fração em relação à fração anterior, pela variação do teor de sólidos insolúveis, calculada para cada fração também em relação à fração anterior (Quadro 09.B).

Fazendo a relação variação de viscosidade / variação de sólidos insolúveis para cada fração obtém-se o valor mais alto com a malha 1,18 mm (6,3). Após vem o produto da malha 0,149 mm (4,5) e a seguir o processado na malha 0,59 mm (1,4) com um valor menos que 1/3 do seu anterior. A peneira 0,84 mm, com um valor próximo de zero (0,2) para sua fração, praticamente não reduziu a viscosidade em relação aquela da malha anterior.

No Quadro 09.C foi feita uma análise da viscosidade (%) de cada fração em relação à viscosidade da fração obtida na malha da despoldadeira.

Quadro 09.C - Variação da viscosidade de cada fração de suco de manga despectinizado em relação à viscosidade da fração integral. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de SIS de cada fração em relação à fração integral. Relação entre viscosidade e teor de SIS de cada fração.

	INTEGRAL (#1 60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	1,18	1,14	1,06	0,95	0,90	0,00(*)
VISCOSIDADE APARENTE A 300 S-1 (M B) (mPa.s)	100,9	79,3	78,1	66,5	48,2	1,9
VARIAÇÃO (%) DE - VISCOSIDADE EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL (1)	-	-21	-23	-34	-52	-98
REDUÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL (2)	-	3	10	19	24	-
RELAÇÕES ENTRE AS VARIAÇÕES DAS LINHAS (1) E (2)	-	6,3	2,2	1,8	2,2	-
RELAÇÃO ENTRE VISCOSIDADE E TEOR DE SIS (mPa.s 100g/g)	85,5	69,6	73,7	70,0	53,6	-

#: malha

(*): valor teórico

(-): redução

(+): acréscimo

Para a redução de 3% a 24% de sólidos insolúveis correspondeu uma redução de 21% a 52% de viscosidade. A retirada de sólidos nem sempre provocou diminuição de viscosidade, como ocorre com a peneira 0,84 mm cuja

fração apresentou praticamente a mesma viscosidade do peneirado da malha anterior. Às menores reduções de viscosidade (21% e 23%) corresponderam as menores reduções de sólidos insolúveis (peneiras 1,18 mm e 0,84 mm com 3% e 10% respectivamente). Apesar das reduções de sólidos destas duas peneiras terem diferido por um fator de três as reduções de viscosidade praticamente se igualaram. A redução de viscosidade seguinte de 34% foi obtida para uma redução de sólidos de 19% (peneira 0,59 mm). A maior redução de viscosidade (52% da viscosidade da fração integral) foi conseguida com a redução de sólidos de 24% (peneira 0,149 mm). Observa-se que a fração centrifugada teve a viscosidade reduzida em mais de 98% do total.

A fim de averiguar a proporção de decréscimo da viscosidade em relação ao decréscimo no teor de sólidos dividiu-se a variação de viscosidade, calculada para cada fração em relação à fração integral, pela redução do teor de sólidos insolúveis, calculada para cada fração, também em relação à fração integral (Quadro 09.C).

Das relações entre redução de viscosidade e redução de sólidos insolúveis tem-se que a redução de sólidos menos eficiente na redução de viscosidade foi da peneira 0,59 mm (1,8). Após, com relação igual a 2,2, estão as peneiras 0,149 mm e 0,84 mm e, por fim, a peneira 1,18 mm com índice igual a 6,3.

A fração de viscosidade atribuível a cada fração de sólidos insolúveis dada pela relação viscosidade /sólidos insolúveis (Quadro 09.C) revela valores semelhantes para as peneiras 1,18 mm, 0,84 mm e 0,59 mm (69,6 mPa.s.100g/g, 73,7 mPa.s.100g/g e 70,0 mPa.s.100g/g, respectivamente). A diferença percentual entre o maior e o menor destes valores não passa de 4,1%. Esta

diferença, porém, chega aos 32% quando feita com o maior valor (85,5 mPa.s.100g/g para a fração integral) em relação ao menor dos valores, obtido com a peneira 0,149 mm (53,6 mPa.s.100g/g)

Na Figura 27 estão representados os valores de viscosidade aparente à taxa de deformação de 300 s^{-1} em função do teor de sólidos insolúveis. Visualiza-se a pequena redução na viscosidade aparente, em relação ao material anterior, provocada pela eliminação dos sólidos insolúveis com dimensões entre 0,84 mm e 1,18 mm.

As reduções no teor de sólidos insolúveis, provocadas pelos peneiramentos, podem ser identificadas como causadoras de reduções proporcionalmente maiores da viscosidade aparente do material integral do que a eliminação dos sólidos insolúveis pela centrifugação. Isto indica que as partículas com dimensões entre zero e 0,149 mm influenciaram proporcionalmente menos a viscosidade aparente do material integral do que as partículas com dimensões entre 0,149 mm e 1,60 mm.

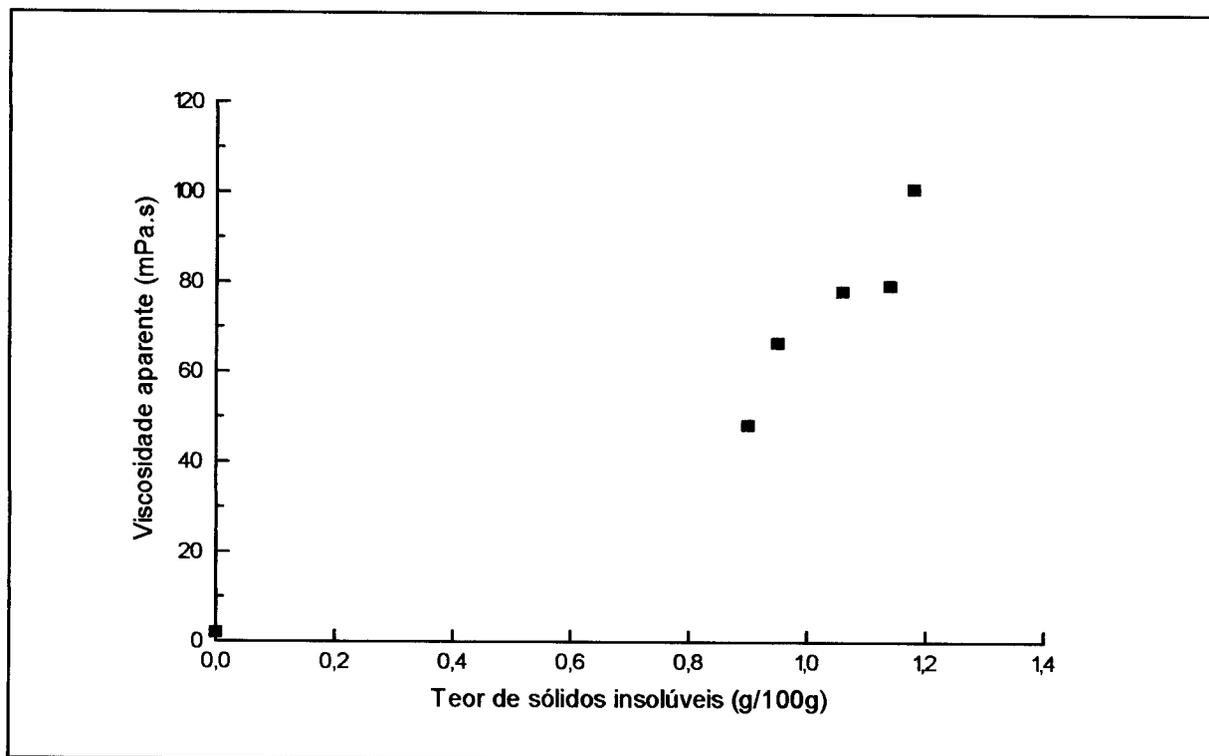


Figura 27 - Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de manga despectinizadas em função de seus respectivos teores de sólidos.

4.2.2.2.4 - Conclusões para suco de manga despectinizado

1 - Todas as peneiras utilizadas provocaram redução no teores de sólidos insolúveis suspensos.

2 - As reduções nos teores de sólidos insolúveis suspensos provocaram reduções de viscosidade aparente em todas as frações.

3 - A redução no teor de sólidos insolúveis suspensos provocada pela malha 0,84 mm praticamente não acrescentou redução ao valor de viscosidade aparente já obtido com a fração da peneira 1,18 mm. Ao contrário, entre a taxa de deformação de 110 s^{-1} a 200 s^{-1} percebe-se (Figura 25) uma ligeira superioridade nos valores de viscosidade aparente da fração passada em 0,84 mm. Tal fato pode ser devido a baixa influência dos sólidos insolúveis suspensos, com dimensões entre 0,84 mm e 1,18 mm, sobre a reologia do suco de manga despectinizado.

4 - A eliminação total dos sólidos insolúveis suspensos levou os valores de viscosidade aparente a menos de 1/50 do valor calculado para a fração integral.

4.2.2.3 - Suco de manga clarificado

4.2.2.3.1 - Comportamento reológico

Na Figura 28 tem-se as relações entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para sucos de manga clarificados ajustadas pelo modelo de Mizrahi-Berk (parâmetros do modelo no Apêndice A, Quadro A.10).

Todas as frações apresentaram comportamento pseudoplástico. O comportamento pseudoplástico observado nos peneirados já era esperado, devido aos resultados relatados por outros autores, citados em itens anteriores, a respeito de sucos contendo sólidos insolúveis (HARPER, 1960, RAO et alii, 1974, NAGY et alii, 1993 e outros). O caráter pseudoplástico detectado na fração centrifugada, contrariando o resultado obtido em outros trabalhos para sucos sem sólidos insolúveis e sem pectinas (GARCIA, 1974, TRIFIRÒ et alii, 1987, IBARZ, 1992) pode ter como causa a contaminação, por traços de sólidos insolúveis no momento da separação, do sobrenadante e do sedimento centrifugado.

Observa-se na Figura 28 que é perfeitamente definida a influência que a redução gradual no teor de sólidos, através dos peneiramentos, exerceu sobre as curvas representando cada uma das frações. Verifica-se em todos os casos a correspondência entre frações produzidas em malhas de maior abertura e maiores valores de tensão de cisalhamento para uma mesma taxa de deformação.

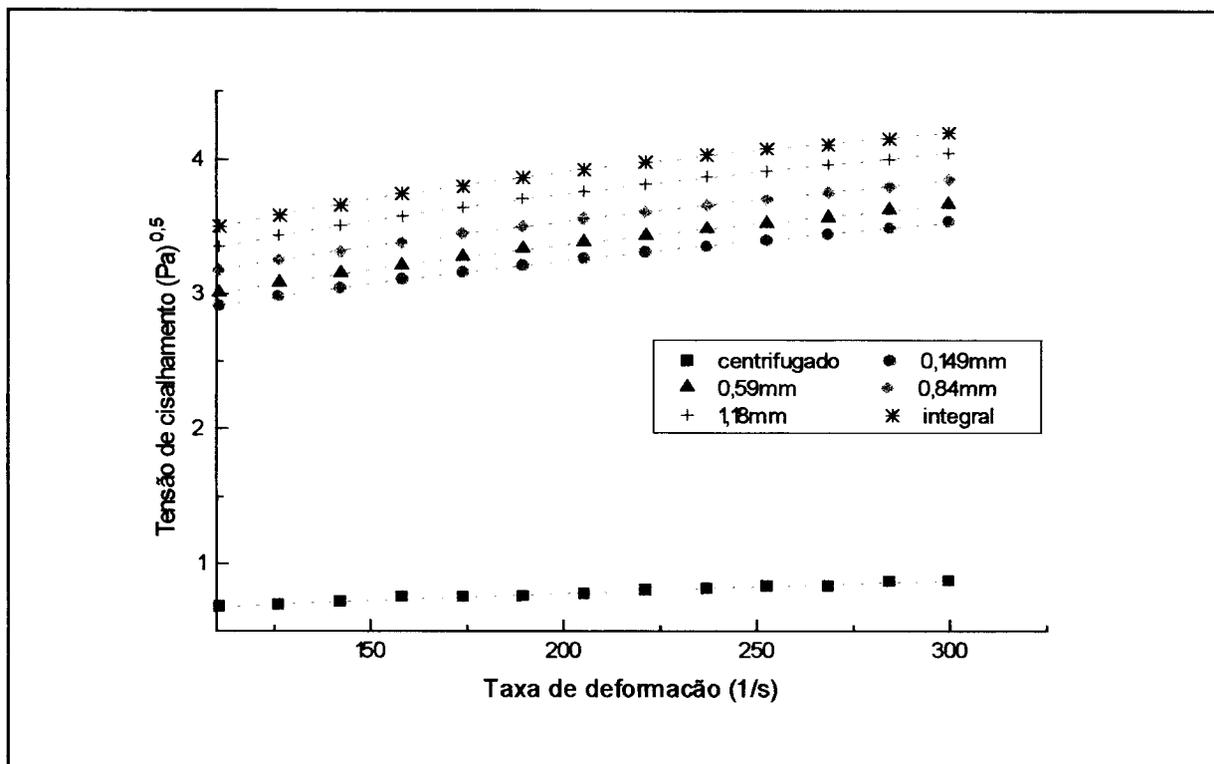


Figura 28 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para sucos de manga clarificados ajustada pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Também entre as curvas, referentes desde a menor malha dentre os peneirados até a fração integral, verificam-se inclinações semelhantes e o incremento ponto a ponto, para cada taxa de deformação, entre estas curvas, demonstra igualmente valores próximos.

Numa posição bem abaixo das curvas das frações integral e peneiradas está a curva referente à fração centrifugada. A eliminação completa dos sólidos insolúveis na centrifugação reduziu acentuadamente os valores de viscosidade aparente, inclusive em relação à menor das peneiras.

Pelo conjunto das curvas, com destaque para a curva referente à fração centrifugada, constata-se que, na ausência total de pectinas, os sólidos insolúveis

presentes nas frações de suco de manga são o fator predominante nas características reológicas deste material.

4.2.2.3.2 - Sólidos insolúveis

Foi feita uma análise do teor de sólidos insolúveis (%) contidos em cada fração em relação à fração obtida na malha anterior (Quadro 10). Estudou-se a variação da quantidade destas partículas com a redução de abertura de malha da peneira em relação à peneira anterior.

Quadro 10 - Relações entre a malha de cada peneira e a malha anterior. Relações entre o teor de SIS de cada fração de peneirados de suco de manga clarificado e o teor de SIS da fração anterior.

	INTEGRAL (#1,60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
REDUÇÃO DA MALHA (mm)	-	0,42	0,34	0,25	0,44	-
REDUÇÃO DA MALHA (%)	-	26	29	30	75	-
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	1,03	0,89	0,74	0,72	0,63	0,00(*)
(%) SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A # ANTERIOR	100	86	83	97	88	-
VARIAÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS		-14	-17	-3	-12	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

(-): *redução*

À variação das aberturas de malha entre -26% e -75% corresponderam reduções destes sólidos entre 3% e 17%. As reduções dos sólidos não acompanharam as reduções de malha nas mesmas taxas.

A maior retenção percentual de sólidos foi conseguida com a malha 0,84 mm (17%). A seguir vem, com reduções semelhantes, as peneiras 1,18 mm (14% de redução) e 0,149 mm (12% de redução). Por último e com um valor em torno de 1/6 do obtido para a maior das reduções e de 1/5 do obtido com as demais, vem a peneira 0,59 mm (3% de redução). As reduções do teor de sólidos insolúveis com as malhas também são observadas na Figura 29, apresentada mais adiante.

Numa segunda etapa foi feita uma análise do teor (%) de sólidos insolúveis contidos em cada fração em relação à fração integral, obtida na malha da despoldadeira. Procurou-se relacionar a redução da quantidade destas partículas com a redução de abertura de malha da peneira em relação à malha da despoldadeira. Os dados são apresentados no Quadro 10.A.

Quadro 10. A - Relações entre a malha de cada peneira e a malha da despoldadeira. Relações entre o teor de SIS de cada fração de peneirados de suco manga clarificado e o teor de SIS da fração integral. Relação entre as reduções de teor de sólidos e de abertura de malha.

	PENEIRADOS					CENTRIFUGADO
	INTEGRAL (#1,50mm)	(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
REDUÇÃO DA MALHA (mm)	-	0,42	0,76	1,01	1,45	-
REDUÇÃO DA MALHA (%) (1)	-	26	47	63	91	-
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	1,03	0,89	0,74	0,72	0,63	0,00(*)
(%) SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL	100	92	75	77	58	-
REDUÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS (2)	-	14	28	30	39	-
RELAÇÕES ENTRE AS REDUÇÕES DAS LINHAS (2) E (1)	-	0,52	0,60	0,48	0,43	-

#: *malha*

(*): *valor teórico*

Para uma redução de malha de 26% a 91% correspondeu uma redução de sólidos insolúveis de 14% a 39%. A medida que se reduziu as malhas aumentou a retenção destes sólidos, embora as retenções das peneiras 0,84 e 0,59 tenham atingido níveis semelhantes (28% e 30% respectivamente). Abaixo e acima destes valores, respectivamente, ficaram as peneiras 1,18 mm (14% de redução) e 0,149 mm (39% de redução). Entre a maior e a menor peneira a diferença na abertura de malha é de 87% e resultou numa diferença de redução de 25%.

Para quantificar a proporção de decréscimo do teor de sólidos insolúveis em relação ao decréscimo na abertura de malha dividiu-se a redução (%) de

sólidos insolúveis para cada fração, em relação à fração integral, pela redução de malha calculada em relação à malha da despulpadeira (Quadro 10.A).

Das relações entre redução percentual de sólidos insolúveis e redução percentual de malha observa-se que a redução de malha que se mostrou mais significativa na redução de sólidos foi obtida com a peneira 0,84 mm (0,60). Em seguida veio a peneira 1,18 mm com o valor 0,52 e a peneira 0,59 mm com o valor 0,48. Por último, apesar de ter produzido a maior retenção de sólidos, ficou a peneira 0,149 mm, com o valor 0,43 (28% inferior ao da peneira 0,84 mm).

Na Figura 29 observa-se o teor de sólidos insolúveis como função da abertura de malha utilizada nos peneiramentos (ajuste linear: $R=0,978$; ajuste por polinômio de 2º grau: $R=0,993$).

O comportamento dos pontos experimentais evidencia a redução da quantidade de sólidos em cada etapa. No caso da fração obtida com a malha 0,84 mm o ponto experimental que representa esta fração encontra-se deslocado em relação aos demais, indicando uma maior quantidade de partículas com dimensão entre 0,84 e 1,18 mm.

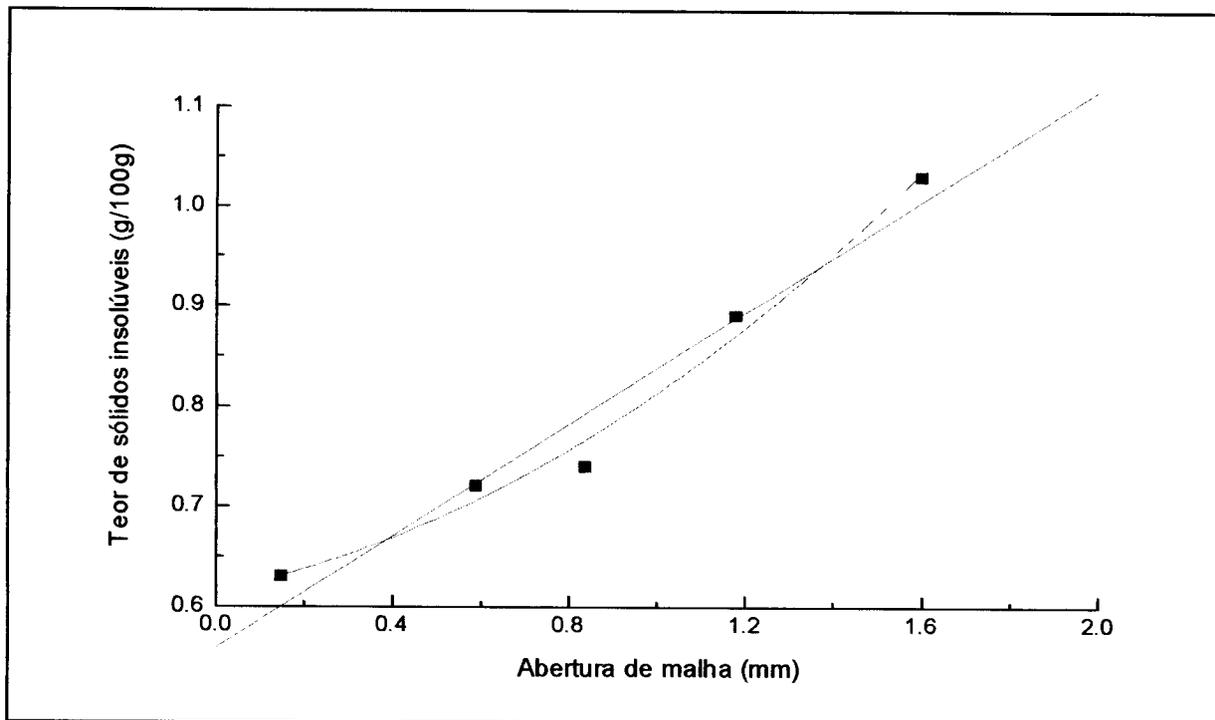


Figura 29 - Teores de sólidos insolúveis das frações de manga clarificadas em função da malha utilizada no peneiramento (ajuste linear (---), ajuste polinomial 2º grau (---)).

4.2.2.3.3 - Viscosidade

As viscosidades obtidas para as seis frações estão apresentadas no Quadro 10.B. Foi feita uma análise da viscosidade (%) de cada fração em relação à viscosidade da fração obtida na malha anterior. Estudou-se a variação da viscosidade com a variação no teor de sólidos insolúveis de cada fração em relação à fração anterior.

Quadro 10.B - Variação da viscosidade de cada fração de suco de manga clarificado em relação à viscosidade da fração anterior. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de SIS de cada fração em relação à fração anterior.

	INTEGRAL (#1,60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	1,03	0,89	0,74	0,72	0,63	0,00(*)
VISCOSIDADE APARENTE A 300 S-1 (M.B) (mPa.s)	58,7	54,7	49,2	44,6	41,9	2,6
VARIAÇÃO (%) DE VISCOSIDADE EM RELAÇÃO A FRAÇÃO ANTERIOR (1)	-	-7	-10	-9	-6	-94
VARIAÇÃO DE SIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO ANTERIOR (2)	-	-14	-17	-3	-12	-
RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁÇÕES DAS LINHAS (1) E (2)	-	0,50	0,59	3,44	0,48	-

#: malha

(*): valor teórico

(-): redução

As viscosidades diminuíram em todas as reduções de sólidos insolúveis, mas a taxas diferentes das taxas de redução destes, como se vê no Quadro 10.B. Estas influências relativas podem ser observadas na Figura 30, apresentada mais adiante. As reduções de viscosidade apresentaram pares de valores aproximados: as reduções referentes as frações das peneiras 1,18 mm e 0,149 mm e as reduções referentes as frações das peneiras 0,84 mm e 0,59 mm. Os dois primeiros se situaram na faixa de 6% a 7% de redução de viscosidade para reduções de sólidos também semelhantes entre si (12% a 13%). Os outros dois estão na faixa

de 9% a 10%, mas as reduções de sólidos insolúveis correspondentes foram as de valor mínimo e máximo respectivamente 3% e 17%).

Com o intuito de verificar a proporção de decréscimo da viscosidade em relação ao decréscimo no teor de sólidos dividiu-se a variação de viscosidade, calculada para cada fração em relação à fração anterior, pela variação do teor de sólidos insolúveis, calculada para cada fração também em relação à fração anterior (Quadro 10.B).

Fazendo a relação variação de viscosidade / variação de sólidos insolúveis respectivos para cada fração (Quadro 10.B) observa-se que as relações dos peneirados das malhas 1,18 mm e 0,149 mm tem valores próximos (0,50 e 0,48). Com a fração da peneira 0,84 mm tem-se o valor de 0,59. Numa ordem de grandeza diferente das demais está a relação obtida com a peneira 0,59 mm (3,44).

No Quadro 10.C foi feita uma análise da viscosidade (%) de cada fração em relação à viscosidade da fração obtida na malha da despoldadeira.

Quadro 10.C - Variação da viscosidade de cada fração de suco de manga clarificado em relação à viscosidade da fração integral. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de SIS de cada fração em relação à fração integral. Relação entre viscosidade e teor de SIS de cada fração.

	INTEGRAL (#1,60mm)	PENEIRADOS				CENTRIFUGADO
		(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)	(#0,149mm)	
SÓLIDOS INSOLÚVEIS (g/100g)	1,03	0,89	0,74	0,72	0,63	0,00(*)
VISCOSIDADE APARENTE A 300 S ⁻¹ (M B) (mPa s)	58,7	54,7	49,2	44,6	41,9	2,6
VARIAÇÃO (%) DE VISCOSIDADE EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL (1)	-	-7	-16	-24	-29	-96
REDUÇÃO (%) DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM RELAÇÃO A FRAÇÃO INTEGRAL (2)	-	14	28	30	39	-
RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁÇÕES DAS LINHAS (1) E (2)	-	0,5	0,6	0,8	0,7	-
RELAÇÃO ENTRE VISCOSIDADE E TEOR DE SIS (mPa s 100g/g)	57,0	61,5	66,5	61,9	66,5	-

#: malha

(*): valor teórico

(-): redução

Para uma redução de sólidos insolúveis de 14% a 39% correspondeu uma redução de viscosidade de 7% a 29%. À redução gradativa no teor destes sólidos com os peneiramentos correspondeu igualmente uma redução gradativa de viscosidade. Entre a redução de viscosidade do peneirado da malha 1,18 mm (7% para uma redução de sólidos de 14%) e a redução na fração da peneira 0,84 mm (16% para uma redução de sólidos insolúveis de 28%) houve uma diferença de 9%. Entre a redução da peneira 0,84 mm e da peneira 0,59 mm (redução de

viscosidade de 24% com redução de sólidos de 30%) a diferença foi de 8%. Entre a peneira 0,59 mm e a peneira 0,149 mm (redução de viscosidade de 29% para redução de sólidos de 39%) a diferença de redução foi de 5%. Observando estes valores, nota-se que a diferença entre reduções de viscosidade, assim como ocorreu com os sólidos insolúveis, caiu com a diminuição das malhas, mas em proporção diferente destes.

A fim de averiguar a proporção de decréscimo da viscosidade em relação ao decréscimo no teor de sólidos dividiu-se a variação de viscosidade, calculada para cada fração em relação à fração integral, pela redução do teor de sólidos insolúveis, calculada para cada fração, também em relação à fração integral (Quadro 10.C).

Das relações entre redução de viscosidade e redução de sólidos insolúveis tem-se o melhor aproveitamento com a peneira 0,59 mm com um valor de 0,80. Com resultado apenas 7% inferior vem a peneira 0,149 mm (0,74). Após vem o material da peneira 0,84 mm seguido, em último lugar, pela fração da peneira 1,18 mm (0,50).

A influência dos teores de sólidos insolúveis presentes em cada fração sobre a viscosidade de cada um destes, dada pelas relações viscosidade e sólidos insolúveis revela menor influência dos sólidos da fração integral (57,0 mPa.s.100g/g) em relação aos demais. Em seguida e com valores idênticos vem as peneiras 1,18 mm e 0,59 mm (61,5 mPa.s.100g/g e 61,9 mPa.s.100g/g respectivamente). Por fim vem as peneiras 0,84 mm e 0,149 mm com valores iguais (66,5 mPa.s.100g/g).

Na Figura 30 observa-se o comportamento global das viscosidades aparentes com o teor de sólidos insolúveis, com destaque para a influência dos sólidos com dimensões abaixo de 0,149 mm sobre as viscosidades aparentes.

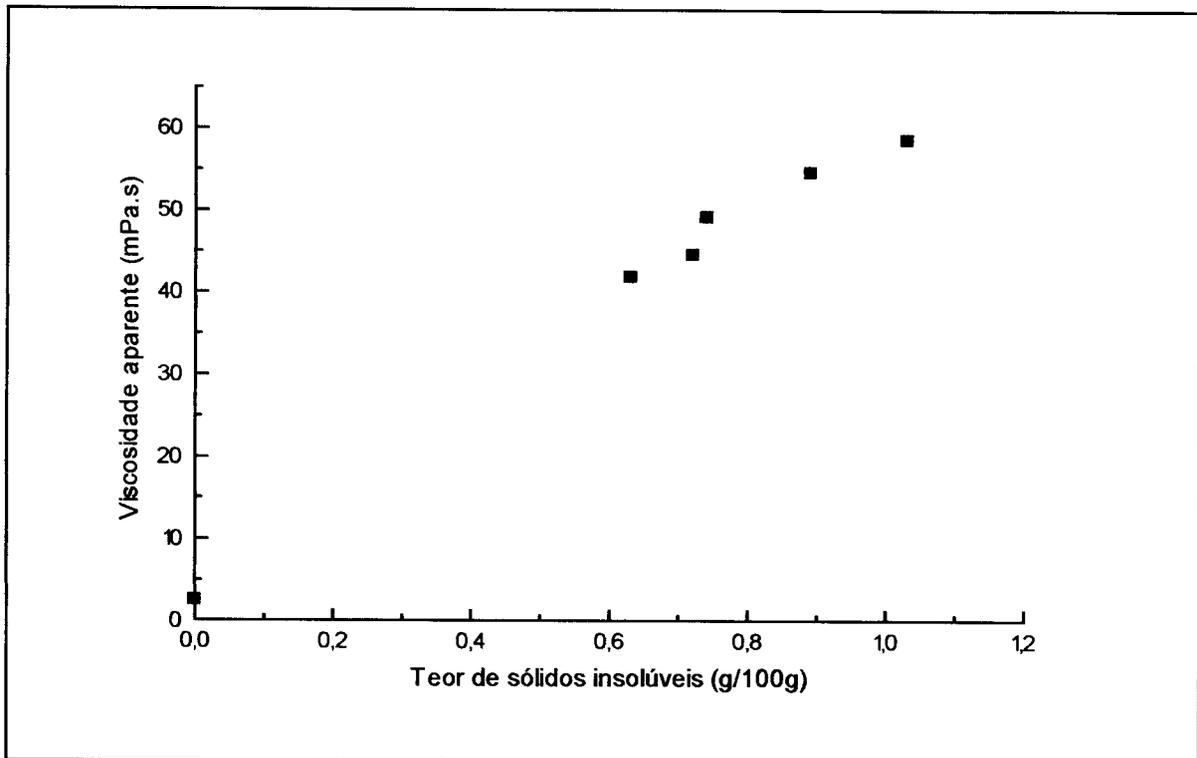


Figura 30 - Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de suco de manga clarificadas para seus respectivos teores de sólidos.

4.2.2.3.4 - Conclusões para suco de manga clarificado

1 - Todas as peneiras reduziram o teor de sólidos insolúveis suspensos e a relação entre o teor destes sólidos insolúveis e a abertura de malha foi praticamente linear.

2 - As reduções no teor de sólidos insolúveis suspensos provocaram reduções consequentes nas viscosidades aparentes, sendo que a redução destes sólidos com mais consequência proporcional sobre as viscosidades aparentes ocorreu com a fração da peneira 0,59 mm.

3 - A eliminação total dos sólidos insolúveis suspensos fez com que a viscosidade aparente a 300 s^{-1} diminuisse para menos de 1/22 da viscosidade aparente da fração integral, para a mesma taxa de deformação.

4.2.2.4 - Comparação entre os resultados dos sucos de manga natural, despectinizado e clarificado

4.2.2.4.1 - Comportamento reológico

Na Figura 31 tem-se a representação das curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação. Observa-se a influência dos sólidos insolúveis em sucos de manga com e sem interação com a pectina. Em posições superiores encontram-se as curvas referentes as amostras de material natural com presença de sólidos insolúveis, diferenciando-se das demais tanto por estar situadas em região de maiores tensões como pela maior inclinação.

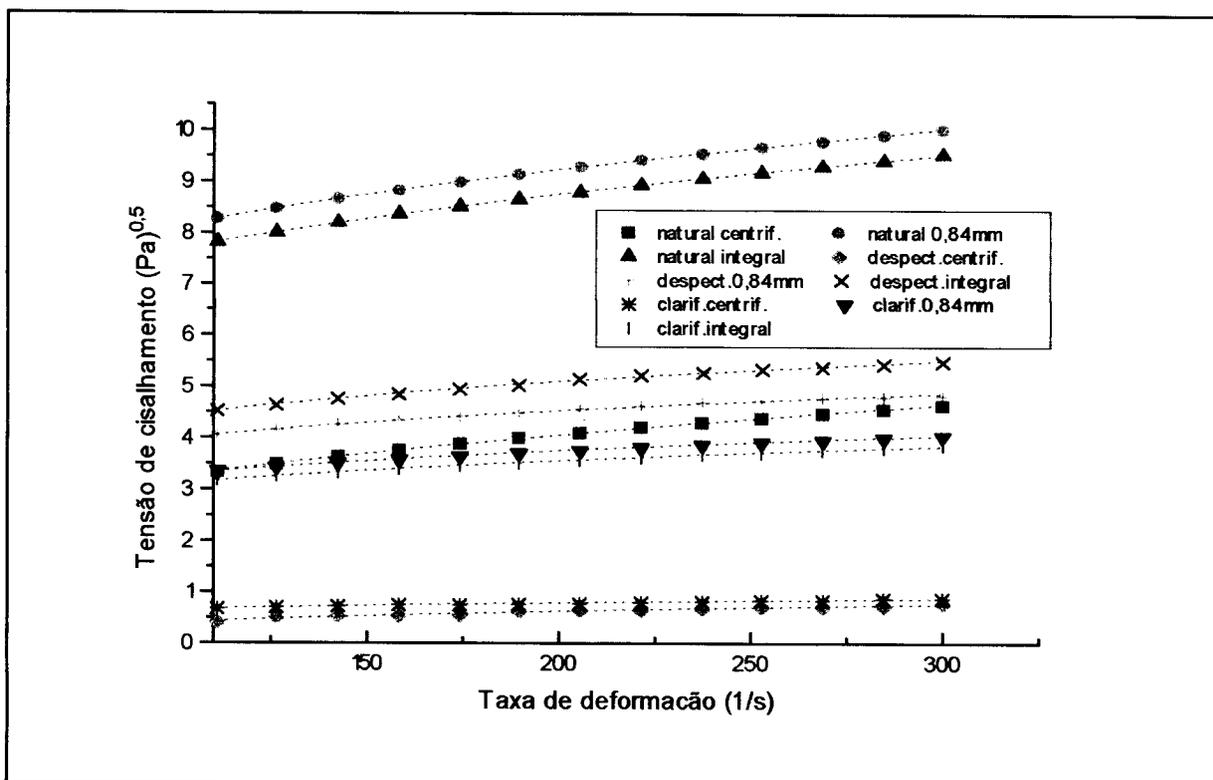


Figura 31 -Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para as frações integral, passada em peneira 0,84 mm e centrifugada de manga natural despectinizada e clarificada com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Com a retirada total destes sólidos, representada pela curva da fração natural centrifugada, teve-se a diminuição destacada nos valores de tensão de cisalhamento e na inclinação da curva, sendo a mesma superada por aquelas referentes ao material despectinizado na presença de todos ou parte dos sólidos insolúveis (frações despectinizadas integral e passada em malha 0,84 mm), no entanto sua posição é superior a todas as curvas do material clarificado. Nas curvas representando o material despectinizado integral e passado em peneira tem-se maiores valores de tensão em relação ao material clarificado, entretanto, a curva da fração despectinizada centrifugada coincide com a curva da fração clarificada centrifugada o que leva a crer que a pectina precipitada, sem interação com os sólidos insolúveis, não tem influência sobre as propriedades reológicas dos sucos de manga.

4.2.2.4.2 - Avaliação do uso das peneiras na redução do teor de sólidos insolúveis dos materiais

Comparando os dados dos Quadros 08.A, 09.A e 10.A verifica-se que as reduções de sólidos insolúveis nos materiais natural e clarificado ocorreram em níveis aproximados, com variações que, entre o material integral e o peneirado na malha 0,149 mm se compensaram, fazendo o teor de sólidos dos dois produtos variarem na faixa de 1,0 g/100g do material integral até 0,6 g/100g no material da menor peneira. Em cada um dos dois materiais observam-se teores semelhantes de sólidos insolúveis nas peneiras 0,84 mm e 0,59 mm (0,77 g/100g contra 0,79 g/100g no material natural e 0,74 g/100g contra 0,72 g/100g no material clarificado). No produto despectinizado foi medido um teor de sólidos superior ao material natural e ao clarificado, desde o material integral até o passado na

menor das peneiras sendo que todas estas peneiras reduziram os sólidos daquele produto em proporções menores do que nos outros dois, chegando, na menor das peneiras, à retenção de sólidos de 24% contra 42% no natural e 39% no clarificado, conforme se vê globalmente na Figura 32.

Das relações entre redução percentual de sólidos e redução percentual de malha vê-se que as maiores eficiências de retenção foram conseguidas no material clarificado, com valores entre 0,4 e 0,6. Em seguida veio o material natural com valores entre 0,3 e 0,5 e, por último, o despectinizado com índices entre 0,1 e 0,3.

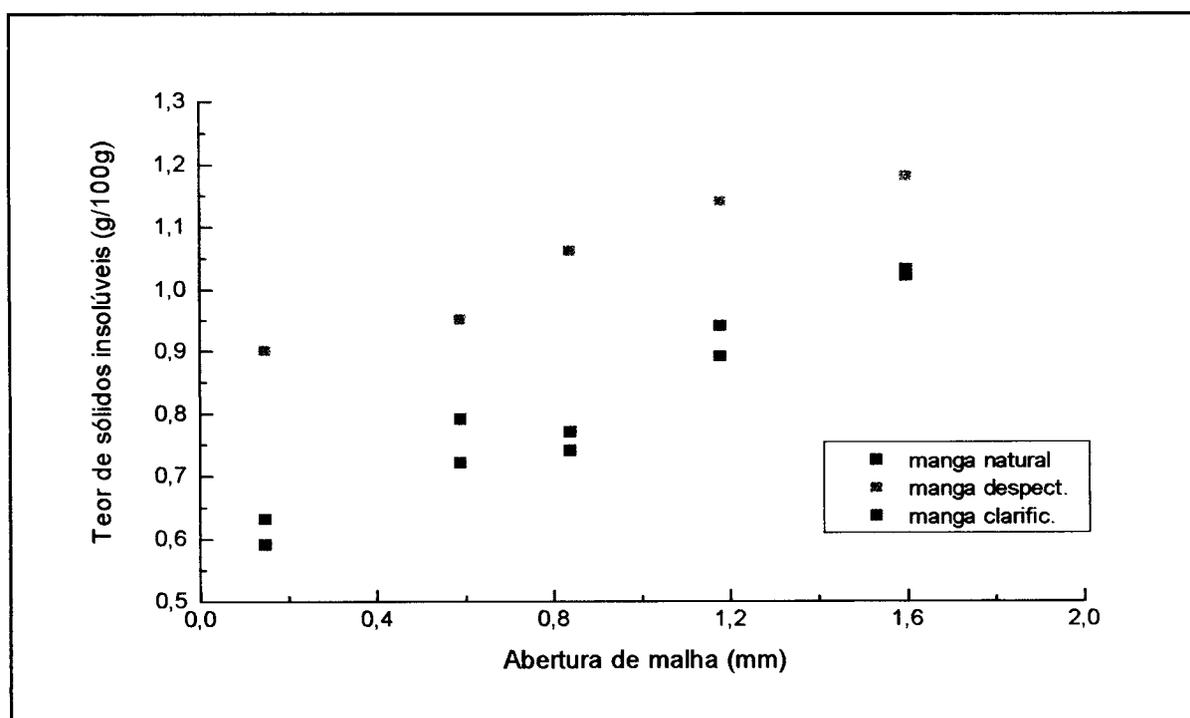


Figura 32 - Teor de sólidos insolúveis das frações de manga natural, despectinizada e clarificada em função da malha utilizada no peneiramento.

4.2.2.4.3 - Influência dos sólidos insolúveis na viscosidade dos sucos de manga natural, despectinizado e clarificado

Observa-se a partir da Figura 31, apresentada previamente, representando frações dos três materiais, sucos de manga natural, despectinizado e clarificado, que a influência dos sólidos insolúveis sobre a viscosidade é amplamente afetada pela presença da pectina, tanto na sua forma solubilizada (material natural) quanto na forma precipitada (material despectinizado).

Na forma solubilizada a pectina interagiu mais intensamente com os sólidos insolúveis criando um efeito que multiplicou e tornou aleatória a influência tanto da própria pectina quanto dos referidos sólidos sobre a reologia do suco de manga natural.

No caso da fração natural a influência dos sólidos insolúveis, passados em malha com dimensões iguais a 0,149 mm e numa faixa de 0,59 g/100g, sobre a viscosidade, se mostrou superior à do próprio material integral.

A precipitação da pectina provocou no material despectinizado uma queda imediata na viscosidade da fração integral e na viscosidade aparente de todos os peneirados, em relação ao material natural. A única fração do material natural cuja viscosidade aparente foi superada pela viscosidade aparente da fração integral despectinizada foi a fração centrifugada. Também as viscosidades das frações das peneiras 1,18 mm e 0,84 mm do despectinizado superaram a viscosidade da fração centrifugada natural, mas as viscosidades das frações das peneiras 0,59 mm e 0,149 mm despectinizadas apresentaram valores menores.

No material clarificado, onde a pectina precipitada foi descartada, a viscosidade de todos os peneirados e do material integral foi inferior a viscosidade do centrifugado do material natural. Tanto no despectinizado quanto no clarificado a influência dos sólidos insolúveis sobre a viscosidade perdeu o caráter aleatório presente no material natural, com as reduções destes sólidos refletindo-se em reduções de viscosidade.

Comparando as frações de material clarificado com as frações de material despectinizado observa-se que o clarificado apresenta viscosidades aparentes inferiores ao despectinizado em todas as frações (Figura 33), denotando a influência da pectina, mesmo precipitada, sobre a viscosidade aparente. Observando o clarificado integral vê-se na Figura 33 e Quadros 09.C e 10.C que esta amostra tem a viscosidade superior, em relação ao despectinizado, apenas no material da peneira 0,149 mm e centrifugado.

Na comparação dos centrifugados despectinizado e clarificado nota-se que o primeiro não apresentou viscosidade maior que o segundo, ou seja, a pectina precipitada do despectinizado, quando na presença dos sólidos insolúveis, incrementou a influência destes sólidos sobre a viscosidade, porém, quando isolada destes mesmos sólidos não exerceu qualquer efeito sobre a viscosidade. No caso da pectina solubilizada, presente no centrifugado natural, a sua influência foi responsável por uma viscosidade mais de vinte e cinco vezes superior aos demais centrifugados, independente dos sólidos insolúveis.

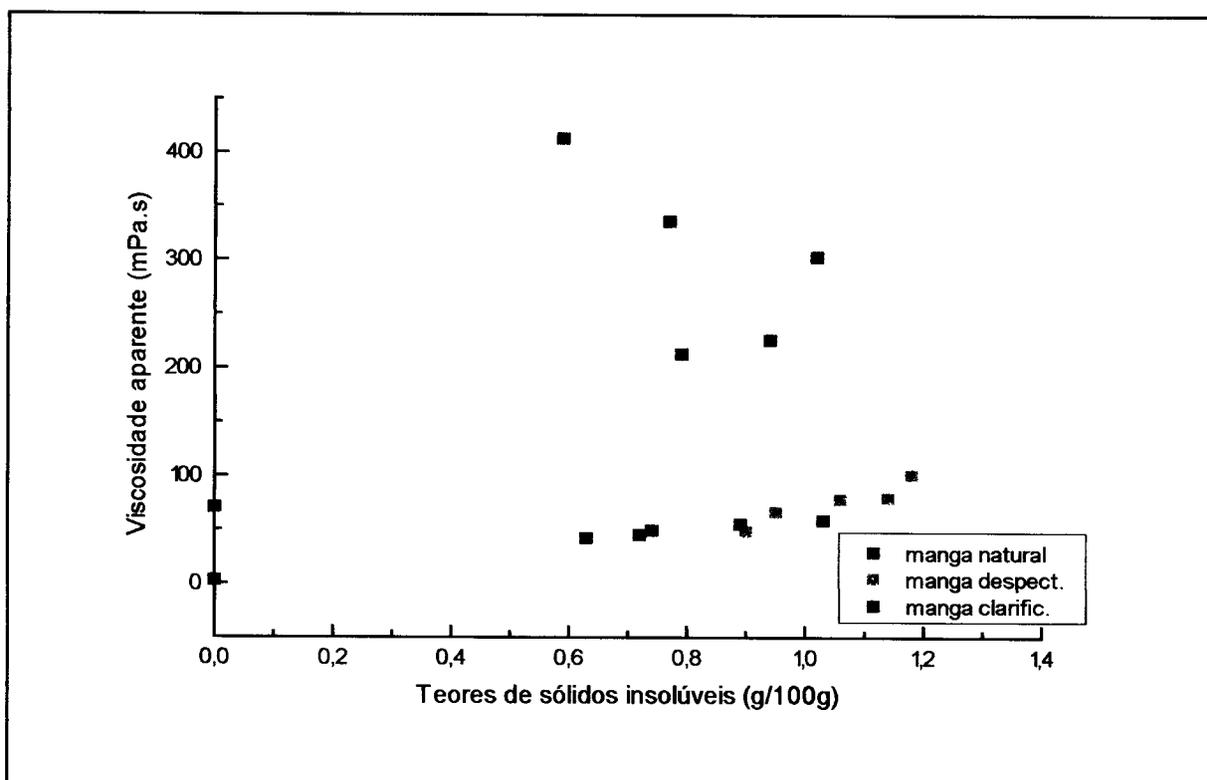


Figura 33 - Viscosidade aparente a 300 s^{-1} das frações de sucos de manga natural, despectinizado e clarificado para seus respectivos teores de sólidos.

Apesar do precipitado da pectina estar presente no material despectinizado este material, assim como o clarificado, teve sua viscosidade associada ao teor de sólidos insolúveis com uma regularidade, não observada no material natural, que pode ser vista na relação entre viscosidade e sólidos insolúveis, com três valores em torno de $70\text{ mPa.s.}100\text{g/g}$, um deles mais acima e outro mais abaixo deste valor. Também nas relações entre redução percentual de viscosidade e redução percentual de sólidos insolúveis observa-se regularidade, com três dos quatro valores situando-se em torno de 2,0. No clarificado a relação viscosidade/sólidos insolúveis apresentou ainda maior regularidade, com um valor médio de $62,7\text{ mPa.s.}100\text{g/g}$ e desvio padrão de $3,6\text{ mPa.s.}100\text{g/g}$, inferior, portanto, a 4 % da média. As relações entre redução percentual de viscosidade e

redução percentual de sólidos insolúveis também apresentaram regularidade, com os valores em torno da média de 0,7 e desvio padrão de 0,12.

4.2.2.4.4 - Conclusões para os sucos de manga natural, despectinizado e clarificado

1 - Os peneiramentos reduziram os teores de sólidos insolúveis suspensos nos três materiais. A faixa de teores destes sólidos insolúveis, presentes nas frações foram:

- Malha 0,149 mm, 0,59 a 0,90 g/100g;
- Malha 0,59 mm, 0,72 a 0,95 g/100g;
- Malha 0,84 mm, 0,74 a 1,06 g/100g;
- Malha 1,18 mm, 0,89 a 1,14 g/100g.

2 - As reduções nos teores de sólidos insolúveis suspensos provocaram reduções de viscosidade aparente nos sucos despectinizado e clarificado. No suco natural apenas a eliminação total dos sólidos insolúveis provocou redução indubitável nos valores de viscosidade aparente.

3 - As viscosidades aparentes do suco natural contendo sólidos insolúveis superaram amplamente as viscosidades aparentes dos sucos despectinizado e clarificado.

4 - Para taxas de deformação entre 175 s^{-1} e 300 s^{-1} as viscosidades aparentes da fração centrifugada do suco de manga natural superou as viscosidades aparentes de todas as frações do suco de manga clarificado, ou seja, nessa faixa de taxa de deformação a influência da pectina sobre a viscosidades aparentes superou a influência dos sólidos insolúveis.

5 - As viscosidades aparentes das frações despectinizadas, passadas em malha igual ou superior a 0,59 mm, superaram as viscosidades de todas as frações clarificadas, inclusive a fração integral, para a taxa de deformação de 300 s^{-1} .

6 - Com a eliminação total dos sólidos insolúveis as frações despectinizada e clarificada apresentaram praticamente o mesmo comportamento reológico.

4.2.3 - Comparação entre os resultados dos sucos de abacaxi e manga

4.2.3.1 - Comportamento reológico

Na Figura 34 são comparadas frações de suco de abacaxi natural com frações de suco de manga clarificado. Para a comparação entre estes dois materiais a escolha foi feita considerando a hipótese que o suco de abacaxi natural não contenha um teor de pectina que afete suas propriedades reológicas.

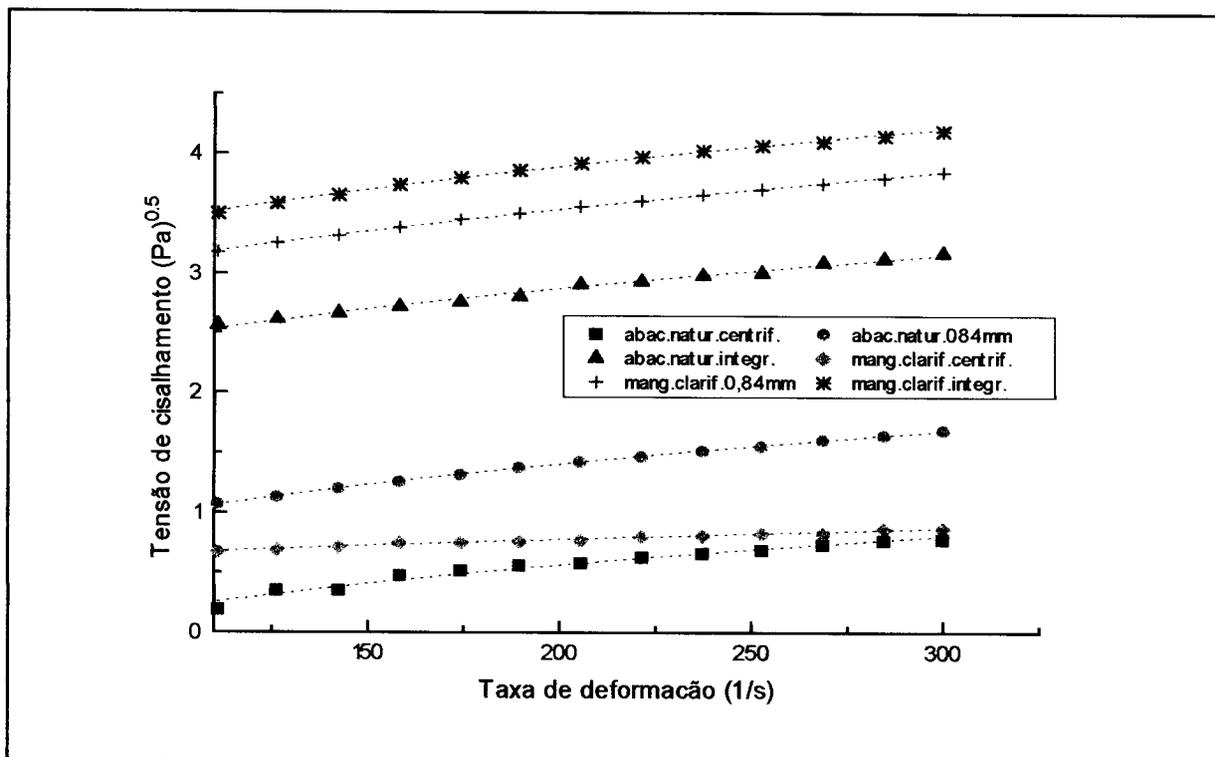


Figura 34 -Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para as frações integral, passada em peneira 0,84 mm e centrifugada de abacaxi natural e de manga clarificada com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk.

As curvas referentes às frações de manga contendo sólidos insolúveis ocupam as posições superiores do eixo das tensões. Em posição intermediária está a curva representando a fração de abacaxi integral. Mais abaixo vem a curva da fração de abacaxi passado em malha 0,84 mm, seguida pelas frações centrifugadas. Nota-se que as grandes diferenças entre as curvas representativas dos sucos de abacaxi e de manga contendo alguma quantidade de sólidos insolúveis praticamente são eliminadas após a centrifugação.

4.2.3.2 - Avaliação do uso das peneiras na redução do teor de sólidos insolúveis dos materiais

Em todos os materiais estudados conseguiu-se reduções nos teores de sólidos insolúveis que variaram entre o mínimo de 3% (manga despectinizada em peneira 1,18 mm) e o máximo de 85% (abacaxi despectinizado em peneira 0,149 mm). Em três dos cinco materiais, abacaxi natural, manga natural e manga clarificada, o uso da peneira 0,59 mm não aumentou a retenção de sólidos insolúveis em relação à sua anterior (0,84 mm), apesar de ser 29% menor em abertura de malha. Nos demais casos a redução das malhas implicou sempre em redução do teor de sólidos, de forma que com menores malhas sempre se obteve os menores teores de sólidos insolúveis para cada tipo de material (Figura 35).

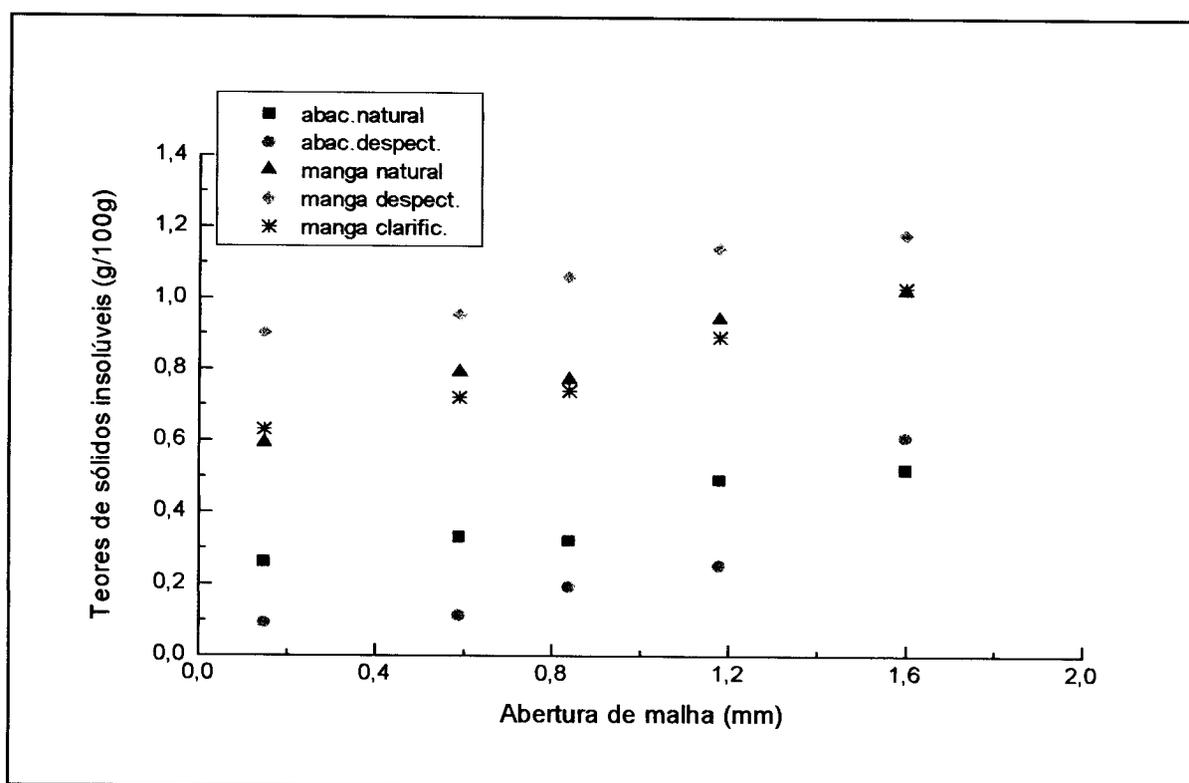


Figura 35 - Teores de sólidos insolúveis das frações dos sucos de abacaxi e manga em função da malha utilizada no peneiramento.

Observando os valores apresentados nos Quadros 06.A, 07.A, 08.A, 09.A e 10.A verifica-se que, de maneira geral, as retenções obtidas com os peneiramentos dos sucos de abacaxi foram maiores que as conseguidas com os sucos de manga, apesar dos sucos de abacaxi integral apresentarem quase a metade do teor inicial de sólidos insolúveis dos sucos de manga integral. Em dois dos três materiais derivados da manga, manga natural e clarificada, o teor de sólidos insolúveis obtido com a menor peneira (0,59 e 0,63 g/100g) foi praticamente igual ao teor de sólidos insolúveis dos dois derivados integrais de abacaxi (0,61 e 0,52 g/100g) e na amostra de manga despectinizada, passada na mesma peneira, foi pelo menos 50% maior. A menor peneira, 0,149 mm promoveu, na manga despectinizada, a menor das retenções para esta malha com

24% e a maior peneira, 1,18 mm, promoveu, no abacaxi despectinizado, a maior das retenções para esta malha, com 59%. Avaliando a separação obtida com as peneiras por faixas e por material, tem-se que, para a manga, a maior das peneiras promoveu retenções entre 3% e 14% e a menor das peneiras reteve entre 24% e 42% dos sólidos insolúveis. No abacaxi a maior peneira reteve entre 6,0% e 59,0% dos sólidos enquanto a menor reteve entre 50% e 85%.

A eficiência de retenção, dada pelas relações entre redução percentual da quantidade de sólidos insolúveis e redução percentual de malha atingiu os valores mais altos no suco de abacaxi despectinizado, com valores entre 0,9 e 2,3 (média de 1,49) seguido pelo suco de abacaxi natural, com média de 0,54 e suco de manga clarificado com média de 0,51. Mais abaixo veio manga natural com 0,41 e, por fim, manga despectinizada com 0,23. Dos cinco materiais o peneiramento em 0,84 mm foi o mais eficiente em três deles: abacaxi natural, manga natural e manga clarificada, enquanto o peneiramento 1,18 mm foi o menos eficiente nos peneiramentos de abacaxi natural, manga natural e manga despectinizada.

4.2.3.3 - Influência dos sólidos insolúveis nas viscosidades dos sucos de abacaxi e manga

Na Figura 36 estão representadas as correspondências entre as viscosidades e os sólidos insolúveis para os sucos de abacaxi e manga.

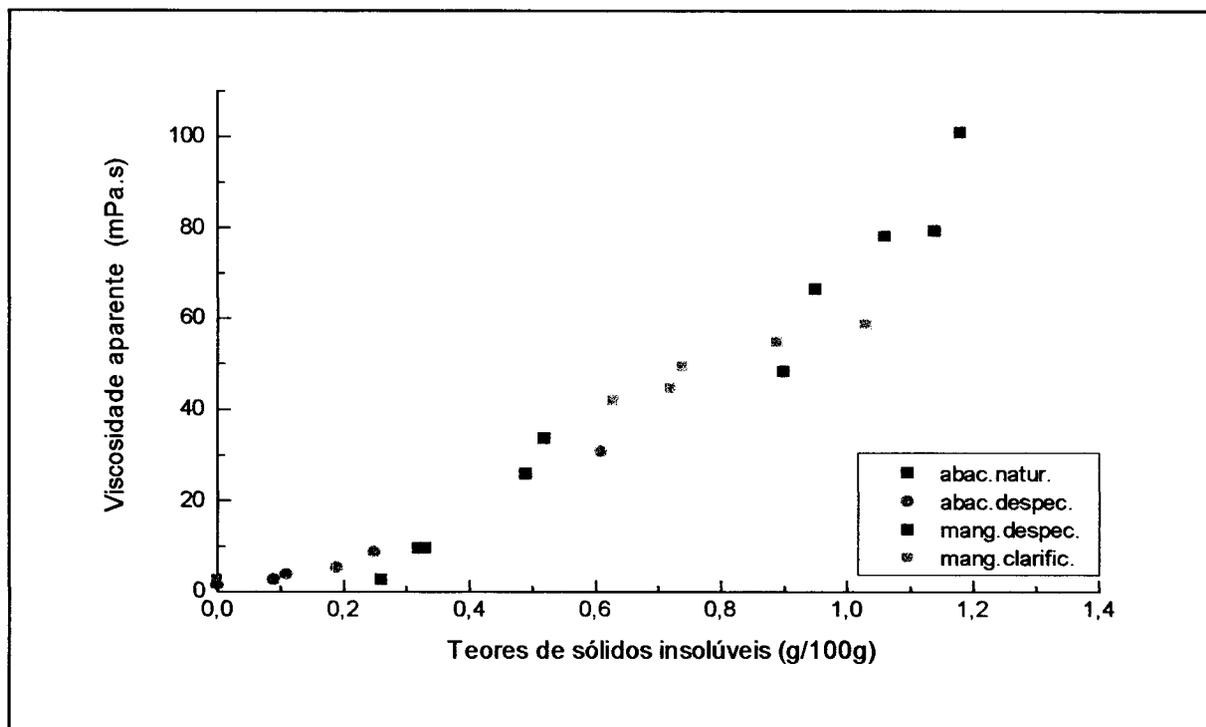


Figura 36 - Viscosidades aparentes a 300 s^{-1} das frações de sucos de abacaxi natural e despectinizado e sucos de manga despectinizado e clarificado para seus respectivos teores de sólidos.

No suco de manga natural a viscosidade só evidenciou dependência dos sólidos insolúveis no material centrifugado. Nos sucos de abacaxi e nos sucos de manga despectinizado e clarificado às retenções de sólidos insolúveis corresponderam sempre diminuições de viscosidade. Nos derivados de abacaxi as reduções de viscosidade chegaram a superar os 90% no material da peneira 0,149 mm, uma redução próxima à obtida com a centrifugação (95%). Nos sucos de manga despectinizada e clarificada essa redução atingiu 98% e 96% respectivamente, nos centrifugados.

A parte de viscosidade que não depende dos sólidos insolúveis, medida nas frações naturais centrifugadas, adicionada à viscosidade que não é devida à pectina, medida nas frações clarificadas integrais, resulta na viscosidade devida à soma individual destes dois fatores isoladamente. Nesta soma obtém-se um valor de viscosidade inferior ao que se mediu nas frações onde os sólidos insolúveis e a pectina estavam presentes numa mesma amostra, interagindo entre si.

A presença simultânea de pectina e sólidos insolúveis teve como consequência, uma potencialização da influência destes dois elementos sobre a viscosidade das amostras. Uma maneira de avaliar essa potencialização é comparando a soma acima descrita, que totaliza 129,1 mPa.s (soma das viscosidades aparentes da fração natural centrifugada e fração clarificada integral de manga, Quadros 08.C e 10.C), com a viscosidade medida na fração integral natural, onde os dois fatores interagem, que foi igual a 302,4 mPa.s. (Quadro 08.C) Este último valor é igual a quase duas vezes e meia o primeiro. Mesmo o peneirado do material natural que apresentou a menor viscosidade (212,6 mPa.s) superou em quase 65% aquele valor.

4.2.3.4 - Conclusões para os sucos de abacaxi e manga

1 - Os peneiramentos reduziram os sólidos insolúveis suspensos dos cinco materiais.

2 - As reduções nos sólidos insolúveis suspensos dos derivados de abacaxi levaram as amostras a teores destes sólidos mais baixos do que as reduções nos derivados de manga, porém, as amostras de abacaxi partiram de valores iniciais mais baixos.

3 - Os sólidos insolúveis suspensos presentes nos derivados de manga influenciaram, em média e proporcionalmente, muito mais as viscosidades aparentes das suas frações do que os sólidos insolúveis suspensos presentes nos derivados de abacaxi. Isto fica evidenciado pelas relações entre viscosidade e sólidos insolúveis, que para abacaxi natural e despectinizado oscilaram em torno de um valor médio próximo a 35 mPa.s, enquanto nos sucos de manga despectinizado e clarificado os valores para este índice estiveram entre 60 mPa.s e 70 mPa.s.

4 - As viscosidades aparentes a 300 s^{-1} de todas as frações de suco de manga, contendo sólidos insolúveis, superaram as viscosidades aparentes de todas as frações de suco de abacaxi, inclusive as integrais, à mesma taxa de deformação.

5 - No único derivado de manga onde o teor de sólidos insolúveis pode ser considerado igual a um dos derivados de abacaxi (suco de manga clarificado da peneira 0,149 mm, com 0,63 g/100g contra suco de abacaxi integral com 0,61

g/100g) a relação entre viscosidade e sólidos insolúveis para manga superou a mesma relação para abacaxi em mais de 32%.

6 - Nos centrifugados de abacaxi natural e despectinizado e manga despectinizado e clarificado, onde o teor de sólidos insolúveis é próximo de zero, a viscosidade para os mesmos ficou em torno do valor 2,0 mPa.s. Desta observação pode-se afirmar que as viscosidades superiores a este valor, medidas nestes materiais são devidas, em sua maior parte, aos sólidos insolúveis. A partir das duas observações anteriores conclui-se que os sólidos insolúveis da manga conferiram proporcionalmente mais viscosidade a seus sucos que os sólidos insolúveis do abacaxi proporcionaram a seus derivados. A dependência das viscosidades em relação aos sólidos insolúveis nestes sucos de manga é também mais regular que nos sucos de abacaxi, uma vez que, calculando os coeficientes de variação para os quatro materiais tem-se 4% para manga clarificada, 15% para manga despectinizada, 22% para abacaxi despectinizado e 51% para abacaxi natural.

5 - CONCLUSÕES FINAIS

- A simples operação mecânica de separação pelo uso de peneiras com aberturas entre 0,149 mm e 1,18 mm, mostrou-se adequado para a produção de sucos de abacaxi e manga com diferentes teores de polpa e com diferentes propriedades reológicas, o que é de interesse como fator de escolha da peneira das despoldadeiras.

- O teor de sólidos insolúveis presente nos sucos de abacaxi natural e despectinizado mostrou-se o principal elemento responsável pelas suas características reológicas.

- A pectina foi identificada como o componente mais importante no comportamento reológico do suco de manga natural.

- Os sólidos insolúveis presentes no suco de manga natural foram o segundo elemento mais importante a influenciar o comportamento reológico deste material.

- Os sólidos insolúveis foram o elemento mais importante na reologia dos sucos de manga despectinizado e clarificado.

- Nos sucos de manga cuja pectina não foi tratada enzimaticamente e dos quais foram extraídos os sólidos insolúveis esta pectina demonstrou menos

influência sobre a viscosidade aparente destes materiais do que a combinação de sólidos insolúveis com pectina precipitada, presente em outros sucos.

- A pectina precipitada aumentou a viscosidade aparente dos sucos de manga quando na presença dos sólidos insolúveis, porém, não apresentou qualquer influência sobre esta propriedade quando isolada destes.
- Os sucos de manga e abacaxi quando centrifugados e sem pectina apresentaram características reológicas semelhantes.
- A presença simultânea de sólidos insolúveis e pectina, ocorrente no suco de manga natural, produziu um efeito de sinergia que potencializou a influência de cada um destes fatores, sobre a viscosidade aparente (à taxa de deformação de 300 s^{-1}), em um nível que superou em pelo menos 65% a soma das influências de cada um dos fatores isolados.
- Os sólidos insolúveis presentes nos sucos de manga clarificados ou contendo pectina na forma precipitada influenciaram a viscosidade aparente deste material em um nível proporcionalmente mais elevado que os sólidos insolúveis presentes nos sucos de abacaxi.

6 - SUGESTÕES

- Verificação do desempenho de malhas metálicas de várias aberturas para a operação de despulpadeiras visando a obtenção de características reológicas definidas em sucos de frutas.

- Analisar o comportamento reológico de sucos de manga e abacaxi a partir de amostras com igual teor de sólidos insolúveis, uma vez que estes sólidos presentes nos sucos de manga influenciaram proporcionalmente mais o seu comportamento reológico que os mesmos sólidos dos sucos de abacaxi.

- Analisar o comportamento reológico de sucos de manga e abacaxi a partir de amostras com igual teor de pectina, uma vez que esse componente demonstrou alterar drasticamente a influência dos sólidos insolúveis sobre a reologia dos sucos de manga e que seria interessante o estudo comparativo fazendo a adição de pectina ao suco de abacaxi.

- Utilizar sucos de outras frutas visando estabelecer relações gerais para a influência do teor de sólidos insolúveis e das pectinas sobre o comportamento reológico dos sucos. Este tipo de informação pode ser importante no desenvolvimento de novos produtos, principalmente na elaboração de sucos contendo fibras.

- Estudar o comportamento reológico de sucos de frutas combinando diferentes teores de sólidos insolúveis com diferentes concentrações de sólidos

solúveis (Brix), com o objetivo de conhecer uma relação prática com utilidade na elaboração de novos produtos.

- Estudar o efeito do tamanho das partículas que compoem os sólidos insolúveis no comportamento reológico dos sucos. Neste caso o interesse também é relativo à produção de sucos com fibras.

- Estudar o efeito da homogeneização sobre o comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga assim como é feito com o tomate, onde a indústria consegue alterar a consistência do produto usando este recurso. Neste caso, o desenvolvimento de formulações semelhantes aos néctares pode resultar em um produto natural e não formulado, o que tem grande apelo entre os consumidores.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMSTALDEN, L. C. **Estudo de deposição de hesperidina em evaporadores da indústria de citrus.** Campinas, 1996. 94 p. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. **An introduction to rheology.** New York: Elsevier Science Publishers, 1989.

BEZERRA, J. R. M. V. **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.

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Transport Phenomena.** EUA: John Wiley & Sons Inc, 1960. 780p.

BOTREL, N.; ABREU, C. M. P. Colheita, cuidados e fisiologia pós-colheita do abacaxi. **Informe Agropecuário**, v.17, n.179, p.33-40, 1994.

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.

- CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F. G. T. Fisiologia pós-colheita de frutas e hortaliças. In: Relatório de grupos de trabalho. **XIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (SBCTA)**. São Paulo, p.41-56, 1994.
- CHOW, M. K.; ZUKOVSKI, C. F. Nonequilibrium behaviour of dense suspensions of uniform particles: volume fraction and size dependence of rheology and microstructure. **Journal of Rheology**, v.39, p.33-59, 1995.
- COSTELL, E.; CLEMENTE, G.; DURAN, L. Reologia fisico-química del puré de albaricoque. II- Caracterización del flujo y relación entre los parámetros reológicos y las características químicas y físicas del producto. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v.22, n.4, p.539-550, 1982.
- 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, p.80-94, 1982a.
- COSTELL, E.; DURAN, L. Reología fisico-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.; MATOS, A. P.; CABRAL, J. R. S.; SOUZA, L. F. S.; SANCHES, N. F.; REINHARDT, D. H. R. C. Abacaxi para exportação: aspectos técnicos da produção. In: **Flores e Plantas Ornamentais: FRUPEX**. Brasília: EMBRAPA, 1994. p. 8-15.

CUNHA, G. A. P.; SAMPAIO, J. M. M.; NASCIMENTO, A.S.; FILHO, H. P. S.; MEDINA, V. M. Manga para exportação: aspectos técnicos da produção. In: **Flores e Plantas Ornamentais: FRUPEX**. Brasília: EMBRAPA, 1994. p.8-13.

DAVIS, R. B.; De WEESE, D.; GOULD, W. A. Consistency measurement of tomato puree. **Food Technology**, v.8, p.330-334, 1954.

DIEMAIR, W. Laboratoriumsbuch für Lebensmittelchemiker. **Verlag Von Theodor Steinkopff**, Dresden, 8 Auflage, 1963.

DURAN, L.; JIMENEZ, G. Evolucion de las propiedades reológicas del puré de albaricoque durante la operacion de concentracion. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v.20, n.2, p.209-219, 1980.

EZELL, G. H. Viscosity of concentrated orange and grapefruit juices. **Food Technology**, v.13, p.9-13, 1959.

FIBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de orçamentos familiares Série Relatórios Metodológicos-volume 10**. v. 03 - Aspectos de amostragem. Rio de Janeiro, 1992.

FIBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1994. v. 54, p. 3-24.

- 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.
- FRANCO, G. **Nutrição**. São Paulo: Livraria Ateneu, 6^a. Ed., 1982.
- 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, 1996. 103p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- GHERARDI, S.; CASTALDO, D.; TRIFIRÒ, A. Effect of liquefying enzymes on pear purees: relationships between analytical composition and rheological properties. **Fluess. Obst.**, v.12, p. 639-644, 1985.
- GUNJAL, B. B.; WAGHMARE, N. J. Flow characteristics of pulp, juice and nectar of “Baneshan” and “Neelum” mangoes. **Journal of Food Science Tech.**, v.24, p.20-23, 1987.
- KRIEGER, I. M.; ELROD, H. Direct determination of the flow curves of non-newtonian fluids: II - Shearing rate in the concentric cylinder viscometer. **Journal of Applied Physics**, v.4, n.2, 1953.

- 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.
- HARPER, J. C.; LEBERMANN, K. W. Rheological behaviour of pear purees. **Proc. 1st. Int. Conf. Food Science and Technology**, v.1, p.719-728, 1962.
- 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.
- HOLDSWORTH, S. D. Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review. **Trans. I. Chem. E.**, Part. C, p.139-78, sept., 1993
- 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.
- JINESCU, V. V. The rheology of suspensions. **Int. Chem. Engineering**, v.14, n.3, p.397-420, 1974.
- LARA, A. B. W.; NAZÁRIO, G.; ALMEIDA, M. E. W.; PREGNOLATTO, W. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz - **Métodos Químicos e Físicos para análise de Alimentos**. Instituto Adolfo Lutz, SP, v.1, 2ª ed., 1976.
- 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.
- MARQUES, D. S.; MEIRELES, M. A. Estudo da influência da concentração em sólidos solúveis e da porcentagem de polpa suspensa sobre a viscosidade do suco de laranja concentrado produzido no Brasil. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, v.16, n.3, p.260-264, 1996.

- 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.
- MIZRAHI, S.; BERK, Z. low behaviour of concentrated orange juice: mathematical treatment. **Journal of Texture Studies**, v.3, p.69-79, 1972.
- MIZRAHI, S.; FIRSTEMBERG, R. Effect of orange juice composition on flow behaviour of six-fold concentrate. **Journal of Texture Studies**, v.6, n.4, p.523-32, 1975.
- NAGY, S.; CHEN, C. S.; SHAW, P. E. **Fruit juice processing technology**. Florida: Agscience Inc., Albuquerque, 1993. 713p.
- PEARSON, D. **Laboratory Techniques in Food Analysis**. London: London Butterwoths, 1973. p. 58-60.
- PY, C.; LACOEUILHE, J. J.; TEISSON, E. **L'ananas: sa culture ses produits**. Paris: G. P. Maisonneuve et ACCT, 1984.
- 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.
- QUEIROZ, A. J. M.; VIDAL, J. R. M. ; VIDAL, B. C.; GASPARETTO, C. A. Influência dos sólidos suspensos na reologia do suco de abacaxi. **Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (ENEMP)**. Uberlândia, MG, 1996. v.I, p.49-53.

- RAO, M. A. Rheology of liquid foods - a review. **Journal of Texture Studies**, v.8, n.2, p.135-68, 1977.
- RAO, M. A.; ANANTHESWARAM, R. C. Rheology of fluids in food processing. **Food Technology**, v.36, n.2, p.116-26, 1982.
- RAO, M. A. Rheological properties of fluid foods. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. **Engineering properties of foods**. New York: Marcel Dekker, 1986 p.1-47.
- 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.
- ROEHRIG, G. K. L. The physiological effects of dietary fiber: a review. **Food Hydrocolloids**, v.2, n.1, p. 1-18, 1988.
- 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.
- 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.

- 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.
- TRIFIRÒ, 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.
- 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.
- VAZQUEZ-SALINAS, C.; LAKSHMINARAYANA, S. Compositional changes in mango fruit during ripening at different storage temperatures. **Journal of Food Science**, v.50, p.1646-1648, 1985.
- 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.
- 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.

APÊNDICE A

Quadro A.1 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para as frações de abacaxi naturais

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
τ_{0H}	4,67299	0,6577	-0,07889	0,26541	0,07006	-0,54592
K_H	0,01197	0,13075	0,01966	0,00599	0,00052	0,0242
n_H	1,07135	0,69914	0,87658	1,0663	1,27324	0,67854
X^2	0,00845	0,00767	0,00012	0,00018	0,00005	0,00034
SSR	0,08453	0,07673	0,00124	0,0018	0,00048	0,00343
R^2	0,99471	0,99514	0,99966	0,99952	0,99867	0,99166

Quadro A.2 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para as frações de abacaxi despectinizadas

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
τ_{0H}	5,87269	0,03455	0,87307	0,56412	0,22551	0,08643
K_H	0,00009	0,03448	0,0007	0,00028	0,00265	0,00002
n_H	1,86355	0,75832	1,21767	1,35858	0,94552	1,74196
X^2	0,05911	0,00351	0,00039	0,00023	0,00005	0,00021
SSR	0,59114	0,03514	0,00392	0,0023	0,00046	0,00207
R^2	0,95545	0,98558	0,98828	0,99221	0,99711	0,98481

Quadro A.3 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para as frações de manga naturais

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
τ_{0H}	22,85437	19,07833	24,80631	15,61836	52,51625	-2,63861
K_H	2,55232	1,4303	3,25066	1,62696	0,96597	0,95526
n_H	0,57487	0,61923	0,55153	0,59434	0,75396	0,56562
X^2	0,13061	0,00808	0,00581	0,00483	0,04823	0,0001
SSR	0,13061	0,08083	0,05807	0,04829	0,48232	0,00097
R^2	0,99988	0,99987	0,99995	0,99992	0,99973	0,99999

Quadro A.4 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para as frações de manga despectinizadas

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
τ_{0ii}	-40,70511	-60,3258	-37,7496	-1,93105	5,64377	-0,20215
K_{ii}	30,10507	47,29443	29,88642	2,85664	0,12139	0,01494
n_{ii}	0,15007	0,10085	0,12592	0,35726	0,75163	0,69187
X^2	0,03212	0,0072	0,01903	0,00135	0,00053	0,00051
SSR	0,32123	0,07201	0,19031	0,01353	0,00535	0,00511
R^2	0,99732	0,99909	0,99705	0,99975	0,9998	0,97331

Quadro A.5 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para as frações de manga clarificadas

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
τ_{0ii}	3,38343	1,01612	4,42789	3,34113	4,26923	0,24812
K_{ii}	0,969	1,47467	0,32897	0,38477	0,17862	0,00337
n_{ii}	0,4719	0,41049	0,60475	0,57214	0,67139	0,88018
X^2	0,00158	0,00034	0,00074	0,00105	0,0099	0,00022
SSR	0,01578	0,00341	0,00735	0,01051	0,00994	0,0022
R^2	0,99956	0,9999	0,99973	0,99956	0,99951	0,98072

Quadro A.6 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para as frações de abacaxi naturais

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
K_{0M}	2,05178	0,68507	-0,12999	0,30868	0,20132	-5,1257
K_M	0,01116	0,17718	0,16787	0,04807	0,00902	3,37073
n_M	0,80808	0,43295	0,41835	0,58984	0,76352	0,09892
X^2	0,00025	0,0003	0,00002	0,00002	0,00003	0,00089
SSR	0,00255	0,00303	0,00015	0,00021	0,00027	0,00892
R^2	0,99476	0,9955	0,99967	0,99957	0,99844	0,97714

Quadro A.7 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para as frações de abacaxi despectinizadas

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
K_{0M}	2,40825	0,31564	0,91337	0,73128	0,43106	0,26231
K_M	0,00005	0,08322	0,00117	0,0007	0,01066	0,00049
n_M	1,66343	0,48356	1,00047	1,09957	0,66313	1,18716
X^2	0,00189	0,00045	0,00007	0,00006	0,00002	0,00022
SSR	0,01887	0,00448	0,00072	0,00064	0,00016	0,00218
R^2	0,955	0,98592	0,98851	0,99177	0,99748	0,98116

Quadro A.8 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para as frações de manga naturais

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
K_{0M}	3,99795	3,76714	4,14844	3,29392	6,80785	-1,60562
K_M	0,66591	0,43062	0,77619	0,53068	0,17683	1,6288
n_M	0,37083	0,41055	0,35468	0,38236	0,56012	0,2353
X^2	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	$1,6 \times 10^{-6}$
SSR	0,0004	0,00032	0,00015	0,0003	0,001	0,00002
R^2	0,99989	0,99989	0,99996	0,99993	0,99976	0,99999

Quadro A.9 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para as frações de manga despectinizadas

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
K_{0M}	-45,24371	-19,53881	-6,86716	0,45224	2,20663	-1,83496
K_M	45,36669	19,66677	7,77718	1,11839	0,07048	1,20273
n_M	0,01962	0,03795	0,07199	0,2244	0,54722	0,1345
X^2	0,00031	0,00012	0,00032	0,00002	0,00001	0,00039
SSR	0,00314	0,0012	0,00323	0,00025	0,0001	0,00391
R^2	0,99736	0,99881	0,99603	0,99969	0,99982	0,97087

Quadro A.10 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para as frações de manga clarificadas

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
K_{oM}	-1,94939	0,51486	1,84352	1,49977	1,85166	0,48665
K_M	3,07907	1,00202	0,19588	0,27203	0,11936	0,00737
n_M	0,12121	0,22069	0,40747	0,36328	0,46389	0,69355
X^2	0,00003	$6,09 \times 10^{-6}$	0,00001	0,00002	0,00002	0,00009
SSR	0,00026	0,00006	0,00014	0,00022	0,00021	0,00088
R^2	0,99957	0,9999	0,99975	0,99959	0,99956	0,98125

Quadro A.11 - Parâmetros do modelo de Casson para as frações abacaxi naturais

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
K_{oc}	1,57474	0,9145	0,11686	0,11852	-0,0596	-0,58624
K_c	0,09145	0,10782	0,09072	0,091	0,0552	0,08083
X^2	0,00034	0,00028	0,00002	0,00003	0,00005	0,00125
SSR	0,0037	0,00309	0,00022	0,00028	0,00051	0,01378
R^2	0,99238	0,99541	0,99977	0,99942	0,99856	0,96467

Quadro A.12 - Parâmetros do modelo de Casson para as frações de abacaxi despectinizadas

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
K_{oc}	1,62525	0,35011	0,68957	0,46049	0,31844	-0,08691
K_c	0,08237	0,07381	0,03273	0,03636	0,03339	0,04421
X^2	0,00261	0,00041	0,00009	0,0001	0,00002	0,00029
SSR	0,02869	0,00449	0,00099	0,00114	0,00019	0,00317
R^2	0,93158	0,98591	0,98418	0,98521	0,99698	0,97261

Quadro A.13 - Parâmetros do modelo de Casson para as frações de manga naturais

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
K_{oc}	5,19683	442846	5,59296	4,21833	6,40749	1,34743
K_c	025038	0,22087	0,25642	0,21859	0,27183	0,19071
X^2	0,00014	0,00007	0,00015	0,00008	0,00012	0,00025
SSR	0,00153	0,00074	000164	0,00091	0,00129	0,00279
R^2	0,99958	0,99974	0,99957	0,99967	0,997	0,99867

Quadro A.14 - Parâmetros do modelo de Casson para as frações de manga despectinizadas

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
K_{oc}	3,04951	2,62386	2,83595	2,44647	2,0895	-0,05833
K_c	0,14294	0,13184	0,11806	0,11793	0,0989	0,04743
X^2	0,00087	0,00071	0,00098	0,00018	0,00001	0,0004
SSR	0,00961	0,00777	0,01074	0,00193	0,00012	0,00439
R^2	0,99191	0,9923	0,9868	0,9976	0,99978	0,96727

Quadro A.15 - Parâmetros do modelo de Casson para as frações de manga clarificadas

	Integral	1,18mm	0,84mm	0,59mm	0,149mm	Centrifugado
K_{oc}	2,44694	2,29052	2,1497	1,998	1,94956	0,37829
K_c	0,10209	0,10193	0,09812	0,09631	0,09158	0,02833
X^2	0,00019	0,00009	0,00002	0,00004	0,00002	0,00008
SSR	0,00206	0,00094	0,00023	0,00041	0,00022	0,00091
R^2	0,99658	0,99842	0,99959	0,99924	0,99954	0,98062