INFLUÊNCIA DE BIOPOLÍMEROS NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPA DE UMBU

Edimir Andrade Pereira

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ.

Orientadora: **Maria Cristina Antun Maia**
DSc. em Engenharia de Alimentos, UNICAMP

Orientadora: **Soraia Vilela Borges**
DSc. em Engenharia de Alimentos, UNICAMP

Rio de Janeiro
2007

INFLUÊNCIA DE BIOPOLÍMEROS NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPA DE UMBU

EDIMIR ANDRADE PEREIRA

Tese submetida ao corpo docente do curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Doutor em Ciências.

BANCA EXAMINADORA

_____

Profa. Dra. Maria Cristina Antun Maia – EQ/UFRJ (Presidente da Banca)

_____

Profa. Dra. Soraia Vilela Borges – DCA/UFLA

_____

Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto – FEA/UNICAMP

_____

Profa. Dra. Cheila Gonçalves Mothé – EQ/UFRJ

_____

Profa. Dra. Elisabeth Ermel da Costa Monteiro – IMA/UFRJ

_____

Profa. Dra. Maria José de Oliveira Cavalcanti Guimarães – EQ/UFRJ

_____

Dra. Christine Rabello Nascimento – CETEM/UFRJ

Rio de Janeiro, 2007

FICHA CATALOGRÁFICA

P437 Pereira, Edimir Andrade

Influência de biopolímeros no comportamento reológico de polpa de umbu / Edimir Andrade Pereira – Rio de Janeiro, 2007.

xiv. 146f.: il.

Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Departamento de Engenharia Bioquímica, Escola de Química – EQ, 2007.

Orientadoras: Dra. Maria Cristina Antun Maia e Dra. Soraia Vilela Borges

1. Reologia. 2. Gomas xantana e gelana. 3. Polpa de umbu. 4. Bebida a base de extrato hidrossolúvel de soja e polpa de umbu. – Teses. I. Maia, Maria Cristina Antun (Orient.). II. Borges, Soraia Vilela (Orient.). III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Química. IV. Título.

Dedico este trabalho:

Aos meus pais

João Andrade Pereira e Marisa da Costa Pereira

Aos meus irmãos

Elinaldo (in memoriam), Edvaldo e João

Aos meus sobrinhos

Wellington, Elisabeth, Escobar, Andressa, João Vitor e Joline.

Obrigado pelo amor, compreensão e apoio em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Às professoras Dra. Maria Cristina Antun Maia e Dra. Soraia Vilela Borges pela orientação deste trabalho, por todo incentivo, confiança, compreensão e amizade.

À Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EQ-UFRJ) pela oportunidade de realização deste trabalho.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior,, pela bolsa concedida durante a realização do curso.

À FUJB - Fundação Universitária José Bonifácio, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

À EMBRAPA Semi-Árido (CPATSA) - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, pela doação dos frutos de umbu. Em nome do pesquisador Nilton de Brito Cavalcanti.

À CP KELCO pela doação das gomas xantana e gelana.

Ao CENPES- PETROBRAS Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello, por permitir o uso do reômetro para realização do trabalho experimental. Em especial a Edimir Martins Brandão pela experiência compartilhada e valiosa contribuição, como também, a Francileide e Elaine do Laboratório de Fluidos.

Aos orientadores do mestrado Alexandre José de M. Queiroz e Rossana M^{a}. F. Figueirêdo (UFCG).

As companheiras de estudo e laboratório Gilvanete, Rafaela. e Camila.

A Hilário, Alice, Silvia, Esmeraldo, Eliane, Luciana e Sandra pela acolhida

A Profa. Dra. Sandra Gregório pelo apoio assim que cheguei ao Rio de Janeiro.

A Jorge Augusto, Júlio Suita, José Veiga e Hélio Eduardo pela amizade e incentivo.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para essa conquista.

Aos membros da Banca Examinadora, pela contribuição nas correções e sugestões, que permitiram o aprimoramento deste trabalho.

Edimir Andrade Pereira

ÍNDICE

NOMENCLATURAS..... xi
RESUMO..... xii
ABSTRACT..... xiv
1. INTRODUÇÃO..... 1
1.1. Objetivos..... 4
1.2.1. Geral..... 4
1.2.2. Específicos..... 4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 5
2.1. O Umbu..... 5
2.2. A soja..... 9
2.3. Hidrocolóides..... 11
2.3.1. Goma Xantana..... 13
2.3.2. Goma Gelana..... 16
2.3.3. Pectina..... 17
2.4. A Reologia e a Textura..... 19
2.4.1. Comportamento reológico de fluidos em estado estacionário..... 20
2.4.1.1. Fluidos newtonianos..... 22
2.4.1.2. Fluidos não-newtonianos..... 23
2.4.1.2.1. Fluidos não-newtonianos independentes do tempo sem tensão inicial..... 24
2.4.1.2.2. Fluido não-newtonianos sem tensão inicial..... 24
Fluidos Pseudoplásticos ou shear thinning..... 24
Fluidos dilatantes ou sherar thickening 27
2.4.1.2.3. Fluidos que necessitam de uma tensão inicial para escoar
Fluidos de Bingham 28
Fluidos pseudoplásticos com tensão inicial..... 28
Fluido dilatante com tensão inicial..... 28
2.4.1.2.4. Fluido não-Newtonianos dependente do tempo..... 28
Fluido Tixotrópico..... 29

Fluido Reopético..... 30
2.4.1.3. Fluidos viscoelásticos..... 31
2.4.1.4. Modelos Reológicos 32
2.4.1.4.1. Modelos reológicos para o comportamento independente do tempo..... 32
2.4.1.4.2. Efeito da temperatura e concentração na viscosidade..... 35
. Influência da temperatura..... 35
. Influência da concentração..... 36
. Influencia da temperatura e da concentração..... 37
2.4.2. Comportamento reológico de fluidos em estado dinâmico..... 40
2.4.2.1. Funções Viscoelásticas lineares e ensaios não estacionários..... 40
2.4.2.2. Ensaios dinâmicos ou oscilatórios..... 42
2.4.3. Comportamento reológico na indústria de alimentos..... 47
3. MATERIAL E MÉTODOS..... 57
3.1. Material..... 57
3.1.1 Umbu..... 57
3.1.2. Soja..... 57
3.1.3. Hidrocolóides..... 57
3.2. Métodos..... 57
3.2.1. Processamento dos frutos do umbu..... 57
3.2.1.1. Beneficiamento..... 58
3.2.1.2. Lavagem..... 58
3.2.1.3. Despolpamento 58
3.2.1.4. Acondicionamento..... 58
3.2.1.5. Congelamento e armazenamento..... 59
3.2.2. Análises físico-químicas e químicas..... 59
3.2.2.1. Umidade..... 59
3.2.2.2. Açúcares redut. em glicose e açúcares não redutores em sacarose.... 59
3.2.2.3. Sólidos solúveis (ºBrix) 59
3.2.2.5. pH 59

3.2.2.6. Cinzas..... 60
3.2.2.7. Pectina..... 60
3.2.3. Preparação das amostras para análises reológicas..... 60
3.2.3.1. Efeito da concentração..... 60
3.2.3.2. Efeito da adição de hidrocolóides..... 60
3.2.4. Comportamento reológico..... 61
3.2.4.1. Medidas reológicas em regime estacionário..... 61
3.2.4.2. Ensaios oscilatórios em estado dinâmico..... 62
3.2.4.3. Análise dos dados..... 62
3.2.5. Processamento do extrato hidrossolúvel da soja..... 63
3.2.5.1. Maceração..... 64
3.2.5.2. Lavagem / Drenagem..... 64
3.2.5.3. Obtenção do extrato hidrossolúvel de soja..... 64
3.2.6. Desenvolvimento da bebida a base de extrato hidrossolúvel de soja e análise sensorial. 65
3.2.6.1. Análise estatística dos resultados..... 67
3.2.7. Análises físico-químicas e químicas..... 67
3.2.7.1. Determinação das proteínas..... 67
3.2.7.2. Determinação de lipídeos..... 67
3.2.8. Preparação das bebidas a base de extrato hidrossolúvel de soja para análise reológica. 67
3.2.9. Comportamento reológico..... 68
3.2.9.1. Medidas reológicas em regime estacionário..... 68
3.9.10. Esquema geral das análises..... 68
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 69
4.1. Caracterização físico-química e química da polpa de umbu..... 69
4.2. Comportamento reológico da polpa de umbu - influência da concentração de sólidos solúveis (ºBrix) e da temperatura (ºC) 70
4.2.1. Comportamento reológico em cisalhamento estacionário..... 70
4.2.1.1. Comportamento reológico dependente do tempo..... 70

4.2.1.2. Efeito da concentração de sólidos solúveis e da temperatura..... 71
4.2.2. Ensaios oscilatórios em estado dinâmico..... 85
4.2.2.1. Determinação do intervalo de viscoelasticidade linear..... 85
4.2.2.2. Parâmetros reológicos dinâmicos para polpa de umbu em diferentes concentrações de sólidos solúveis (ºBrix)..... 86
4.3. Comportamento reológico da polpa de umbu – influência da adição de goma xantana (%) e da temperatura..... 90
4.3.1. Comportamento reológico em regime estacionário..... 90
4.3.1.1. Efeito da concentração de goma xantana dispersa em polpa de umbu e da temperatura..... 90
4.3.2. Ensaios oscilatórios em estado dinâmico..... 102
4.3.2.1. Parâmetros reológicos dinâmicos para polpa de umbu adicionada de goma xantana em diferentes concentrações (%)..... 102
4.4. Comportamento reológico da polpa de umbu – influencia da adição de goma gelana..... 106
4.4.1. Comportamento reológico em regime estacionário..... 106
4.3.1.1. Efeito da adição da goma gelana dispersa em polpa de umbu..... 106
4.4.2. Comportamento reológico em regime oscilatório..... 110
4.5. Bebida elaborada a partir de extrato hidrossolúvel de soja e polpa de umbu.. 112
4.5.1. Caracterização físico-química e química do extrato hidrossolúvel de soja e da bebida a base de soja..... 112
4.5.2. Comportamento reológico em regime estacionário..... 115
4.5.3. Análise sensorial da bebida preparada a base de extrato hidrossolúvel de soja..... 121
5. CONCLUSÕES..... 125
5.1 Sugestões..... 126
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 127

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Caracterização físico-química e química da polpa de umbu maduro..... 7
Tabela 2.2. Composição química do umbu..... 8
Tabela 2.3. Fluido Newtoniano, Lei da Potência, Plástico de Bingham, com casos especiais do modelo de Herschel- Bulkley..... 33
Tabela 3.1. Planejamento experimental (Teste 1) 65
Tabela 3.2. Planejamento experimental (Teste 2) 65
Tabela 4.1. Caracterização físico-química e química da polpa de umbu..... 69
Tabela 4.2. Efeito da concentração da polpa de umbu (ºBrix) nas propriedades reológicas, em diferentes temperaturas, determinadas pelo modelo de Herschel-Bulkley. 75
Tabela 4.3 Efeito da concentração da polpa de umbu (ºBrix) nas propriedades reológicas, em diferentes temperaturas, determinadas pelo modelo de Ostwald-de-Waele..... 75
Tabela 4.4. Viscosidade aparente da polpa de umbu (Pa.s) em diferentes temperaturas e concentrações de sólidos solúveis (ºBrix) a uma taxa de deformação de 100 s^{-1}..... 78
Tabela 4.5. Parâmetros do modelo exponencial para polpa de umbu - efeito da concentração (ºBrix). 78
Tabela 4.6. Parâmetros do modelo potencial para polpa de umbu - efeito da concentração (ºBrix). 79
Tabela 4.7. Energia de ativação para polpa de umbu em diferentes concentrações de sólidos solúveis 79
Tabela 4.8. Resultados dos parâmetros obtidos para viscosidade aparente em função da temperatura (K) e da concentração (ºBrix). 80
Tabela 4.9. Efeito da concentração de goma xantana nas propriedades reológicas de suspensões de polpa de umbu (10ºBrix), em diferentes temperaturas, determinada pelo modelo de Herschel-Bulkley. 82
Tabela 4.10. Efeito da concentração de goma xantana nas propriedades reológicas

de suspensões de polpa de umbu (10ºBrix), em diferentes temperaturas, determinada pelo modelo de Herschel-Bulkley. 94
Tabela 4.11. Efeito da concentração de goma xantana nas propriedades reológicas de suspensões de polpa de umbu (10ºBrix), em diferentes temperaturas, determinada pelo modelo de Ostwald-de-Waele. 95
Tabela 4.12. Viscosidade aparente da polpa de umbu em diferentes temperaturas e concentrações de goma xantana a uma taxa de deformação de 100 s^{-1}..... 96
Tabela 4.13. Energia de ativação para polpa de umbu em diferentes concentrações de goma xantana. 97
Tabela 4.14. Parâmetros do modelo exponencial para polpa de umbu – efeito da concentração de goma xantana (%)..... 97
Tabela 4.15. Resultado dos parâmetros obtidos para viscosidade aparente em função da temperatura (K) e da concentração..... 98
Tabela 4.16. Parâmetros obtidos para Tensão inicial, índice de consistência e índice de comportamento de fluxo em função da temperatura (K) e da concentração (ºBrix). 99
Tabela 4.17. Efeito da concentração de 1% goma gelana nas propriedades reológicas de polpa de umbu, determinada pelo modelo de Herschel-Bulkley..... 107
Tabela 4.18. Efeito da concentração de 1% goma gelana nas propriedades reológicas de polpa de umbu, determinada pelo modelo de Ostwld-de-Weale..... 108
Tabela 4.19. Caracterização físico-química e química do extrato hidrossolúvel de soja e da bebida de soja adicionada de polpa de umbu e goma xantana..... 113
Tabela 4.20. Efeito da temperatura nas propriedades reológicas do extrato de soja (s) adicionado de açúcar (a), polpa de umbu (p) e goma xantana (g), determinadas pelo modelo de Ostwald-de-Waele. 118
Tabela 4.21. Viscosidade aparente (Pa.s) da bebida a base de extrato de soja e polpa de umbu em diferentes temperaturas e concentrações de goma xantana a uma taxa de deformação de 100 s^{-1}..... 119
Tabela 4.22. Parâmetros da equação de Arrhenius calculados por ajuste da viscosidade aparente para taxa de deformação de 100 s^{-1}..... 121

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Árvore do umbuzeiro..... 6

Figura 2.2. Frutos de umbu..... 6

Figura 2.3. Estrutura molecular da goma xantana..... 14

Figura 2.3. Estrutura da goma gelana nativa..... 16

Figura 2.4. Estrutura da goma gelana..... 16

Figura 2.5. Estrutura molecular da pectina 18

Figura 2.6. Classificação dos materiais segundo a relação entre tensão aplicada e a deformação produzida. 20

Figura 2.7. Deformação por cisalhamento 21

Figura 2.8. Classificação do comportamento reológico de fluidos 22

Figura 2.9. Diagramas característicos para fluidos Newtonianos..... 23

Figura 2.10. Curvas de escoamento para fluidos independetes do tempo..... 24

Figura 2.11. Diagramas característicos para fluidos shear thinning..... 25

Figura 2.12. Efeito do cisalhamento (orientação das partículas)..... 26

Figura 2.13. Curva de escoamento para fluido com comportamento tixotrópico..... 29

Figura 2.14. Curva de escoamento para fluido com comportamento reopético..... 30

Figura 2.15. Teste viscoelástico dinâmico mecânico. Resposta dos extremos clássicos e do material. 43

Figura 2.16. Espectro mecânico típico de sistemas poliméricos..... 44

Figura 2.17. Espectro mecânico para solução diluída, concentrada e gel..... 45

Figura 2.18. Tangente do ângulo de fase em função da freqüência..... 46

Figura 2.19. Gráfico Cole-Cole. Viscosidade dinâmica (η') x viscosidade imaginária (η'')..... 47

Figura 3.1. Esquema do processamento da polpa de umbu..... 58

Figura 3.2. Reômetro Haake RS 600..... 61

Figura 3.3. Esquema do processamento do extrato hidrossolúvel de soja..... 64

Figura 3.4. Ficha de avaliação da bebida a base de extrato hidrossolúvel de soja e polpa de umbu..... 66

Figura 3.5. Esquema das análises realizadas..... 68
Figura 4.1. Curva de escoamento para a polpa de umbu (10 ºBrix) a 30 ºC... 71
Figura 4.2. Curva de escoamento para polpa de umbu (10ºBrix): 10ºC, 20ºC, 30ºC, 40ºC, 50ºC. 72
Figura 4.3. Curva de escoamento para polpa de umbu (15ºBrix): 10ºC, 20ºC, 30ºC, 40ºC, 50ºC. 72
Figura 4.4. Curva de escoamento para polpa de umbu (20ºBrix): 10ºC, 20ºC, 30ºC, 40ºC, 50ºC. 73
Figura 4.5. Curva de escoamento para polpa de umbu (25ºBrix): 10ºC, 20ºC, 30ºC, 40ºC, 50ºC. 73
Figura 4.6. Curva de escoamento para polpa de umbu a 30ºC: 10ºB, 15ºB, 20ºB, 25ºB - Efeito da concentração da polpa..... 74
Figura 4.7. Efeito da temperatura e conteúdo dos sólidos solúveis na viscosidade aparente da polpa de umbu. 81
Figura 4.8. Efeito da temperatura e concentração no índice de consistência..... 82
Figura 4.9. Efeito da temperatura e concentração na tensão inicial..... 83
Figura 4.10. Efeito da temperatura e da concentração no índice de comportamento de fluxo. 83
Figura 4.11. Determinação do intervalo de viscoelasticidade linear da polpa de umbu (10 ºBrix) na temperatura de 10 ºC..... 85
Figura 4.12. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu com 10 ºBrix, nas temperaturas de 10ºC, 30ºC e 50ºC..... 86
Figura 4.13. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu com 15 ºBrix, nas temperaturas de 10ºC, 30ºC e 50ºC. 87
Figura 4.14. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu com 20 ºBrix, nas temperaturas de 10ºC, 30ºC e 50ºC..... 87
Figura 4.15. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda

(símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu com 25 ºBrix, nas temperaturas de 10ºC, 30ºC e 50ºC. 88
Figura 4.16. Efeito da concentração da polpa de umbu sobre os módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência, na temperatura de 30ºC: (25, 20, 15, 10ºBrix)..... 89
Figura 4.17. Tangente do ângulo de fase em função da freqüência em diferentes concentrações de sólidos solúveis, a 30 ºC: 25 ºBrix, 20 ºBrix, 15 ºBrix, 10 ºBrix... 90
Figura 4.18. Curva de escoamento para suspensões contendo polpa de umbu (10ºBrix) e 0,25 % de goma xantana: 10 ºC, 20 ºC, 30 ºC, 40 ºC, 50 ºC..... 91
Figura 4.19. Curva de escoamento para suspensões contendo polpa de umbu (10ºBrix) e 0,50 % de goma xantana: 10 ºC, 20 ºC, 30 ºC, 40 ºC, 50 ºC..... 91
Figura 4.20. Curva de escoamento para suspensões contendo polpa de umbu (10ºBrix) e 0,75 % de goma xantana: 10 ºC, 20 ºC, 30 ºC, 40 ºC, 50 ºC..... 92
Figura 4.21. Curva de escoamento para suspensões contendo polpa de umbu (10 ºBrix) e 1,00 % de goma xantana: 10 ºC, 20 ºC, 30 ºC, 40 ºC, 50 ºC..... 92
Figura 4.22. Curva de escoamento para suspensões contendo polpa de umbu e goma xantana a 30 ºC: 0,00 %, 0,25 %, 0,50 %, 0,75 %, 1,00 % - Efeito da adição de goma..... 93
Figura 4.23. Efeito da temperatura e conteúdo dos sólidos solúveis na viscosidade aparente da polpa de umbu. 98
Figura 4.24. Efeito da temperatura e concentração no índice de consistência..... 100
Figura 4.25. Efeito da temperatura e concentração na tensão inicial..... 100
Figura 4.26. Efeito da temperatura e da concentração no índice de comportamento de fluxo..... 101
Figura 4.27. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu (10 ºBrix) adicionada de 0,25% de goma xantana, nas temperaturas de 10ºC, 30ºC e 50ºC..... 102
Figura 4.28. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu (10 ºBrix) adicionada de 0,50% de goma xantana, nas temperaturas de 10ºC, 30ºC e 50ºC..... 103

Figura 4.29. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu (10 ºBrix) adicionada de 0,75% de goma xantana, nas temperaturas de 10ºC, 30ºC e 50ºC..... 103
Figura 4.30. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu (10 ºBrix) adicionada de 1,00% de goma xantana, nas temperaturas de 10ºC, 30ºC e 50ºC..... 104
Figura 4.31. Efeito da concentração goma xantana na polpa de umbu sobre os módulos de armazenamento e módulo de perda em função da freqüência, na temperatura de 30ºC: 0,25%, 0,50%, 0,75%, 1,00%..... 105
Figura 4.32. Tangente do ângulo de fase em função da freqüência em diferentes concentrações de sólidos solúveis, a 30ºC: 0,25%, 0,50%, 0,75%, 1,00%..... 106
Figura 4.33. Curva de escoamento para polpa de umbu adicionada de 1% de goma gelana, ajustadas pelo modelo de Herschel-Bulkley: 10ºC, 30ºC, 50ºC..... 107
Figura 4.34. Viscosidade aparente em função da taxa de deformação para as amostras de umbu: U; umbu adicionado de hidrocolóide gelana UG; e xantana UX à 30ºC. 109
Figura 4.35. Módulo de armazenamento (símbolos cheios) e módulo de perda (símbolos vazios) em função da freqüência, na temperatura de 30ºC: Umbu, umbu/xantana 1%, umbu/gelana 1%..... 110
Figura 4.36. Tangente do ângulo de fase em função da freqüência: Umbu, umbu/xantana 1%, umbu/gelana 1%..... 111
Figura 4.37. Gráfico Cole-Cole para polpa de umbu, umbu com 1 % de xantana e umbu com 1% de gelana. 112
Figura 4.38. Curva de escoamento para o extrato hidrossolúvel de soja: 10 ºC, 20 ºC, 30 ºC, 40 ºC, 50 ºC. 114
Figura 4.39. Curva de escoamento para o extrato hidrossolúvel de soja com adição de 12% de açúcar: 10ºC, 20ºC, 30ºC, 40ºC, 50ºC. 115
Figura 4.40. Curva de escoamento para o extrato hidrossolúvel de soja com adição de 12% de açúcar e 25% de polpa de umbu: 10ºC, 20ºC, 30ºC, 40ºC, 50ºC..... 115
Figura 4.41. Curva de escoamento p/ o extrato de soja c/ adição de 12% de açúcar

e 25% de polpa de umbu e 0,25% de xantana: 10ºC, 20ºC, 30ºC, 40ºC, 50ºC. 116
Figura 4.42. Curva de escoamento para o extrato e as bebidas a base de soja: soja, soja + açúcar, soja + açúcar + polpa, soja + açúcar + polpa + goma..... 117
Figura 4.43. Scores médios obtidos para os testes sensoriais de "leite de soja" puro e preparado com adição de polpa de umbu e açúcar. Teste 1 - Controle (0,0); A1 (10,25); A2 (10,30); A3 (12,25); A4 (12,30)..... 122
Figura 4.44. Scores médios obtidos para os testes sensoriais de "leite de soja" puro e preparado com adição de açúcar e polpa de fruta mais açúcar. Teste 2 - Leite de soja puro; Leite de soja com a adição de açúcar; Leite de soja com adição de açúcar, polpa de umbu e goma xantana..... 123

NOMENCLATURA

a_1, a_2, a_3	Constantes de ajuste de equações
B	ºBrix
C	concentração de sólidos solúveis
De	número de Débora
E_a	energia de ativação (cal/gmol)
F	força
G	módulo de cisalhamento rígido
G' (ω)	módulo de armazenamento de energia (Pa)
G" (ω)	módulo de dissipação (Pa)
G* (ω)	módulo complexo (Pa)
J (t)	Compliança (Pa)
J_e^o (t)	Compliança recuperável (Pa)
K	índice de consistência ($Pa.s^{-1}$)
K_{0C}	tensão inicial (Pa)
K_C	viscosidade plástica de Casson (Pa.s).
K_M	índice de consistência de Mizrahi & Berk ($Pa.s^{-1}$)
K_{0M}	tensão inicial de Mizrahi & Berk (Pa)
n	índice de comportamento de fluxo
R	constante universal dos gases (1,9872 cal/g.mol.K)
T	temperatura (ºC ou K)
V	velocidade
$\dot{\gamma}$	taxa de deformação (s^{-1})
γ	deformação
δ	ângulo de fase (rad)
η	viscosidade aparente (Pa.s)
η*	Viscosidade Complexa (Pa.s)
η'	viscosidade dinâmica ou real (Pa.s)
η"	viscosidade imaginária (Pa.s)
λ	tempo de relaxação (s)
τ	tensão de cisalhamento (Pa)
τ_o	tensão inicial de cisalhamento (Pa)
ϖ	freqüência angular (rad/s)

RESUMO

Pereira, Edimir Andrade. **Influência de Biopolímeros no Comportamento Reológico de Polpa de Umbu**. Orientadoras: Maria Cristina Antun Maia e Soraia Vilela Borges. Rio de Janeiro. UFRJ/EQ. CAPES/FUJB, 2007. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos).

Nesse trabalho foi determinado o comportamento reológico de polpa de umbu em diferentes concentrações de sólidos solúveis (10, 15, 20 e 25 ºBrix) e de goma xantana (0,25, 0,50, 0,75 e 1 %) e gelana (1 %) dispersas na polpa da fruta, como também da bebida desenvolvida à base de extrato hidrossolúvel de soja e polpa de umbu, através de testes em cisalhamento estacionário (10, 20, 30, 40 e 50 ºC) e oscilatório (10, 30 e 50 ºC). Os experimentos foram conduzidos em reômetro Haake RS600 usando geometria de cilindros concêntricos (polpa de umbu), e cone e placa (gomas em polpa de umbu). Os testes em estado estacionário foram conduzidos a uma taxa de 0,1 até 1000 s^{-1}. Utilizando os ensaios na região de viscoelasticidade linear foram determinados os espectros mecânicos, módulo de estocagem (G'), módulo de perda (G"), das amostras a uma freqüência de 0,01 a 100 Hz. As curvas de escoamento das amostras foram ajustadas pelos modelos de Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waele, usados para descrever o comportamento reológico no intervalo de taxa de deformação estudado. Os valores obtidos para o índice de comportamento ($n < 1$) confirmam a pseudoplasticidade das amostras. As amostras apresentaram tensão inicial e tixotropia. Em sistemas de polpa de fruta, a xantana é mais pseudoplástica que a gelana. O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente foi descrito por uma equação do tipo Arrhenius e discutida em termos de energia de ativação. Os ensaios oscilatórios refletem o caráter de gel fraco, o módulo de estocagem maior do que o módulo de perda ($G' > G"$). A concentração da polpa e a adição de goma aumentaram os valores dos módulos dinâmicos. Foi estudada a viabilidade da elaboração de bebida à base de extrato hidrossolúvel de soja com adição de polpa de umbu e realizados testes de preferência e análises reológicas em estado estacionário.

ABSTRACT

Pereira, Edimir Andrade. **Influência de Biopolímeros no Comportamento Reológico de Polpa de Umbu**. Orientadoras: Maria Cristina Antun Maia e Soraia Vilela Borges. Rio de Janeiro. UFRJ/EQ. CAPES/FUJB, 2007. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos).

In this study the rheological behavior properties of umbu fruit pulp in different concentrations of soluble solids (10, 15, 20 and 25 ºBrix), xanthan (0.25, 0.50, 0.75 and 1.00%) and gellan (%) gums dispersed in the pulp of the fruit, as well as the developed drink with hidrossoluble soy extract and umbu pulp, through shear flow (10, 20, 30, 40 and 50 ºC) and oscillatory shear (10, 30 and 50 ºC). The experiments were carried with use a controlled stress Rheometer Haake RS600, using concentric-cylinder with pulp and cone-plate with gums in umbu pulp. Shear flow tests were conducted in range of 0.1-1000 s^{-1}. Using oscillatory test in the lineal area of answer the mechanical spectra, storage (G') and loss (G") module, samples in the range frequency of 0.01-100 Hz. Rheological characterizations showed a good fit to Herschel-Bulkley and Ostwald-of-Waele models. The values presented by behavior index confirm the pseudoplastic behavior of samples, and residual stress and thixotropic was verified. In pulp fruit systems to xanthan gum showed more pseudoplasticity than gellan, with small yield stress. Moreover, the effect of the temperature on apparent viscosity of was described by Arrhenius equation and discussed in terms of activation energy. In oscillatory tests samples behaved as weak gel, storage module was greater that loss module (G' > G"), and the concentration increased dynamic modules values. It was studied the viability of the proposed drink the “soymilk” added umbu fruit pulp and accomplished analyses rheological and sensorial preference.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil conta com uma imensa área agricultável e uma variedade de solos e climas que o tornam apto a explorar praticamente todas as espécies de culturas que possuam importância econômica. Dentre estas, as frutas de clima tropical tem mercado garantido e alto valor comercial, principalmente nos países do hemisfério norte.

Atualmente, observa-se uma nova tendência no consumo de alimentos, uma demanda cada vez maior por produtos com propriedades nutricionais e/ou funcionais. O "flavour" exótico de frutos tropicais é de interesse crescente para consumidores do mundo todo. Mesmo com esse crescente interesse, inúmeras espécies frutíferas de excelentes propriedades nutricionais e sensoriais, com grande potencial de industrialização, continuam sem um destaque maior.

Enquanto a população da região semi-árida brasileira se empenha em produzir, a um alto custo, frutíferas irrigadas e outras culturas, a natureza oferece uma possibilidade de produção no sequeiro, o umbuzeiro (*Spondias tuberosa,* Arruda Câmara), uma das árvores mais importantes do Nordeste brasileiro; no período de safra, a colheita e a venda de seus frutos torna-se uma importante fonte de renda e de absorção de mão-de-obra para a população local. Apesar das qualidades apresentadas pelo produto, pouco se tem feito em pesquisa sobre essa fruteira, que possui um grande potencial, de modo a torná-la uma cultura economicamente viável, com posição definida entre as demais frutas nativas.

A preservação de frutos na forma de polpa congelada resulta num produto com excelentes características quanto à cor, sabor e aroma. Além disso, a polpas de frutas são muito utilizadas como insumo na formulação de novos produtos, tais como, sucos, néctares, geléias, sobremesas, bebidas, frapês, sorvetes, etc. Um dos maiores problemas na produção de sucos e polpas é assegurar a estabilidade da dispersão. A textura desses alimentos processados pode ser controlada pela adição de hidrocolóides, prática que vem sendo adotada nesses últimos anos em algumas indústrias. No caso de produtos congelados, a adição de um hidrocolóide, atuando como espessante, proporcionaria uma melhor textura,

devido à redução na taxa de crescimento de cristais de gelo evitando uma possível recristalização do gelo, quando o produto é submetido a oscilações de temperatura durante a estocagem e transporte.

Em bebidas de frutas de baixas calorias, a perda de consistência é geralmente compensada pela adição de agentes espessantes, que contribuem para a estabilidade do produto final (PASTOR, CONSTEL & DÚRAN, 1996).

As gomas poderiam ser consideradas como um ingrediente funcional por aumentar a porcentagem de fibras dietéticas totais no organismo, melhorando a saúde do consumidor. Na indústria de alimentos, as gomas são usadas em baixas concentrações, e usualmente não contribuem para o aroma, paladar ou valor nutricional do produto.

O extrato hidrossolúvel de soja é uma bebida feita a partir do feijão de soja é uma ótima alternativa ao leite de vaca e uma boa fonte de proteínas. É de fácil digestão, não contém colesterol e tem menos gordura do que o leite. A utilização de frutos na elaboração de produtos alimentícios em escala industrial aliado à tendência atual de busca e identificação de novos produtos à base de frutas tropicais e a elaboração de bebidas à base de soja enriquecida com polpas é, portanto, uma alternativa viável para estimular o consumo de produtos de soja, que são fontes protéicas nutritivas, econômicas e disponíveis no mercado.

O conhecimento do comportamento reológico da polpa, do suco concentrado ou não e/ou adicionado de hidrocolóides é fundamental em engenharia. O efeito da temperatura e da concentração nas propriedades de transporte precisa ser conhecido para o entendimento e dimensionamento de operações unitárias, tais como, tratamento térmico e concentração. A definição de modelos adequados à descrição de seu escoamento é necessária no projeto de tubulações, sistemas de bombeamento, sistemas de agitação e mistura, entre outras aplicações. A crescente necessidade e procura dos parâmetros reológicos para diversos fluidos manipulados nas indústrias de processamento está ligada também à grande

importância econômica que esses fluidos e equipamentos de manipulação representam atualmente.

A matéria prima brasileira apresenta características diferentes daquelas produzidas em outras partes do mundo, principalmente no que diz respeito aos teores de polpa e de açúcares que vão influenciar diretamente no teor de sólidos solúveis e insolúveis e, consequentemente, na viscosidade (VIDAL, 1997). Daí a importância da caracterização reológica de produtos brasileiros, considerando a influência dos muitos fatores que afetam as propriedades de escoamento. Os dados de viscosidade aparente em função da temperatura e da concentração são imprescindíveis não só para o dimensionamento de novas instalações industriais, mas também à avaliação adequada e tecnológica e do potencial de desempenho de unidades já instaladas que, dimensionadas para processar outras matérias primas, venham a ser utilizadas na produção de polpa de umbu.

1.2. OBJETIVOS

Diante do potencial de industrialização de um produto com alta qualidade e grande aceitação no mercado, pelo paladar exótico pouco explorado da polpa de umbu e conseqüente escassez de informações a respeito das propriedades reológicas do produto, é que o presente trabalho foi proposto e teve como objetivos:

1.2.1. Geral

Estudar o comportamento reológico da polpa, em estado estacionário e dinâmico, de polpa de umbu "*in natura*" e concentrada, da adição de gomas xantana e gelana a polpa de umbu e de uma bebida desenvolvida à base de extrato hidrossolúvel de soja (EHS) e polpa de umbu.

1.2.2. Específicos

- Avaliar o efeito da concentração de sólidos solúveis (10, 15, 20 e 25 ºBrix) no comportamento reológico de polpa de umbu.
- Investigar a influência da adição de goma xantana (0,25, 0,50, 0,75 e 1,00 %) na polpa de umbu (10 ºBrix).
- Analisar o efeito da temperatura nos parâmetros reológicos nas amostras em estado estacionário (10, 20, 30, 40 e 50 ºC) e dinâmico (10, 30 e 50 ºC).
- Comparar o efeito de diferentes gomas (xantana e gelana) quando adicionadas a polpa de umbu.
- Verificar o ajuste de modelos reológicos na predição do comportamento em diferentes taxas de deformação, temperaturas e concentrações.
- Elaborar uma bebida a base de extrato hidrossolúvel de soja e determinar se existe ou não preferência entre as amostras e verificar o comportamento reológico em regime estacionário.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Umbu

O umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) é uma planta frutífera, xerófila, caducifólia, da família das anacardiáceas. Possui uma vida bastante longa, vivendo cerca de 100 anos. A sobrevivência é assegurada pelos xilopódios ou batatas, nas raízes, com armazenamento de água, mucilagem, glicose, tanino, amido, ácidos, etc., que nutrem o vegetal (MENDES, 1990). O umbuzeiro é um patrimônio natural da região semi-árida do Brasil devido à sua extraordinária resistência aos períodos secos (ANDRADE, 1989). Ao perder as folhas, o umbuzeiro passa a um estado de dormência, onde os xilopódios desempenham papel fundamental na sobrevivência da espécie. O padrão fenotípico do umbuzeiro é constituído por árvores com altura de 6,3 m, seis ramos principais, copa arredondada de 11 m de diâmetro (SANTOS, 1997).

No Brasil colonial o umbu, também chamado de imbu, que é uma corruptela da palavra tupi-guarani "y-mb-u", que significa "árvore-que-dá-de-beber". (BUENO, 1984).

O umbuzeiro (Figura 2.1.) é originário dos chapadões semi-áridos do nordeste brasileiro; nas regiões do Agreste (Piauí), Cariris (Paraíba), Caatinga (Pernambuco e Bahia) a planta encontrou boas condições para seu desenvolvimento, se adaptando ao clima, aos solos, às irregularidades de chuvas e tendo uma grande produção mesmo em anos de estiagem prolongada O umbuzeiro tem sua maior ocorrência em locais com pluviosidade entre 400 e 800 mm, chuvas de janeiro a maio, temperatura do ar variando de 12 a 38 ºC, umidade relativa de 30 a 90 % e insolação anual entre 2.000 a 3.000 horas (SEAGRI, 2001).

Figura 2.1. Árvore do umbuzeiro

A frutificação ocorre em grande quantidade no período chuvoso, chegando uma única planta a produzir mais de 300 kg de frutos por safra GUERRA (1981). A produção anual dos frutos do umbuzeiro foi de 9070 toneladas em 2005 (IBGE, 2007).

O fruto (Figura 2.2.) é de formato oval arredondado, com comprimento médio de 3 cm, casca de cor amarelo-esverdeada, suculento e de sabor agridoce, com peso variando entre 10 e 20 gramas (SILVA & DONATO, 1993). De acordo com MENDES (1990), é constituído, em média por 22 % de casca (epicarpo), 68% de polpa (mesocarpo) e 10 % de caroço (endocarpo).

Figura 2.2. Frutos de umbu

A atividade extrativista desenvolvida pelos pequenos agricultores da região semi-árida do Nordeste é de grande importância para a absorção de mão-de-obra e geração de renda, como também na fixação do homem ao campo, visto que, os agricultores que colhem o umbu, normalmente, permanecem em suas comunidades, à espera da próxima safra do umbuzeiro (CAVALCANTI & RESENDE, 2002).

A composição físico-química e química da polpa de umbu maduro é apresentada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Caracterização físico-química e química da polpa de umbu maduro

Composição	ALMEIDA (1999)	FERREIRA et al. (2000)	POLICARPO et al. (2003)	BORGES et al. (2004)
pH	2,49	2,21	2,72	2,59
Ácido asc. (mg/100g)	-	13,31	-	-
Acidez (% ác. cítrico)	1,07	1,45	1,30	1,30
Sólidos solúveis (ºBrix)	10,00	10,03	8,00	-
Açúcares red. (% glicose)	3,64	3,61	2,67	2,67
Açúcares não red. (%)	3,80	2,50	0,46	0,42
Açúcares totais (%)	7,44	6,25	3,13	3,09
Cinzas (%)	-	0,53	-	-
Umidade (%)	-	91,33	-	-
Pectina total (mg/100g)	-	-	0,636	-

A lista contendo as principais espécies da Região Nordeste do Brasil organizada por SALAY (2005) apresenta a composição química do umbu.

Tabela 2.2. Composição química do umbu

Composição química (g/100g)	
Proteínas	0,60
Lipídeos	0,40
Carboidratos	10,60
Fibras	1,50
Ca	20,00 mg
P	14,00 mg
Fe	2,00 mg
Retinol	30,00 mcg
Vitamina B1 e B2	0,04 mg
Vitamina C	33,00mg
Niacina	0,50 mg

Os frutos podem ser aproveitados de diversas formas: consumidos *in natura*, na forma de sucos, sorvetes e, principalmente, como umbuzada (polpa de umbu semi-maduro cozida com leite e açúcar) e pode ainda ser aproveitado na alimentação animal (SOUSA & CATÃO, 1970). De acordo com MENDES (1990), sua industrialização na forma de doce, vinagre, geléia, vinho, acetona, concentrado para sorvete e suco e, especialmente na forma de passa, apresenta-se, no momento como a maior expectativa para exploração e expansão desta cultura.

Vários estudos têm sido realizados para viabilizar a conservação e o aproveitamento industrial do umbu: suco (ANJOS, CAVALCANTI & COSTA, 2002); suco clarificado (PALLET et al, 2005) néctar misto de cajá e umbu (MATTIETTO, 2005), geléia e compota (FOLEGATTI et al., 2003); doce em massa de umbu (XAVIER, 1999, CAVALCANTI et al., 2000; MARCUSSI et. al, 2003; MARTINS et al., 2004), umbu em pó (CAVALCANTE-MATA, MEDEIROS & DUARTE, 2005), umbuzada (FONTAN, 2006).

A composição das sementes de umbu foi determinada por BORGES et al. (2007), cujo conteúdo de lipídios foi 55% (69% insaturado), proteína 24% e alguns minerais (P, K, Mg, Fe e Cu), podendo ser utilizados para o enriquecimento de alimentos ou como fonte de óleo comestível.

2.2. A soja

A soja pertence à família Fabaceae (leguminosa), assim como o feijão, a lentilha e a ervilha. A palavra soja vem do japonês *shoyu*. A soja é nativa do sudoeste da Ásia.

O Brasil é o segundo maior produtor de soja com uma produção anual superior a 50 milhões de toneladas em 2005 (IBGE, 2007).

A soja é uma matéria-prima de alto valor para a agroindústria brasileira, pois além do seu baixo custo, possui nutrientes importantes para a obtenção de alimentos funcionais. A soja e seus derivados têm recebido atenção dos pesquisadores, principalmente devido à quantidade e qualidade de sua proteína, sendo considerada, dentre os vegetais, o melhor substituto de produtos de origem animal. Além disso, a soja é importante fonte de outros compostos, como fibras, oligossacarídeos com potencial prebiótico, como rafinose e estaquiose, vitaminas e minerais.

A soja é rica em proteínas, possui isoflavonas e outras substâncias capazes de atuar na prevenção de doenças crônico-degenerativas. Epidemiologistas focalizaram sua atenção na soja e seus derivados porque as taxas de problemas cardiovasculares, sintomas decorrentes da menopausa, câncer no seio e de próstata e osteoporose, entre outras doenças, eram muito menores em países orientais do que as taxas de países ocidentais, com baixo consumo de fitoestrógenos (isoflavonas) da soja. Sua atividade é semelhante aos hormônios femininos, dentre os quais a genisteína e a daidzeína, que são considerados vitais para a saúde da mulher. Quando ingeridos, os fitoestrógenos da soja sofrem transformação

estrutural no decorrer da digestão e são convertidos numa forma fraca de estrógeno (FREITAS & MORRETI, 2006). As isoflavonas podem também agir na redução da incidência de doenças do coração e nas disfunções das taxas colesterolêmicas (RODRIGUES, GOZZO e MORETTI, 2003).

Em média, a soja possui 40% de proteínas, 20% de lipídios (óleo), 5% de minerais e 34% de carboidratos (açúcares como glicose, frutose e sacarose, fibras e os oligosacarídeos como rafinose e estaquiose). A soja não possui amido (EMBRAPA, 2007).

Soja é um alimento bastante versátil, cujos produtos têm diversas aplicações. De acordo com ARAÚJO, CARLOS & SEDYAMA (1997) a adição de proteínas de soja aos alimentos industrializados apresenta diversas vantagens tecnológicas, como o aumento de retenção de umidade, melhoria da textura, ligamento, coesão e rendimento final, retenção dos atributos de qualidade em geral, maior teor protéico, cor agradável, maior vida de prateleira, melhor palatabilidade, melhor aparência e valor nutricional.

A inclusão da soja e seus derivados como parte da dieta diária é altamente recomendável, pois contribuem para prover os nutrientes necessários para o desenvolvimento, crescimento e manutenção do organismo, além de fornecer componentes, tais como antioxidantes naturais, isoflavonas e fosfolipídios, entre outros, que auxiliam no bem-estar físico, melhorando o funcionamento do organismo e prevenindo doenças crônico-degenerativas (FERREIRA, SANTOS & DO VALLE, 1986; MACFIE et al. 1989).

O extrato hidrossolúvel de soja (EHS), conhecido popularmente como “leite de soja”, é um dos derivados, não fermentados, obtido a partir do grão da leguminosa, sendo de fácil obtenção, mesmo domesticamente (MACFIE et al. 1989). O “leite de soja”, por ser uma bebida protéica de baixo custo, de bom valor nutritivo e de fácil obtenção, representa sem dúvida, importante alternativa para a nutrição humana em geral, particularmente, nos lugares onde o leite bovino é caro ou indisponível. Sua importância se torna ainda mais

evidente, uma vez que pode ser usado por pessoas alérgicas à lactose e/ou à proteína presentes no leite bovino (MIURA, BINOTTI & CAMARGO, 2000).

A aceitação inicial do "leite" de soja em nosso país foi problemática devido ao seu sabor, considerado desagradável. No entanto, estudos realizados posteriormente, conseguiram anular os efeitos da enzima chamada lipoxigenase, responsável pelo sabor amargo da soja (KISS, 2000), com o emprego de tratamento térmico que inativa essa enzima (EMBRAPA, 2007). Com o processo de melhoramento genético foram eliminadas enzimas responsáveis pelo sabor desagradável do "leite" de soja, tornando-o saboroso (MOREIRA, 2001).

Como o “leite” de soja não contém lactose nem colesterol é ideal para portadores de intolerância à lactose ou indivíduos com indicação de ingesta de colesterol reduzida. Constitui boa fonte protéica, podendo ser utilizado na prevenção e correção da desnutrição infantil (DUTRA DE OLIVEIRA, et al., 1996). O produto industrializado pode ser encontrado no Brasil na forma original (sem aromatização), aromatizado com diferentes sabores e, ainda, adoçado com sacarose ou edulcorantes como a sucralose (TASHIMA & CARDELLO 2003).

2.3. Hidrocolóides

Hidrocolóide, biopolímero ou goma é geralmente definido como qualquer polissacarídeo solúvel em água, proveniente de plantas ou metabólitos de microrganismos, que possuem a capacidade de contribuir no aumento da viscosidade e gelificação de produtos. As gomas alimentícias incluem galactomananas das sementes de guar e jataí; exsudados de plantas como a goma arábica e tragacanta; gomas derivadas de algas como ágar, carragena e alginatos; gomas derivadas da biossíntese microbiana como xantana e gelana e finalmente as gomas produzidas pela modificação de polissacarídeos naturais como a carboximetilcelulose (CMC), hidroxipropilmetilcelulose (HPMLC) e celulose microcristalina (MCC) (MA & BARBOSA-CÁNOVAS, 1993).

Os fatores mais relevantes na escolha de um hidrocolóide são: tipo de aplicação e aparência final do produto, propriedades óticas, custo, viscosidade, sabor, textura, odor, propriedades emulsificantes, compatibilidade com o sistema, estabilidade em distintas condições de estocagem, uso como conservantes e toxidade do produto (GLICKSMAN, 1969, citado por FREITAS, 2002).

O comportamento reológico dos hidrocolóides é de especial importância quando eles são usados para modificar os atributos de textura. É reconhecido que as propriedades reológicas desempenham uma função no processo de "design", avaliação e modelagem. Estas propriedades são algumas vezes mencionadas como indicador de qualidade do produto (ex.: indicação dos sólidos totais, ou mudanças no tamanho molecular). Dados reológicos são requeridos para cálculos em processos envolvendo fluxo de fluidos (ex.: bombeamento, extração, filtração, extrusão, purificação) e desempenham uma importante função nas condições de análise de fluxo em processos com alimentos tais como pasteurização, evaporação, secagem e processamento asséptico (MARCOTTE et al., 2001).

A viscosidade de hidrocolóides pode ser significantemente afetada por variáveis, tais como taxa de cisalhamento, temperatura, pressão e tempo de cisalhamento. Para fluidos newtonianos, a temperatura e pressão constantes, a viscosidade não varia com a tensão de cisalhamento. Para a maioria dos fluidos não-newtonianos, a temperatura e pressão constantes, a viscosidade diminui com o aumento da taxa de cisalhamento, dando origem a o que é conhecido como comportamento pseudoplástico ou *shear-thinning* (BARNES, HUTTON & WALTERS, 1989; RAO, 1977). A pseudoplasticidade representa uma modificação estrutural na qual o decréscimo na viscosidade é resultado do alinhamento que ocorre na substância (MARCOTTE et al., 2001). O oposto é o comportamento dilatante que apresenta um acréscimo na viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento.

Para reter mais partículas em suspensão e estabilizar o suco durante períodos mais prolongados, colóides hidrofílicos vêm sendo pesquisados. Hidrocolóides podem ser usados em alimentos em suspensão devido às suas propriedades reológicas: capacidade de

aprisionar água, regulação de propriedades reológicas e ionização em sistemas aquosos, levando à estabilidade de partículas insolúveis. A turbidez em sucos de frutas é causada por partículas com núcleo carregado positivamente em razão da presença de carboidratos e proteínas, envoltos por pectinas carregadas negativamente. Sendo as partículas do fruto carregadas com carga negativa, a adição de gomas com carga negativa supõe um aumento das forças eletrostáticas repulsivas entre as partículas. Além disso, quando as partículas absorvem a macromolécula (goma), a repulsão estérica pode aumentar, contribuindo para a suspensão da parte polposa (GENOVESE & LOZANO, 2001).

Os hidrocolóides podem atuar ainda como agentes de suspensão de floculação, ou emulsificantes. Dependendo da natureza química, podem apresentar propriedades adesivas ou produzir géis. Todas estas propriedades encontram aplicações em segmentos industriais variados como petrolífero, farmacêutico, alimentício, microbiológico, odontológico, cosméticos, tintas e de papel (FREITAS et al., 1996).

O uso de hidrocolóides na indústria de alimentos influencia na aparência e textura do produto, além de serem usados em produtos com redução total ou parcial de gordura, de forma a minimizar as alterações do produto.

O caráter altamente ácido da polpa de umbu e a presença de pectina, componente importante em reologia de frutas, podem influenciar significativamente nas interações moleculares da polpa adicionada de goma.

2.3.1. Goma Xantana

A xantana é um polissacarídeo aniônico de alto peso molecular, produzido, via fermentação, pelo cultivo da bactéria *Xanthomonas campestris* em meio contendo carboidratos.

A estrutura molecular (Figura 2.3) consiste em unidades β-D-glicose ligada nas posições 1,4. As cadeias laterais são compostas por uma unidade de ácido D-glucurônico

entre duas unidades de D-manose. As ramificações ocorrem em unidades alternadas de β-D-glicose, sendo a ligação com as unidades de manose do tipo O-3. A maioria das unidades de manose terminal contém um resíduo de ácido pirúvico enquanto as unidades mais próximas da cadeia principal carregam um grupo acetila em C-6 (NUTRA SWEET KELCO, 1999; TAKO & NAKAMURA, 1985). A proporção de acetato e piruvato podem variar de acordo com a linhagem da bactéria, das condições de fermentação e dos processos pós-fermentativos empregados para a recuperação do polímero (ROCHEFORT & MIDELMAN, 1987).

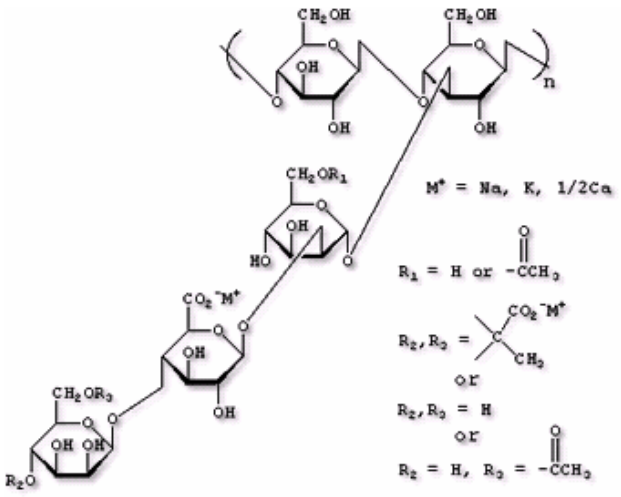


Figura 2.3. Estrutura molecular da goma xantana

A xantana é um polieletrólito não-gelificante que possui propriedades reológicas únicas, tais como alta viscosidade a baixas concentrações e baixas taxas de deformações, além de possuir forte peseudoplasticidade. Polieletrólitos são macromoléculas que contém um grande número de grupos ionizáveis que dão comportamento reológico e outras propriedades diferentes dos biopolímeros neutros (SILVA & RAO, 1992).

A xantana recebeu permissão de uso em alimentos pelo "Food and Drug Administration" – FDA em 1969 após exaustivos estudos que verificaram a não toxidade

da mesma. Esses estudos também verificaram a resistência à degradação no sistema digestivo (LOPES & ANDRADE, 1995).

Segundo KARZBAUER (1998) a goma xantana é completamente solúvel em água gelada ou quente, produz altas viscosidades em baixas concentrações e praticamente não sofrem influência do calor e variações de pH. Essa excelente estabilidade da xantana em função do pH é importante para aplicações em alimentos ácidos, como molhos para saladas e sistemas de frutas. É um estabilizante/espessante muito estável, mesmo em sistemas com alta atividade enzimática. Apesar de sua cadeia principal ser semelhante a celulose, ela não sofre quebra pela ação das enzimas celulases naturais e as enzimas produzidas por fungos só degradam as moléculas que apresentam conformação desordenada.

O comportamento pseudoplástico da goma xantana em solução resulta de complexos agregados moleculares formados por ligações de hidrogênio e pelo emaranhado do polímero, resultando numa estrutura em rede totalmente organizada que contribui para alta viscosidade em baixas taxas de cisalhamento. Com o aumento da taxa de cisalhamento, ocorre a degradação dessa rede de alinhamento das moléculas individuais pelo polímero na direção da força cisalhante. Entretanto, quando cessa o cisalhamento, os agregados voltam a se formar rapidamente (NUTRA SWEET KELCO, 1999).

Nos produtos congelados, que mostram sinerese após um ou dois ciclos de congelamento-descongelamento, a adição da goma xantana melhora a estabilidade do produto, devido às ligações com água livre. Isto limita o crescimento de cristais de gelo, resultando em uma melhor textura. No caso de bebidas, a xantana mantém a polpa de fruta em suspensão por um longo período de tempo, o que deixa a bebida “encorpada”, resultando em uma sensação mais agradável na boca, com liberação de “flavor”. Isto é interessante na produção de bebidas “diet”, onde o açúcar é totalmente, ou parcialmente trocado por adoçantes e a presença desse polímero melhora a consistência. Para produtos “light”, por exemplo, molho de salada, a xantana aumenta a viscosidade da fase aquosa estabilizando o sistema Para obter o escoamento desejado, a goma xantana é usada em combinação com outros hidrocolóides. O sinergismo entre hidrocolóides é de grande

interesse comercial, pois além de possibilitar novas funcionalidades, pode reduzir os níveis de polissacarídeos usados, reduzindo os custos (KATZBAUER, 1998).

2.3.2. Goma Gelana

A goma gelana é um polissacarídeo aniônico extracelular produzido pela fermentação da cultura pura de *Pseudomonas elodea* em meio contendo carboidrato. A goma tem estrutura linear contendo os monossacarídeos β-D-glicose, ácido β-D-glucurônico e α-L-ramnose em taxas molares de 2:1:1 (SANDERSON, 1990), ligados para uma estrutura primária consistindo da repetição de unidades linear de tetrassacarídeo. (Figuras 2.3. e 2.4).

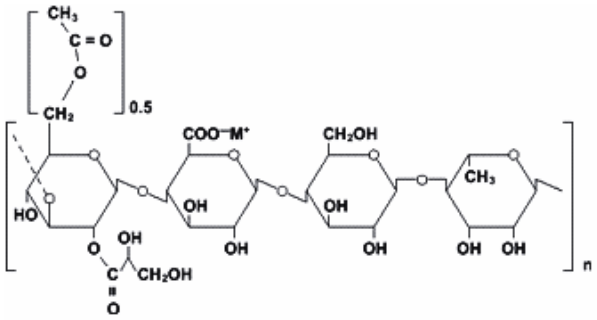


Figura 2.3. Estrutura da goma gelana nativa

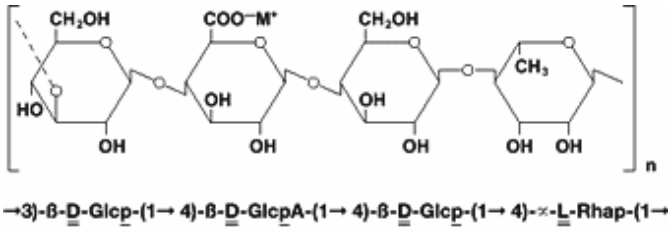


Figura 2.4. Estrutura da goma gelana

Este hidrocolóide multi-funcional pode ser usado a baixos níveis em uma grande variedade de produtos que requerem gelificação (principalmente), texturização, estabilização, suspensão, formação de filme e estrutura (SWORN et al., 1995). Forma géis fortes em concentrações tão baixas quanto 0,05%, podendo fornecer uma ampla faixa de texturas (PENNA, 2002)

Esta goma precisa ser aquecida para se dissolver e necessita de cátions para formar a gelificação quando a solução esfria. A estabilidade ao ácido e ao calor também caracteriza este biopolímero. Em 1990 recebeu aprovação do FDA para o uso em alimentos (PENNA, 2002).

2.3.3. Pectina

As pectinas ou substâncias pécticas consistem em complexos polissacarídicos aniônicos (CARDOSO, COIMBRA & DA SILVA, 2003), que se compõem principalmente de ácidos poligalacturónicos coloides (poliurónidos derivados do ácido galacturónico), obtido por extração aquosa de plantas apropriadas, normalmente fruta cítrica ou maçãs (FU & RAO, 2001).

A estrutura molecular da pectina, esquematizada na Figura 2.5. consiste de uma cadeia principal linear de moléculas de ácido D-galacturônico principalmente esterificadas com metanol unidas por ligações α (1$\rightarrow$4) e de L-ramnose ligada a cadeia principal em α (1$\rightarrow$2) (LOPES DA SILVA ; GONCALVES & RAO M.A., 1994). Açúcares neutros, tais como arabinose, galactose e ramnose podem ser constituintes integrantes da cadeia péctica principal ou podem estar agregados como cadeia secundária. Esses constituintes afetam a conformação da pectina (CHOU, PINTAURO & KOKIN, 1991).

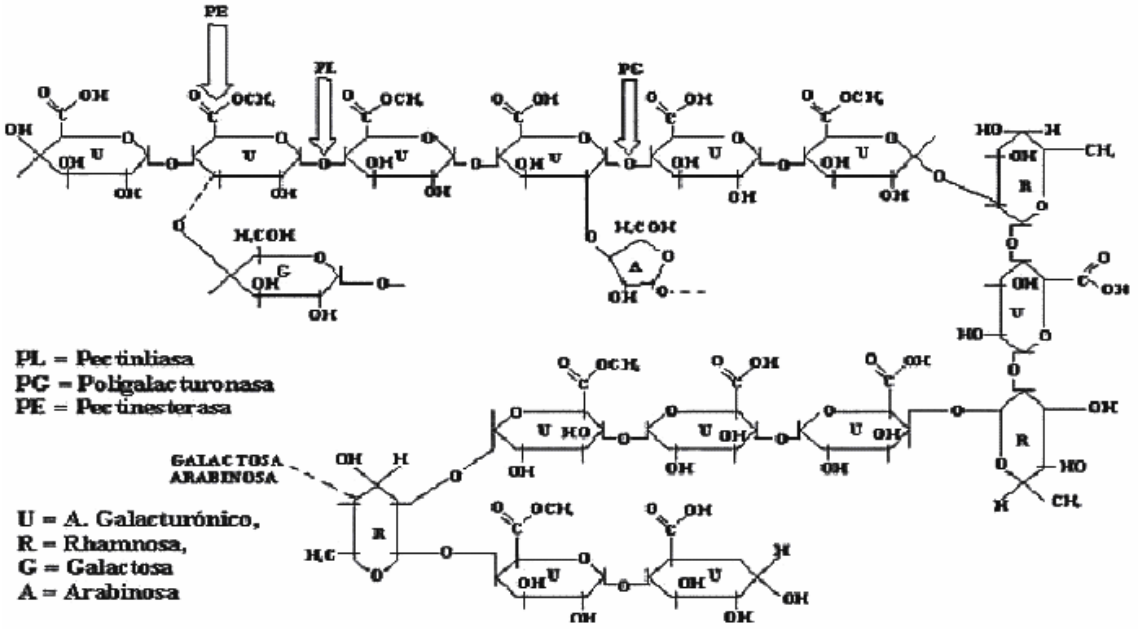


Figura 2.5. Estrutura molecular da pectina (Fonte: CAMPOS, 2001)

O grau de metoxilação (ou grau de esterificação) é a medida da proporção dos grupos de ácido galacturônico metilados em relação ao total de grupos de ácido galacturônicos presentes na molécula de pectina e é usado como critério de classificação em pectinas de alto metoxi (HM) e de baixo metoxi (LM), dependendo se a molécula contém acima ou abaixo de 50% dos seus grupos carboxilícos esterificados. A proporção entre grupos metila esterificados e grupos carboxílicos na cadeia principal determinam o tempo e as condições de gelificação e a força do gel de pectina. Pectinas LM requerem controle somente da quantidade de íons de cálcio para formar géis. Os géis resultantes são termo-reversíveis, mais macios e mais elásticos do que os obtidos de pectinas HM ou ágar. Pectinas HM são consideradas mais importantes e são amplamente usadas como agentes geleficantes na produção de geléias e produtos de confeitaria. Esta pectina é dependente das condições do valor do pH (2,0 – 3,5) e nível de sólidos solúveis de 55 % ou maiores para gelificação, que é formada não pela presença do cálcio, mas pelo resfriamento em presença de ácido e açúcar (PENNA, 2002).

As pectinas são comumente usadas na formulação de alimentos, principalmente como agente de gelificação. Entretanto, como são componentes importantes que formam o material estrutural da parede celular dos vegetais eles podem ser encontrados na composição de vários alimentos líquidos e contribuem para o comportamento reológico (DA SILVA, GONÇALVES & RAO, 1994).

Vários trabalhos têm estudado as propriedades das dispersões de pectina em baixos graus de dissociação dos grupos carboxilícos (baixos pH). Nestas condições algumas dificuldades podem aparecer na incerteza da determinação do grau de dissociação e da contribuição polimérica para a força iônica do sistema, e também da precipitação que pode ocorrer em pH baixo. Entretanto, estas condições são freqüentemente encontradas de sucos de frutas e vegetais que sempre são responsáveis pela indesejável turvação (ROMBOUTS & PILNIK, 1978).

2.4. A Reologia e a Textura

Reologia é uma palavra de origem grega composta de, *rhéos* fluir, escoar e *logia* estudo (BAPTISTA, 1991). É definida como a ciência que estuda a resposta de um material à aplicação de uma tensão ou deformação (TOLEDO, 1991), ou seja, a ciência da deformação de objetos sob a influência de forças aplicadas (FELLOWS, 2006).

O termo textura, inicialmente, estava relacionado somente a alimentos sólidos, e os termos viscosidade e consistência eram usados para líquidos e semi-sólidos, respectivamente. Porém, a partir da década de 70, o termo textura tem sido definido como atributo sensorial primário tanto para sólidos como para semi-sólidos e líquidos.

De acordo com FELLOWS (2006), a textura dos alimentos tem uma influência substancial na percepção da qualidade pelos consumidores. Durante a mastigação, informações sobre as modificações da textura do alimento são transmitidas ao cérebro pelos sensores da boca, pela audição e pela memória para construir uma imagem das propriedades de textura do alimento. Isso pode ocorrer em algumas fases:

- Uma avaliação inicial da dureza, da capacidade de quebrar e da consistência durante a primeira mordida;

- Uma percepção da mastigabilidade, da adesividade e da gomosidade durante a mastigação e da umidade, da oleosidade do alimento, além de uma avaliação do tamanho das partículas e geometria dos pedaços individuais do alimento;

- Uma percepção da taxa na qual o alimento se quebra durante a mastigação, dos pedaços formados, da liberação ou absorção de umidade ou de qualquer cobertura, na boca e na língua.

A textura, portanto é um dos fatores mais importantes entre os que afetam a preferência e aceitação dos alimentos por parte dos consumidores. No entanto, é difícil definir qual é a textura correta de um alimento, uma vez que não existem texturas boas ou ruins, mas sim a preferência dos consumidores.

2.4.1. Comportamento reológico de fluidos em estado estacionário

Quando um material sofre estresse ele se deforma, e a taxa e o tipo de deformação caracterizam suas propriedades reológicas (FELLOWS, 2006).

O campo da reologia estende-se desde a mecânica dos fluidos newtonianos até a elasticidade de Hooke (Figura 2.6) (BIRD et al., 1960 citado por BEZERRA, 2000).

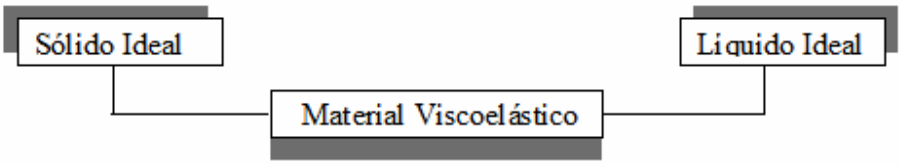


Figura 2.6. Classificação dos materiais segundo a relação entre tensão aplicada e a deformação produzida.

Quando uma tensão (τ) é exercida sobre um corpo, este tenderá a sofrer uma deformação (γ). A Figura 2.7 ilustra a deformação sofrida por um corpo, onde A é a área, F a força aplicada e V a velocidade.

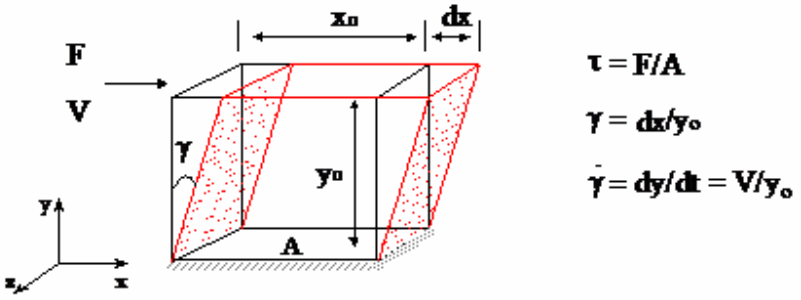


Figura 2.7. Deformação por cisalhamento

Os sólidos ideais, quando submetidos a pequenas deformações, recuperam sua forma quando essa tensão é cessada. Os fluidos ideais deformam-se irreversivelmente quando neles são aplicadas tensões, permitindo-os escoar.

Quando um sólido de Hooke é deformado por tensões cisalhantes, o módulo cisalhante ou de rigidez (G) é dado pela Equação 2.1:

$$\tau = G\gamma \tag{2.1}$$

Isaac Newton introduziu o conceito de viscosidade (η), dando atenção para líquidos (água e óleos) e apresentou hipóteses associadas com escoamento simples de fluidos entre duas placas paralelas. A viscosidade é sinônimo de atrito interno e é a medida da resistência ao escoamento entre camadas de moléculas do fluido. Para um fluido Newtoniano a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação (Equação 2.2):

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \tag{2.2}$$

Os fluidos reais são, portanto, divididos em newtonianos e não newtonianos. Na Figura 2.8 é apresentado um diagrama com a classificação dos fluidos.

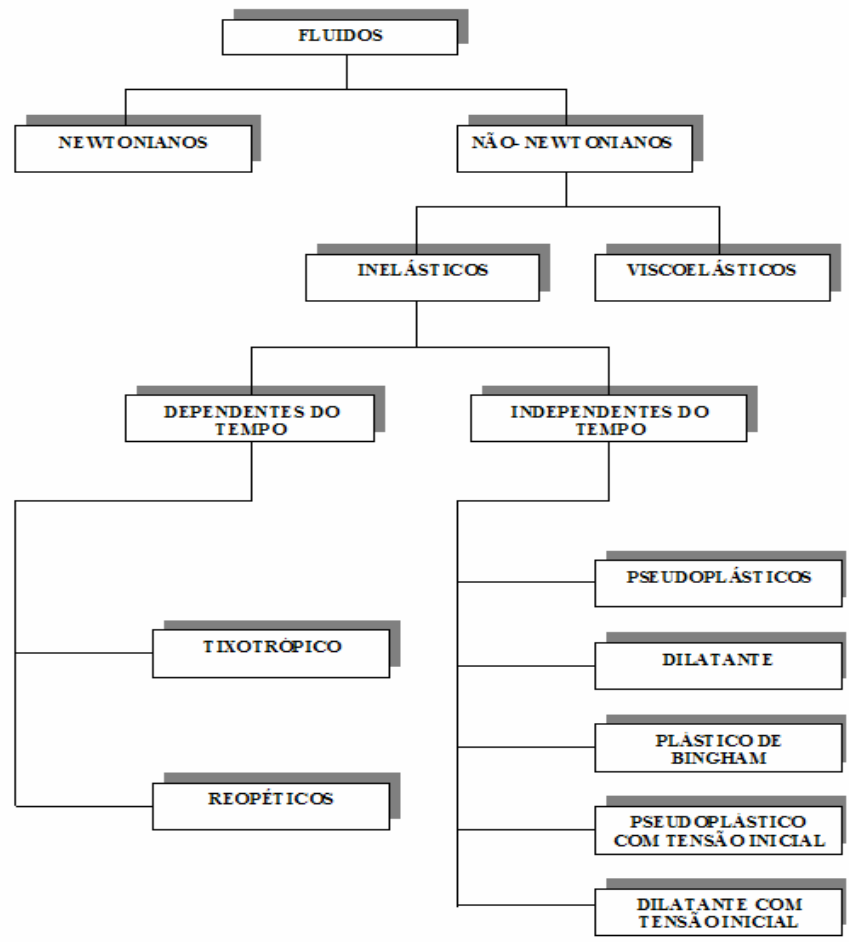


Figura 2.8. Classificação do comportamento reológico de fluidos (STEFFE, 1996).

2.4.1.1. Fluidos newtonianos

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

Na Figura 2.9. são apresentados os diagramas característicos de fluidos que apresentam o comportamento Newtoniano.

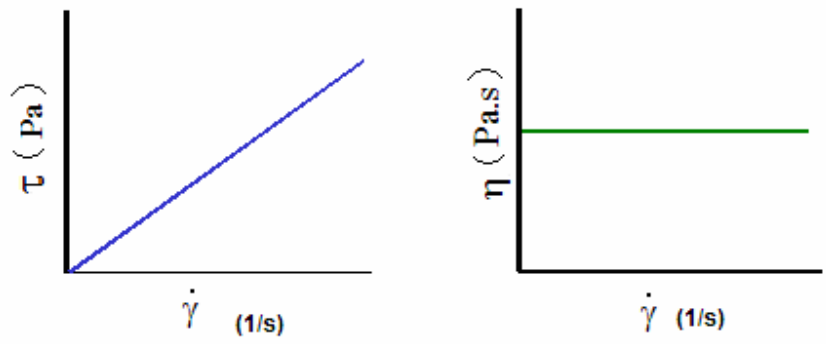


Figura 2.9. Diagramas característicos para fluidos Newtonianos

Fluidos que apresentam comportamento newtoniano são todos os gases, líquidos de baixo peso molecular e soluções aquosas diluídas de sais e açúcares. Dentre os alimentos, tem comportamento newtoniano, por exemplo: óleos, bebidas alcoólicas, refrigerantes, leite, cervejas, vinhos, sucos clarificados de maçã e uva (RAO, 1986), desde que submetidos a situações de taxa de deformação moderada.

2.4.1.2. Fluidos não-newtonianos

Todos os fluidos que não exibem comportamento descrito pela Equação (3) podem ser chamados de não-newtonianos. A essa categoria pertencem a maioria das soluções de macromoléculas e suspensões (RAO, 1986). Neste caso, as interações entre os componentes dos fluidos dependem e afetam a taxa de deformação causada por forças externas.

Na caracterizacão de fluidos não-newtonianos pode ser usada a viscosidade aparente (η_a) a uma taxa de deformação específica:

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \tag{2.3}$$

Os fluidos não-newtonianos podem ser classificados como dependentes ou independentes do tempo.

2.4.1.2.1. Fluidos não-newtonianos independentes do tempo

Nesses fluidos, a taxa de deformação é função somente da tensão de cisalhamento. A Figura 2.10. representa as diferentes curvas de escoamento para esta classe de fluidos.

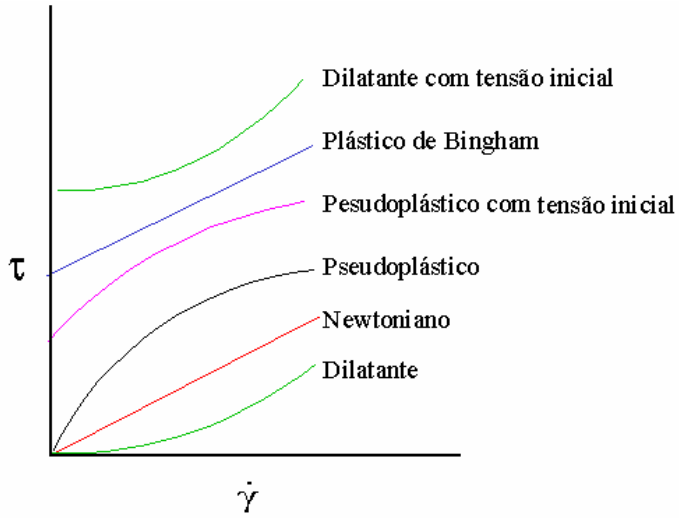


Figura 2.10. Curvas de escoamento para fluidos independentes do tempo

2.4.1.2.2. Fluido não-newtonianos sem tensão inicial

- **Fluidos pseudoplásticos ou *shear thinning***

Nesse grupo está a maioria dos fluidos de componentes não-newtonianos. São fluidos independentes do tempo, sem tensão residual, que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais. Para os fluidos pseudoplásticos, a taxa de acréscimo na tensão de cisalhamento diminui com o aumento da taxa de deformação (Figura 2.11).

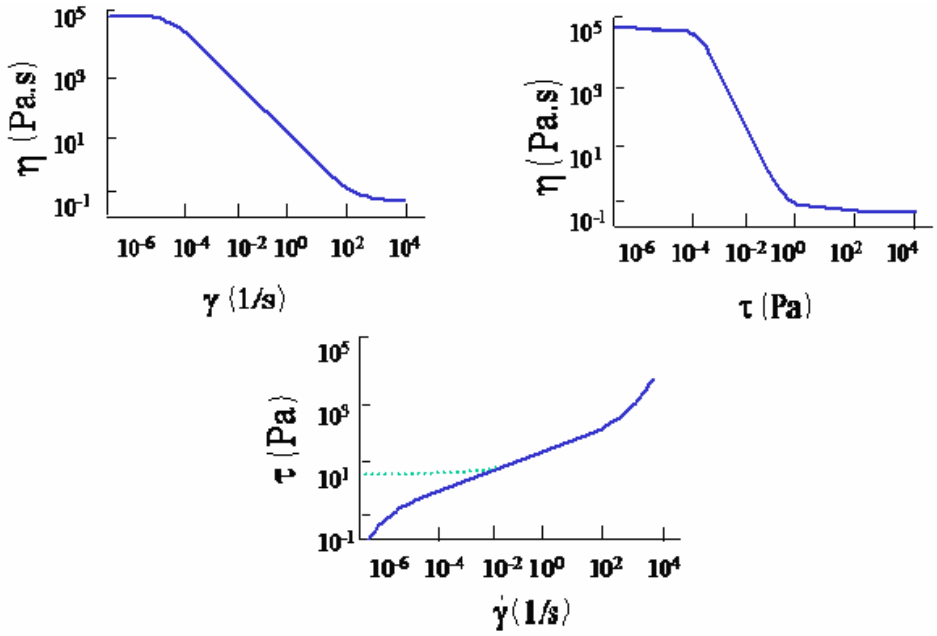


Figura 2.11. Diagramas característicos para fluidos "shear thinning"

Segundo HOLDSWORTH (1971), esse comportamento é explicado pela modificação da estrutura de cadeias longas de moléculas com o aumento do gradiente de velocidade. Essas cadeias tendem a se alinhar paralelamente a um comportamento newtoniano a grandes gradientes de velocidades. Também em baixos gradientes de velocidades tendem ao comportamento newtoniano devido à completa distribuição ao acaso na orientação das partículas (Figura 2.12). No caso de soluções poliméricas a pseudoplasticidade também pode ser resultante da conformação do polímero com a taxa de deformação e do efeito do escoamento na ruptura das interações ou enfraquecimento dos entrelaçamentos moleculares.

Durante as medidas reológicas ainda se podem detectar alguns efeitos ocasionados pelo cisalhamento provocado na estrutura como: a orientação das moléculas, o estiramento, a deformação das estruturas, efeitos que fazem com que a viscosidade diminua, dependendo da taxa de cisalhamento aplicada. Ainda pode ocorrer à destruição dos agregados, o que faz aumentar a viscosidade pelo aumento da superfície de contato (RAO, 1999). Quando a taxa de cisalhamento aplicada é elevada, além de ocorrer o alinhamento das moléculas, as

ligações entre estas podem se desfazer, pois as forças aplicadas são mais fortes que as ligações entre as moléculas. O cisalhamento, portanto, leva muitas vezes a um rompimento irreversível (reodestruição) das ligações entre os elementos estruturais de um material (SHAW, 1975).

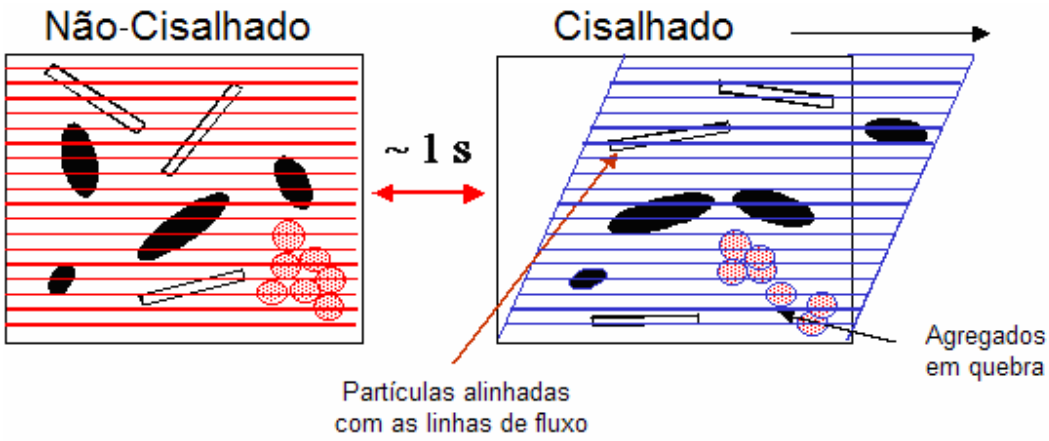


Figura 2.12. Efeito do cisalhamento (orientação das partículas)

Os fluidos pseudoplásticos são representados por produtos como polpas e sucos concentrados de frutas, caldos de fermentação, melaço de cana (CHARM, 1960 citado por ALEXANDRE, 2002) e soluções de pectina (SARAVACOS & MOYER, 1967).

Os fluidos estruturais, dentro da classe dos pseudoplásticos, mostram uma região de viscosidade constante a baixas taxas de deformação (η_o), seguida de uma região não linear a taxas de deformação intermediárias. A altas taxas de deformação existe novamente uma tendência a viscosidade constante (η_∞). O aparecimento destas regiões está relacionado com as mudanças na estrutura do material em função da taxa de deformação aplicada. Esse efeito é muito comum em soluções de macromoléculas e óleos lubrificantes.

- **Fluidos dilatantes ou "*sherar thickening*"**

Este comportamento é caracterizado pelo o aumento da viscosidade com o aumento da velocidade de cisalhamento. O comportamento dilatante pode ser evidenciado em suspensões altamente concentradas, cujas partículas constituintes são irregulares e não se orientam facilmente, ou em polímeros fundidos onde há a formação de cristais durante o processo de escoamento (LOPES, ANDRADE & MANO, 1991).

Segundo HOLDSWORT (1971), este comportamento é explicado supondo-se o fluido constituído de partículas densamente empacotadas, com pequenos espaços intersticiais cheios de líquidos. O aumento da taxa de deformação provoca uma ruptura da estrutura e a quantidade de líquido não é mais suficiente para a lubrificação, logo o atrito aumenta.

Incluídos nesse grupo estão suspensões de amido, soluções de farinha de milho, soluções concentradas de goma e de açúcares (ONOFRE, 1995).

2.4.1.2.3. Fluidos que necessitam de uma tensão inicial para escoar

A tensão de cisalhamento inicial (τ_o) ou tensão residual pode ser definida como a tensão de cisalhamento mínima necessária para um fluido escoar. A tensão mínima de escoamento pode ser explicada em termos de estrutura interna tridimensional, a qual impede o movimento para tensões inferiores a τ_o. Para tensões maiores, a estrutura entra em colapso, permitindo a movimentação do fluido. Em soluções de polímeros de alto peso molecular, muitas vezes uma tensão mínima se faz necessária a fim de romper as interações intermoleculares existentes. Só após o colapso dessas ligações ocorre o escoamento do fluido (LOPES, ANDRADE & MANO, 1991).

Vários pesquisadores contestam a existência da tensão inicial, pois argumentam que se dado um tempo suficiente, qualquer fluido escoa. Apesar disso não há dúvidas sobre a

importância desse parâmetro em cálculos de engenharia. Várias são as maneiras de se obter esse parâmetro, porém as mais comuns são a extrapolação dos dados à taxa de deformação zero ou o uso de reômetro de tensão controlada (STEFFE, 1996).

- **Fluidos de Bingham**

Materiais que apresentam comportamento de Bingham escoam livremente após vencerem a tensão crítica de escoamento (τ_o) e mantém uma relação constante entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. Conforme VAN WAZER et al. (1963) e MENJIVAR & RHA (1980) citados por BEZERRA (1997), chocolate fundido, purê de batatas, catchup, mostarda são exemplos desses fluidos.

- **Fluidos pseudoplásticos com tensão inicial**

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

- **Fluido dilatante com tensão inicial**

Os fluidos pertencentes a esse grupo apresentam um comportamento reológico análogo aos dilatantes, depois de ultrapassada a tensão inicial. Soluções e suspensões concentradas de amido de milho, ou gomas com açucares são exemplos desse comportamento.

2.4.1.2.4. Fluido não-newtonianos dependente do tempo

A viscosidade aparente varia tanto com a taxa de deformação, quanto com a duração de sua aplicação.

O fenômeno de mudança de estrutura com o tempo pode ser irreversível, mas os termos tixotrópico e reopético se reservam a mudanças reversíveis.

- **Fluido Tixotrópico**

Um sistema é descrito como tixotrópico quando um decréscimo nas suas grandezas reológicas, com o coeficiente de viscosidade ou módulo de elasticidade, ocorre reversível e isotermicamente, com nítida dependência do tempo de atuação da deformação cisalhante.

Este fenômeno é explicado pela ruptura reversível da estrutura, ou seja, a estrutura se recupera com a retirada da tensão aplicada. A volta não coincidente das curvas de escoamento e da viscosidade é conhecida como histerese ou elasticidade demorada (Figura 2.13). Uma conseqüência desse fenômeno é que os testes de rotina devem ter seus tempos rigorosamente tomados, e, além disso, a história anterior ao manuseio da amostra deve ser controlada, pois se diz que o material tem memória reológica.

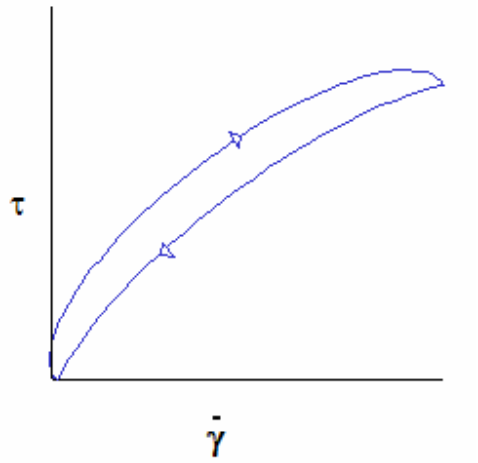


Figura 2.13. Curva de escoamento para fluido com comportamento tixotrópico

Nos casos em que o comportamento tixotrópico foi encontrado em fluidos alimentares, o período de tempo em que ele atuou se mostrou relativamente curto. Também

em virtude das várias operações mecânicas típicas de uma linha contínua de processamento, o comportamento tixotrópico não deverá persistir por muito tempo. Entretanto, para um cálculo conservador, podem-se projetar equipamentos com base nos maiores valores dos parâmetros reológicos disponíveis (RAO & ANANTHESWARAM, 1982). Dentro desse grupo tem-se como exemplos, suco concentrado de maracujá (VITALI et al., 1974), leite condensado açucarado, clara de ovo, maionese (RAO, 1977), entre outros.

- **Fluido Reopético**

Também conhecidos como fluidos de tixotropia negativa ou anti-tixotrópicos, apresentam acréscimo reversível na tensão de cisalhamento com o tempo, para uma dada temperatura e taxa de deformação. Estes fluidos também apresentam uma curva de histerese, porém a viscosidade aumenta com o tempo. Este tipo de comportamento com recuperação da estrutura não é comum nos alimentos (Figura 2.14). São mais comuns os casos de formação de estruturas como na preparação de creme chantilly e clara em neve. Note-se que nestes casos há evolução e não um comportamento que pode ser repetido continuamente. A cristalização também é exemplo de evolução, podendo no caso do açúcar ser monitorado por um reômetro que acompanha o processo. Esta é uma aplicação moderna para o controle da cristalização do açúcar (RAO, 1977; BEZERRA, 1997).

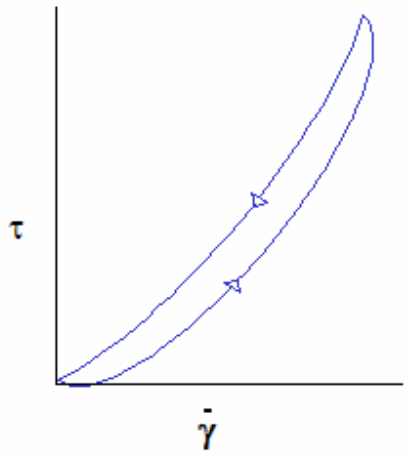


Figura 2.14. Curva de escoamento para fluido com comportamento reopético.

2.4.1.3. Fluidos viscoelásticos

Alguns fluidos exibem tanto propriedades viscosas (escoamento) como elásticas (armazenamento de energia) e são denominados viscoelásticos. Nos fluidos considerados nesse trabalho as propriedades viscosas dominam o comportamento. O predomínio de uma das características é indicado pela magnitude do tempo característico do material (tempo de relaxação λ) em relação ao tempo de processo ou processamento (T_e). Esta relação é denominada número de Deborah (De) (Equação 2.4):

$$De = \frac{\lambda}{T_e} \tag{2.4}$$

Se De << 1, o comportamento será predominantemente viscoso (material fluido), no entanto se De >> 1, o material é predominantemente sólido. A situação de De ≈ 1, corresponde a um comportamento viscoelástico (BARNES HUTTON & WALTERS, 1989).

A análise de um material é simples quando a relação entre a tensão e a deformação é linear em qualquer instante ou freqüência, sendo apenas função do tempo e independente da magnitude da tensão ou deformação aplicada (FERRY, 1980).

A teoria linear é aplicável às pequenas deformações, e a estrutura molecular praticamente não é afetada. As propriedades típicas de fluidos viscoelásticos podem ser interpretadas, através da utilização de combinações de um elemento sólido ideal obedecendo à lei de Hooke e um elemento fluido ideal obedecendo à lei de Newton.

Soluções de biopolímeros exibem comportamento intermediário entre o sólido perfeitamente elástico e um líquido puramente viscoso (SILVA & RAO, 1992).

Em um líquido perfeitamente viscoso, a tensão de cisalhamento depende apenas da taxa de deformação. O trabalho mecânico necessário para produzir qualquer deformação é dissipado imediatamente. Por outro lado, em um sólido perfeitamente elástico, a tensão depende somente da magnitude de deformação sofrida. O trabalho mecânico empregado na deformação é armazenado em forma de energia elástica (GRAESSLEY, 1984).

2.4.1.4. Modelos Reológicos

2.4.1.4.1. Modelos reológicos para o comportamento independente do tempo

Para facilitar os cálculos de engenharia, a descrição do comportamento reológico é feita através de modelos empíricos, que são usados pra relacionar tensão de cisalhamento e taxa de deformação.

Um dos modelos mais utilizados para descrever o comportamento de escoamento de alimentos é o "Lei da Potência", também conhecido como modelo de Ostwald-de-Walle (Equação 2.5).

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \tag{2.5}$$

onde,

τ = tensão de cisalhamento (Pa);

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

K = índice de consistência;

n = índice de comportamento do fluido.

O modelo de Herschel-Bulkley (Equação 2.6) é uma forma modificada de Ostwald-de-Walle, foi desenvolvido para fluidos pseudoplásticos que possuem tensão inicial de escoamento.

$$\tau - \tau_o = K\ \dot{\gamma}^n \qquad (2.6)$$

onde,

τ = tensão de cisalhamento (Pa);

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

τ_o = tensão de cisalhamento inicial (Pa);

K = índice de consistência;

n = índice de comportamento do fluido.

Os fluidos newtonianos, ou que seguem a Lei da Potência (pseudoplástico quando 0 < n <1 ou dilatante quando 1 < n < ∞) e plástico de Bingham podem ser considerados como casos especiais da equação do modelo de Herschel- Bulkley.

Na Tabela 2.3. são apresentados os valores dos parâmetros em cada caso especial e também alguns exemplos de cada tipo de fluido (STEFFE, 1996).

Tabela 2.3. Fluido Newtoniano, Lei da Potência, Plástico de Bingham, com casos especiais do modelo de Herschel- Bulkley

Fluido	k	n	τ_0	Exemplos típicos
Herschel- Bulkley	> 0	0 < n < ∞	> 0	Pasta de peixe picada, pasta de uva passa
Newtoiano	> 0	1	0	Água, suco de fruta clarificado, leite, mel, óleo vegetal
Pseudoplástico	> 0	0 < n < 1	0	Molho de maçã, purê de banana, suco concentrado de laranja
Dilatante	> 0	1 < n < ∞	0	Alguns tipos de mel, solução de 40% de amido de milho
Plástico de Bingham	> 0	1	0	Pasta de dente, pasta de tomate

Em dispersões, a tensão inicial de polissacarídeos resulta das pontes de hidrogênio intermoleculares e entrelaçamentos moleculares. A magnitude dessa tensão é importante em operações de bombeamento, determinação da estabilidade de suspensões, aparência de materiais de cobertura, e aceitabilidade de consumo de um produto (MA & BARBOSA-CÁNOVAS, 1993).

O modelo de Casson (Equação 2.7), tem sido usado para alimentos, particularmente para estimar a tensão inicial conforme GEHRKE (1996). Este modelo foi desenvolvido para escoamento de suspensão de partículas interagindo em um meio Newtoniano.

$$\tau^{1/2} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{1/2}$$

(2.7)

onde

τ = tensão de cisalhamento (Pa);

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

K_{0C} = tensão inicial (Pa);

K_C = viscosidade plástica de Casson (Pa.s).

MIZRAHI & BERK (1972) desenvolveram uma equação reológica modificada de Casson, baseada no modelo de uma suspensão de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico. A equação resultante (2.8) descreve o modelo de Mizrahi-Berk.

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

(2.8)

onde

τ = tensão de cisalhamento (Pa);

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

K_{0M} = tensão inicial (Pa);

K_M = índice de consistência;

n = índice de comportamento do fluido.

2.4.1.4.2. Efeito da temperatura e concentração na viscosidade

A viscosidade de fluidos reais pode ser significativamente afetada através de variáveis como taxa de deformação, concentração, temperatura, pressão e duração da taxa de deformação, sendo importante destacar a dependência da viscosidade com tais variáveis (BARNES, HUTTON & WALTERES, 1989).

Durante o processamento, armazenamento, transporte e comercialização alimentos fluidos estão sujeitos a diferentes temperaturas. Um determinado alimento pode ser encontrado no mercado com diferentes composições ou passar durante o processamento, por uma variação na concentração e por esta razão, são estudadas como função destes parâmetros (RAO, 1977; RAO, 1986; BARNES , HUTTON & WALTERES, 1989).

Para fluidos newtonianos, o conhecimento da viscosidade como função da temperatura e concentração são suficientes para o dimensionamento de equipamentos. Para fluidos não-newtonianos, como a viscosidade também varia com a taxa de deformação, é necessário conhecer a variação das características reológicas dos produtos com a taxa de deformação, a temperatura e a concentração (HOLDSWORTH, 1971; RAO & ANANTHESWARAN, 1982).

- **Influência da temperatura**

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

Em geral, o efeito da temperatura na viscosidade newtoniana ou na viscosidade aparente, a uma taxa de deformação específica, pode ser representado por uma equação do tipo Arrhenius (Equação 2.10). Para fluidos não newtonianos, além da viscosidade aparente a uma taxa de deformação específica, o índice de consistência pode ser empregado para determinar o efeito da temperatura (HOLDSWORTH, 1971; VITALI, ROIE & RAO, 1974; RAO, BOURNE & COOLEY, 1981, RAO, COOLEY & VITALI, 1984; RAO, 1986):

$$\eta_a = \eta_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \tag{2.10}$$

onde,

η_a = viscosidade aparente (Pa.s);

η_0 = parâmetro de ajuste (Pa.s);

E_a = energia de ativação para viscosidade (kcal/g mol);

R = constante universal dos gases (1,987 x 10^{-3} kcal/g mol K);

T = temperatura (K).

Esta equação indica a tendência geral observada de uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. De um modo geral, quanto maior for a energia de ativação, maior será o efeito da temperatura sobre a viscosidade (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1986).

- **Influência da concentração**

A viscosidade torna-se maior com o aumento da concentração de sólidos solúveis. Segundo SCHLIEPHAKE (1963) citado por BEZERRA (1997), e este fato estaria ligado a dois aspectos independentes. O primeiro diz respeito à redução de fluidos para a "lubrificação" intermolecular, de tal forma que o atrito aumenta. O segundo aspecto relaciona-se com a forma de hidratados pelos íons e moléculas em altas concentrações. O solvente não é mais suficiente para saturar todas as moléculas, e essas começam a formar

agregados. Esses dois aspectos somam, introduzindo um rápido aumento da viscosidade, observado nas soluções.

Em faixas limitadas de concentração e à taxa de deformação e temperaturas fixas, o efeito da concentração de sólidos solúveis ou totais na viscosidade aparente pode ser descrito alternativamente por relações do tipo exponencial ou potencial, conforme descrito pelas Equações 2.11 e 2.12. O efeito da concentração no índice de consistência, também foi estudado por RAO, BOURNE & COOLEY (1981) e VITALLI & RAO (1982) através das Equações 2.13 e 2.14.

$$\eta_a = a_1 \exp(a_2.C) \tag{2.11}$$

$$\eta_a = a_1 C^{a_2} \tag{2.12}$$

$$K = a_1 \exp(a_2.C) \tag{2.13}$$

$$K = a_1.C^{a_2} \tag{2.14}$$

onde,

η_a = viscosidade aparente (Pa.s);

a_1 e a_2 = constantes;

C = concentração de sólidos solúveis ou totais;

K= índice de consistência ($Pa.s^n$).

- **Influencia da temperatura e da concentração**

O conhecimento do efeito combinado da temperatura e concentração na viscosidade aparente é útil em aplicações tais como a concentração de fluidos alimentares.

A dependência da temperatura, expressa por uma relação do tipo Arrhenius e da concentração por uma relação do tipo exponencial podem ser combinadas para o cálculo da viscosidade aparente (Equação 2.15)

$$\eta_a = a_1 C^{a_2} \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \tag{2.15}$$

$$\eta = a_1 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) C^{a_2} \tag{2.16}$$

onde,

a_1, a_2 = constantes de ajuste;

C = concentração;

E_a = energia de ativação;

T = temperatura absoluta em kelvin;

η = viscosidade aparente (Pa.s);

R = constante universal dos gases (1,987 x 10^{-3} kcal/g mol K).

Esta equação foi aplicada para descrever o efeito combinado da temperatura e concentração para diversos produtos alimentícios (VITALI & RAO, 1984; IBAZ et al., 1992 a; IBARZ, A.; PAGÁN,J.; MIGUELSANZ 1992b).

VITALLI & RAO (1982) utilizaram uma equação similar a Equação 2.15, enquanto ASSIS et al., (2006) aplicaram com sucesso uma forma parecida à equação 2.16 para fluidos pseudoplásticos, nas quais a dependência era função do índice de consistência do modelo Lei da Potência, com a temperatura seja do tipo Arrhenius e com a concentração, do tipo potência (Equações 2.17 e 2.18).

$$K = a_1 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) C^{a_2} \tag{2.17}$$

$$K = a_1 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) C^{a_2} \tag{2.18}$$

onde,

a_1, a_2 = constantes de ajuste;

K = índice de consistência;

C = concentração;

E_a = energia de ativação;

T = temperatura absoluta em kelvin.

R = constante universal dos gases (1,987 x 10^{-3} kcal/g mol K)

CERVONE & HARPER (1978) propuseram um produto de exponenciais para modelagem da viscosidade aparente (Equação 2.17) e do índice de consistência "K" do modelo Lei da Potência (Equação 2.18). Essas relações são válidas quando a dependência da viscosidade aparente e do índice de consistência, com a temperatura for do tipo Arrhenius, e com a concentração for do tipo exponencial (Equações 2.19 e 2.20).

$$\eta_a = a_1 \exp\left(\frac{E_a}{RT} + a_2 C\right) \tag{2.19}$$

$$K = a_1 \exp\left(\frac{E_a}{RT} + a_2 C\right) \tag{2.20}$$

onde,

a_1, a_2 = constantes de ajuste;

C = concentração;

E_a = energia de ativação;

T = temperatura absoluta em kelvin.

Foram utilizadas equações para verificar o efeito da temperatura e da concentração nos parâmetros τ_o, n e K por QUISPE (2003).Para temperatura testou-se uma relação exponencial e para a concentração, a lei da potência (Equações 2.21 a 2.25):

$$\tau_o = a_1 \exp^{a_2 T} C^{a_3} \quad (2.21)$$

$$K = a_1 \exp^{a_2 T} C^{a_3} \quad (2.22)$$

$$n = a_1 \exp^{a_2 T} C^{a_3} \quad (2.23)$$

$$\tau_o = a_1 \exp^{a_2 / T} C^{a_3} \quad (2.24)$$

$$K = a_1 \exp^{a_2 / T} C^{a_3} \quad (2.25)$$

$$n = a_1 \exp^{a_2 / T} C^{a_3} \quad (2.26)$$

onde,

τ_o = tensão inicial;

n = índice de comportamento de fluxo;

K = índice de consistência;

a_1, a_2 = constantes de ajuste;

C = concentração;

E_a = energia de ativação;

T = temperatura absoluta em kelvin.

2.4.2. Comportamento reológico de fluidos em estado dinâmico

2.4.2.1. Funções Viscoelásticas lineares e ensaios não estacionários

Na caracterização da viscoelasticidade linear existem vários tipos de experimentos que determinam as relações entre a tensão, deformação e tempo. Os mais importantes são

os testes de compliança e recuperação de fluência, relaxação de tensões e testes dinâmicos oscilatórios.

Três estágios caracterizam a curva de fluência de um líquido viscoelástico. Em primeiro lugar, a resposta do material é uma compliança elástica instantânea J_o. Em seguida, um período transiente é observado, onde se exibem as propriedades elásticas e viscosas. Finalmente, em tempos longos, a deformação aumenta linearmente com o tempo e se aproxima de um escoamento estacionário onde a taxa de deformação é constante. O tempo do teste tem que ser suficientemente longo para que o sistema alcance um escoamento estacionário. A análise desta parte linear da curva poderia dar informações sobre o comportamento do escoamento a tensões de cisalhamento muito baixas. No teste de recuperação obtém-se um parâmetro, J_e^o denominado compliança recuperável (GIBOREAU, CUVELIER & LAUNAY, 1994).

Em um experimento de relaxação de tensão, o material é submetido repentinamente a uma dada deformação, ao mesmo tempo em que se determina a tensão necessária para mantê-la constante ao longo do tempo. Como resultado obtém-se a função G(t), denominada módulo de relaxação que é calculada como a razão entre a tensão de cisalhamento e a deformação em qualquer instante *t,* enquanto a deformação permanece constante. Os materiais viscoelásticos relaxam sua estrutura ao longo do tempo chegando a uma tensão de equilíbrio, cujo valor depende da estrutura molecular do material. Nesse tipo de experimento pode-se também obter um tempo de relaxação, um parâmetro viscoelástico bastante importante, definido como o tempo necessário para que a tensão seja reduzida para 1/*e* do valor inicial, onde *e* é a base dos logaritmos neperianos. O tempo de relaxação é uma medida da taxa de dissipação de tensão pelo material. Esse tempo também pode ser obtido no teste de fluência pelo produto entre a viscosidade newtoniana máxima (η_o) e a compliança recuperável (GRAESSLEY, 1984).

2.4.2.2. Ensaios dinâmicos ou oscilatórios

Num experimento dinâmico ou periódico, uma tensão ou deformação oscilatória senoidal a uma freqüência (ω), é aplicada no material, e a diferença de fase entre a tensão aplicada e a deformação observada, bem como a taxa de amplitude são medidas (BARBOSA-CÁNOVAS, IBARZ & PELEG, 1993).

A deformação (γ) varia com o tempo de acordo com a relação (Equação 2.27):

$$\gamma = \gamma_0 \text{ sen } (\omega t) \quad (2.27)$$

Onde γ_0 é a amplitude máxima de deformação. A tensão correspondente (τ) pode ser representada como (Equação 2.27):

$$\tau = \tau_0 \text{ sen } (\omega t + \delta) \quad (2.28)$$

Onde τ_0 é a amplitude máxima de tensão e δ é o ângulo de fase entre a deformação e a tensão. A tensão correspondente à Equação 2.28 pode ser expressa como (Equação 2.25):

$$\tau = \gamma_0 [G' \text{ sen } (\omega t) + G'' \cos (\omega t)] \quad (2.29)$$

Onde G' e G" são os módulos de armazenamento e dissipação de energia, respectivamente, sendo ambos os módulos em função da freqüência e podem ser expressos da seguinte forma (Equações 2.29, 2.30 e 2.31) (STEFFE, 1996):

$$G' (\omega) = (\tau_0 / \gamma_0) \cos (\delta) \quad (2.30)$$

$$G'' (\omega) = (\tau_0 / \gamma_0) \text{ sen } (\delta) \quad (2.31)$$

$$G' (\omega) / G'' (\omega) = \tan (\delta) \quad (2.32)$$

O módulo complexo (2.32) é dado por:

$$|G^*| = (G'^2 + G''^2)^{1/2} \tag{2.33}$$

De maneira similar, a viscosidade dinâmica e a rigidez dinâmica são componentes da viscosidade dinâmica complexa, η^* (Equação 2.33):

$$\eta^* = \frac{\tau(\omega)}{\gamma(\omega)} = \frac{\tau}{i\omega\gamma} = \eta' - i\eta'' \tag{2.34}$$

Na Figura 2.15 tem-se a resposta de um sólido hookeano, líquido newtoniano e fluido viscoelástico a um teste dinâmico.

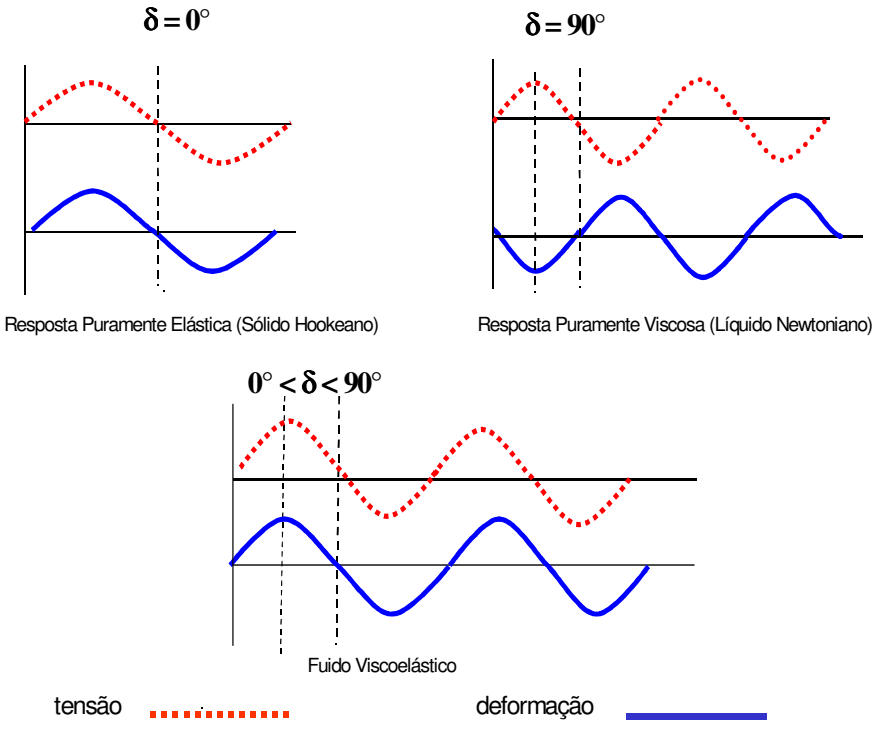


Figura 2.15. Teste viscoelástico dinâmico mecânico. Resposta dos extremos clássicos e do material.

Os dados experimentais de G' e G" em função da freqüência (ω) produzem o "espectro mecânico", cuja interpretação é análoga ao espectro de relaxação, considerando que baixas freqüências correspondem a grandes intervalos de tempo e vice-versa (GIBOREAU, CUVELIER & LAUNAY, 1994). A Figura 2.16 mostra o espectro mecânico completo para polímero de alto peso molecular.

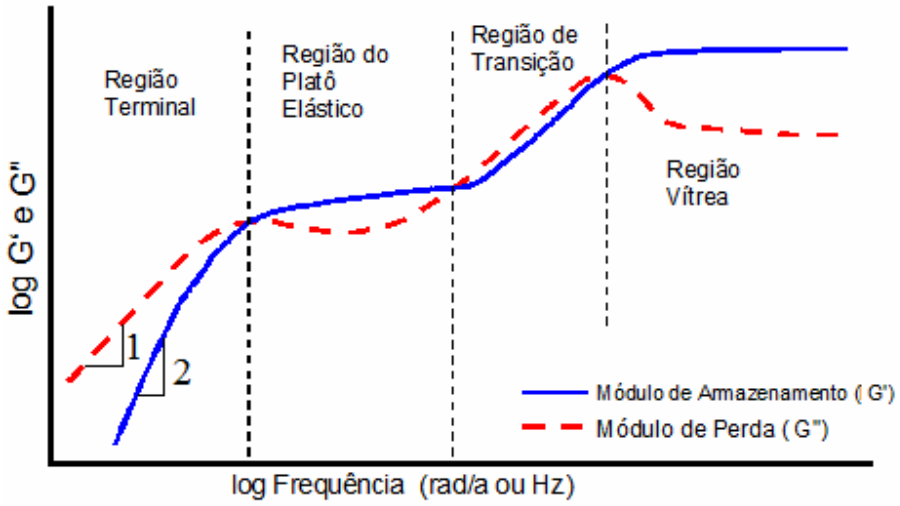


Figura 2.16. Espectro mecânico típico de sistemas poliméricos

Em baixas freqüências, os módulos de armazenamento e de perda crescem com o aumento da freqüência. G'(ω) permanece sempre menor que G" (ω), isto é, a resposta viscosa domina, indicando que as cadeias moleculares podem se entrelaçar e rearranjar-se durante um longo período de oscilação. Neste caso, o comportamento do escoamento é controlado pelo movimento translacional das macromoléculas. Em freqüências intermediárias, G' torna-se maior que G", tornando-se relativamente constante, o que demonstra que curtos períodos de oscilação não permitem o desentrelaçamento das moléculas; sendo assim, os entrelaçamentos desempenham o papel de zonas de junção intermoleculares temporárias. Uma nova inversão nas magnitudes é observada na região de transição e finalmente, quando o estado vítreo é atingido, G" diminui e G' torna-se predominante. Na Figura 2.17 é apresentado os distintos comportamentos de soluções diluída, concentrada e para gel.

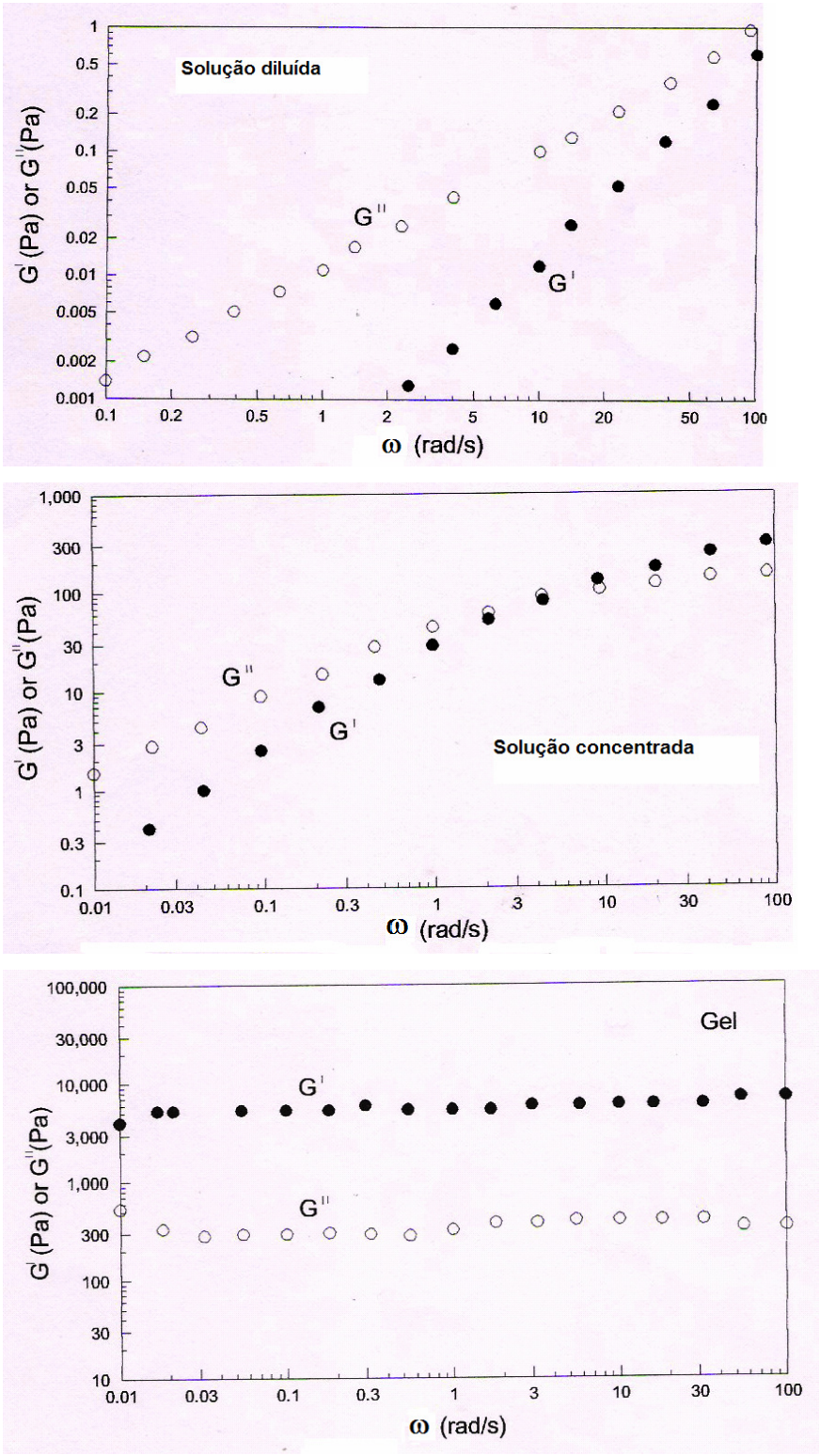


Figura 2.17. Espectro mecânico para solução diluída, concentrada e gel.

Estas regiões características podem ser associadas qualitativamente com diferentes tipos de respostas moleculares e aparecem com diferentes graus de definição e proeminência, dependendo do peso molecular do polímero, se está amorfo ou cristalino, acima ou abaixo da temperatura de transição vítrea, e ainda concentrado ou diluído em algum solvente (GRAESSLEY, 1984; FERRY, 1980).

A razão entre G"/G' (tan δ) também é utilizada para caracterizar soluções (Figura 2.18).

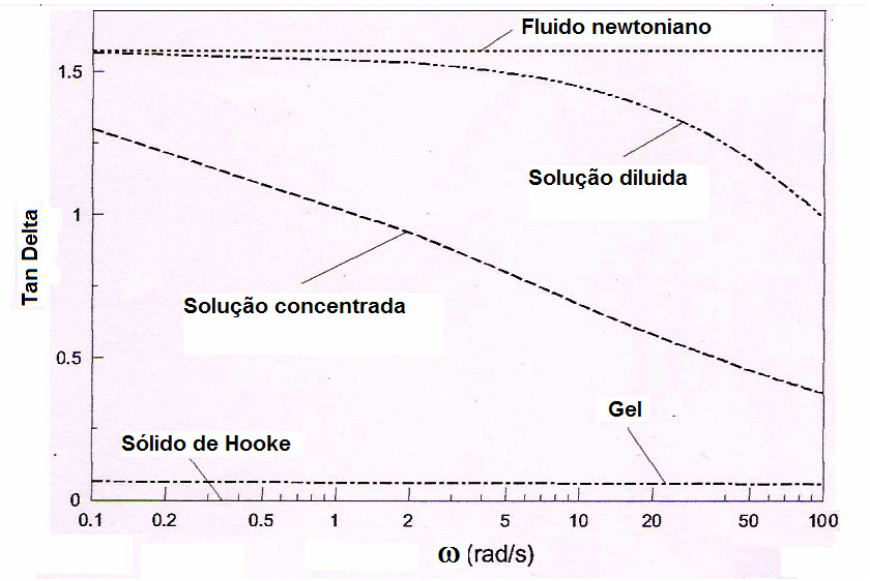


Figura 2.18. Tangente do ângulo de fase em função da freqüência

O gráfico Cole-Cole é uma representação de η"(ω) em função de η' (ω) no plano complexo, e constitui um instrumento adicional para a caracterização do comportamento viscoelástico de materiais diferentes, sendo possível distinguir soluções poliméricas de sistemas estruturados. No caso de soluções fracamente estruturadas obtém-se curvas semelhantes a um semi-circulo, que perde a forma e se torna mais aberta, quando esse mesmo sistema forma gel.

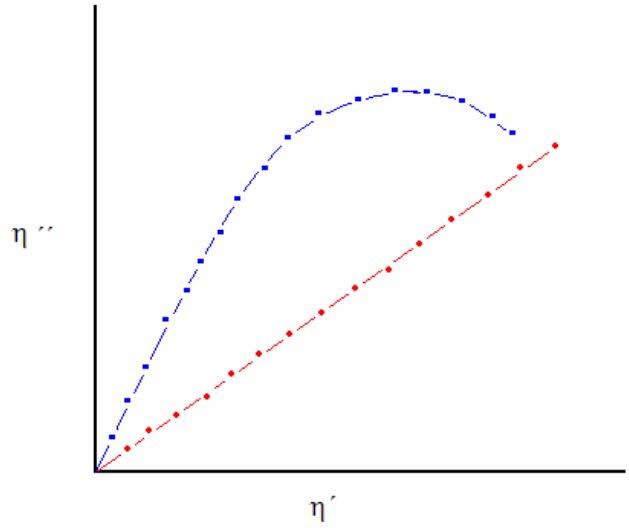


Figura 2.19. Gráfico Cole-Cole. Viscosidade dinâmica (η´) x viscosidade imaginária (η´´)

2.4.3. Comportamento reológico na indústria de alimentos

Medidas reológicas são completamente relevantes na indústria de alimento como uma ferramenta para a caracterização física do material, do produto intermediário e no alimento final (TABILO-MUNIZAGA & BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Como todos os produtos líquidos derivados de frutas são sistemas bifásicos compostos de partículas sólidas dispersas em um meio aquoso, o comportamento reológico destes sistemas também será influenciado pela concentração, composição química, tamanho, forma e distribuição das partículas que compões a fase dispersa (CONSTELL & DURÁN, 1982). Estes autores afirmam que quanto maior for o tamanho médio das partículas suspensas, menor será o valor do índice de comportamento e, portanto, o escoamento do purê será mais pseudoplástico.

Sucos e polpas de frutas são comumente fluidos não-newtonianos devido à alta concentração de pectina, que afetam diretamente o comportamento reológico. Como a adição de um hidrocolóide em polpa de frutas provoca alterações significativas nas

propriedades reológicas, o conhecimento de tais propriedades é interessante na engenharia de processos, tanto no conhecimento da estrutura, como no controle de qualidade e correlação com a avaliação organoléptica.

O estudo da influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de araçá integral foi apresentado por HAMINIUK et al. (2006). A polpa apresentou comportamento pseudoplástico na faixa de 2,80-70 s^{-1}. A viscosidade diminui com o aumento na temperatura, e contudo, a viscosidade aparente mostrou uma tendência de aumentar em temperaturas acima de 60 ºC. A energia de ativação determinada para taxa de cisalhamento de 50 s^{-1} foi de 11,03 KJ mol^{-1}.

A reologia do suco de acerola foi estudada por da SILVA, GUIMARÃES, & GASPARETTO (2005), e nesse estudo os autores avaliaram o efeito da concentração (4,7,10,13 e 16 ºBrix) e temperatura (5 a 85 ºC). Os baixos valores obtidos para o índice de comportamento ($0,338 < n < 0,759$) confirmam o comportamento pseudoplástico para o suco. O efeito da temperatura foi descrito por uma equação análoga a de Arrehenius, e foi observado que a energia de ativação diminui com o aumento da concentração das amostras, variando desde 3,50 a 1,79 Kcal/gmol.

FERREIRA et.al (2002) determinaram o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de umbu em temperaturas entre 10 - 60 ºC, observando o comportamento pseudoplástico da polpa. O índice de consistência diminuiu com o aumento da temperatura.

FERREIRA et al. (2002) ao pesquisar a reologia de polpas de caju e goiaba e suas combinações em diferentes proporções, elaboradas a partir da polpa integral, peneirada e centrifugada, nas temperaturas de 10 a 60 ºC, verificou que o teor de sólidos suspensos aumenta a viscosidade das polpas. As polpas analisadas apresentaram comportamento não-newtoniano, com características pseudoplasticas e dilatantes (blenda com 50% de caju e 50% goiaba).

Estudos realizados por ALEXANDRE (2002) em polpa de açaí nas temperaturas de 10 a 70 ºC demonstram que o produto apresentou pseudoplasticidade com tensão residual e tixotropia. A polpa se comportou como um gel fraco, sem dependência da temperatura. A regra de Cox-Merz modificada foi aplicada.

Os reogramas do purê de manga, tratado e não tratado termicamente, obtidos nas temperaturas de 25 a 90 ºC apresentaram caráter não-newtoniano de natureza pseudoplástica (SUGAI, 2002).

As análises reológicas para polpa de manga, variedade Keitt (integral, centrifugada e despectinizada), na faixa de temperatura de 10 a 60 ºC, na faixa de deformação de 50 a 900 s^{-1}, apresentaram comportamento pseudoplástico. Na polpa de manga integral a viscosidade diminuiu com o aumento da temperatura, enquanto que as polpas, integral e despectinizadas, apresentaram a partir de 40 ºC aumento da viscosidade aparente (BEZERRA, 2000).

AKDOGAN & MCHUGH (2000) verificaram o comportamento não-newtoniano com características pseudoplásticas para o purê de pêssego. Utilizaram satisfatoriamente os modelos de Casson, Hershel-Bulkley, Bingham e Mizrahi-Berk para descrever o escoamento na faixa de deformação de 49 a 125 s^{-1}.

ZAINAL et al. (2000), estudando suco de goiaba, constataram que para 9 e 11 ºBrix as amostras apresentaram pseudoplasticidade com *n* na ordem de 0,39 – 0,46 e 0,20 – 0,35, respectivamente.

GRIGELMO-MIGUEL & MARTIN-BELLOSO (1999) estudaram a influência da substituição parcial ou total de pectina comercial por fibras dietéticas de pêssego nas propriedades físicas de geléias de morango. As geléias apresentaram comportamento pseudoplástico descrito pelo modelo lei da potência e o coeficiente de consistência e a pseudoplasticidade aumentaram com o aumento no teor de fibras.

PELEGRINE (1999) analisou o comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi (integral, centrifugada e despectinizada). Quanto aos sólidos em suspensão, verificou-se que a presença desses componentes modifica bastante o índice de consistência da polpa. Todas as amostras apresentam comportamento pseudoplástico sendo maior para as polpas integrais.

Estudando a influência da temperatura (10 a 50 ºC) e da concentração (10 a 40 ºBrix) sobre as propriedades reológicas do suco de maracujá, ADORNO (1997), constatou que para todas as temperaturas τ_o e k aumentaram com o aumento da concentração, enquanto *n* diminuiu.

GUERREIRO, ALZAMORA & GERSCHENSON (1997) caracterizaram o escoamento do purê de banana conservado através de métodos combinados e armazenados a temperatura de 5 a 25 ºC. O produto apresentou características tixotrópicas e pseudoplásticas, com tensão inicial definida e foi bem ajustada pelos modelos de Weltmann e Herschel-Bulckley.

IBARZ, GONZALEZ & ESPLUGAS (1996) constataram o comportamento newtoniano para o suco comercial de maracujá (despectinizado e clarificado), em várias temperaturas (5 a 70 ºC).

O comportamento reológico do suco de kiwi foi analisado por IBARZ et al. (1995), os quais verificaram que o índice de consistência decresce com o aumento da temperatura e com a diminuição dos sólidos solúveis. Em todas as amostras o índice de comportamento sofreu pequena variação com a temperatura, mas decresceu com o aumento do conteúdo dos sólidos solúveis.

Um estudo realizado com molhos de tomate (26 – 30 ºBrix) à 40 ºC caracterizou o produto como altamente pseudoplástico com elevada tensão residual. Através de ensaios oscilatórios, verificou-se que os molhos tiveram um comportamento de gel fraco,

apresentando G' maior que G" e ambos aumentando com a freqüência aplicada. A regra de Cox-Merz não foi aplicada para relacionar os dados de viscosidade dinâmica e aparente, mas os dados puderam ser relacionados com o uso de um fator multiplicador na freqüência (regra de Cox-Merz modificada) (RAO & COOLEY, 1992).

A proteína de soja foi utilizada como ingrediente alternativo na elaboração de pasta e pudim e teve seu comportamento reológico comparado com produtos comerciais (tensão inicial de 27,1-59,6 Pa; índice de consistência 6,57-18,63 $Pa.s^n$ e índice de comportamento de fluxo 0,42-0,66), apresentando-se dentro dessas faixa de valores. Durante duas semanas de refrigeração, ambos G' e G", aumentaram em todos os pudins. Não foi observado sinerese dos pudins à base de proteína durante as duas semanas de estocagem a 5 ºC (LIM & NARSIMHAN, 2006).

HAULY, FUCHS & PRUDÊNCIO-FERREIRA (2005) determinaram que a viscosidade média dos iogurtes foi de 21000 cP (suplementado) e 13000 cP (não suplementado). A viscosidade mais elevada do iogurte de soja suplementado pode ser explicada pela presença dos frutoligossacarídeos, que contribuem para o aumento de sólidos totais no produto.

O efeito reológico da adição de proteína da soja no suco de tomate foi estudado por TIZIANI & VODOVOTZ (2005). A adição de 1 % de proteína da soja afetou significativamente o comportamento reológico do suco apresentando este fluido um comportamento tixotrópico a baixas taxas de cisalhamento, seguidas por uma transição para reopético em altas taxas. A adição da proteína da soja aumentou os valores do módulo dinâmico, o que sugere uma agregação ente pectina e proteína aumentando a estabilidade da suspensão, com maior efeito qualitativo no comportamento de gel fraco.

RODRIGUES, GOZZO e MORETTI (2003) estudaram o comportamento reológico de extratos elaborados com grãos, farinha integral e isolado protéico de soja. Verificou-se

que a viscosidade aparente, a 4 e 25 °C, do extrato obtido de grãos de soja (fluido não-newtoniano com comportamento pseudoplástico) foi maior que a do extrato da farinha (fluido não-newtoniano com comportamento pseudoplástico a 4 °C e dilatante a 25 °C) e do isolado (fluido newtoniano).

DAUTANT et al. (2007) analisaram o efeito da temperatura, umidade e conteúdo de lipídios nas propriedades reológicas da farinha de arroz. As amostras continham 21, 25 e 29 % de umidade, e 3, 5 e 7 % de lipídeos. O material exibiu natural comportamento pseudoplástico e a viscosidade diminui quando a temperatura, umidade e lipídios são aumentados.

A caracterização reológica de pasta de abobrinha (cucurbita pepo) em regime oscilatório mostrou que as dispersões de amido possuem módulo de estocagem (G') e de perda (G") menores que as do amido da batata. Essas diferenças nas propriedades reológicas podem ser atribuídas à estrutura granular e à estabilidade da estrutura cristalina dentro do grão (SINGH et al., 2007).

Dodol é uma tradicional e popular comida na Malásia ("snack" preparado pela mistura de farinha de arroz, leite de coco e açúcar). CHUAH et al. (2007), determinaram o efeito da temperatura na viscosidade. *Dodol* exibiu comportamento pseudoplástico, indicado pelo índice de comportamento de fluxo (*n*) na faixa de 0,2-0,8.

O efeito do extrato de "soapwort" (*Gypsophila arrostii*) nas propriedades físicas e sensoriais de "sponge cake" (bolo tradicional, cuja massa é muito macia parecida com uma esponja) e as propriedades reológicas de "sponge cake" amanteigado foi determinada. Este estudo mostrou que as proteínas do ovo na formulação de bolos esponja poderiam parcialmente ser substituídas por esse extrato não apresentando nenhuma influência desfavorável nas propriedades reológicas do bolo nem nas propriedades físicas e sensoriais (ÇELIK et al., 2007).

AHMED & RAMASWAMY (2006) estudaram as propriedades em estado estacionário e dinâmico para avaliar o alimento infantil composto de purê de batata doce. O purê comporta-se como um sólido elástico com G' predominando sobre G" (G'>G"). Ambos os módulos decrescem com o aumento da temperatura, enquanto um anormal aumento no módulo de armazenamento acontece a 65 ºC. No estado estacionário as amostras apresentaram tensão inicial. O índice de comportamento de fluxo aumentou de 0,34 a 0,54 com o aumento da temperatura e demonstra que o purê se comporta com fluido pseudoplástico.

A influência da adição de fibras dietéticas nas propriedades sensoriais e reológicas de yogurte foi determinada por DELLO STAFFOLO, et al. (2004). Fibras comerciais de maçã, trigo, bambu e inulina foram usadas. Todas as amostras apresentaram comportamento pseudoplástico (0,10 > n >0,19). O tempo de estocagem foi fator significativo ($P < 0,05$) para o índice de consistência, que diminuiu com o tempo de estocagem. Em geral, as curvas de G' e G" variaram com a freqüência. No tempo inicial mostraram-se com características de soluções concentradas. Ao longo da estocagem, iogurte com trigo, bambu e inulina exibiram características mais próximas de gel.

A viscosidade é uma importante propriedade do mel e depende da quantidade de água e açúcar. Alimentos submetidos ao processo de irradiação têm vários benefícios, entre eles a redução da carga de microrganismos. Mel irradiado e o controle mostraram comportamento newtoniano e a irradiação gama não afetou o comportamento (SOBATO, 2004).

O estudo conduzido em iogurtes sem gordura, aromatizados, alguns espessantes (pectina, amido, goma lacusta e guar) e edulcorantes (frutose, fruto-oligosacarideos, aspartame e acesulfame), foram adicionados e misturados junto nas preparações da fruta. As propriedades reológicas foram determinadas para obter o índice n do comportamento do fluxo e o índice K da consistência com a Lei de Potência, onde o iogurte mostrou-se como pseudoplástico. Os resultados mostraram que o aumento da concentração dos espessantes modificou a liberação do aroma (DECOURCELLE et al., 2004).

A caracterização de mel puro e mistura com diferentes concentrações de própolis é muito importante para determinar a qualidade do produto. A partir da viscosidade é possível determinar a quantidade de extrato de própolis contido na mistura. A viscosidade do mel puro é consideravelmente reduzida com a adição do extrato, e além disso, foi observado um pronunciado aumento no comportamento viscoelástico da amostra (DA COSTA & PEREIRA, 2002).

DOGAN et al. (2007) analisaram o efeito da radiação gama nas propriedades reológicas da goma guar, xantana e pectina. Embora o aumento da dose de radiação causasse uma redução na viscosidade aparente, o efeito foi diferente para os diferentes hidrocolóides. O índice de consistência da goma guar foi mais sensível ao tratamento quando comparada a pectina que foi menos drástico, o que levou à conclusão que a goma guar não é apropriada à preservação por irradiação.

Estudos da interação entre goma xantana e alfarroba (LBG) em soluções diluídas foram determinadas por HIGIRO et al. (2006), que verificaram a existência de uma forte interação entre as gomas.

KOSKSOY & KILIC (2004) utilizaram hidrocoloides (pectina de alta metoxilaçao, goma guar, lacusta e gelatina em diferentes concentrações) para evitar a separação durante a estocagem de iogurte produzido na Turquia (ayran). Goma guar preveniu a separação. Lacusta aumentou a viscosidade aparente e preveniu bem a separação de fases, mas também afetou os parâmetros sensoriais. Pectina e gelatina afetaram o gosto e o odor e não mantiveram a estabilidade da bebida.

As propriedades reológicas de xantana-gelana foram comparadas com soluções de xantana e gelana isoladas por MARTINEZ-PADILLA, LÓPEZ-ARAIZA & TECANTE (2004). Em estado estacionário, as soluções de xantana exibiram comportamento pseudoplástico. A adição de sal na solução de gelana induziu um forte comportamento não-

newtoniano, com o surgimento de tensão inicial e tixotropia. Nos ensaios dinâmicos xantana (com e sem sal) e gelana apresentaram comportamento de soluções concentradas, enquanto que a gelana sem sal exibiu comportamento de gel.

Propriedades reológicas de vinte soluções de gomas foram investigadas nas concentrações de 0,05, 0,1 e 0,5 %. Os componentes da viscosidade complexa (η *) e dos módulos viscosos (η' e η") foram medidos em regime oscilatório. Konjac exibiu os maiores valores de η' e η" entre todas as gomas a 0,5 % e 50 s^{-1}. Goma arábica, metil celulose e pectina exibiram os menores valores nas mesmas condições (YASSEN et. al, 2004).

Dispersões de farinha de arroz cozido foram estudadas em estado estacionário e dinâmico por CHUN &YOO (2004) nas concentrações de 4, 5, 6, 7 e 8 % a 25 ºC e apresentaram comportamento pseudoplástico (n = 0,23-0,28), com tensão inicial (4,1 – 20,1 Pa). Os módulos de estocagem e perda aumentaram com o aumento da freqüência enquanto que a viscosidade dinâmica decresceu. Nas concentrações estudadas as dispersões de farinha de arroz se comportaram como um gel fraco com G' muito maior que G" em todos os valores de freqüência aplicados.

Carboximetilcelulose e alginato de sódio tiveram seu comportamento reológico estudado (GÓMEZ-DIÁZ & NAVAZA, 2003), apresentando característica de fluido não-newtoniano. Foi observado que quanto maior a quantidade de alginato maior é o comportamento pseudoplástico. Por essa razão, o alginato é mais apropriado para o uso como agente de espessamento. Os experimentos com as blendas dos polímeros mostraram um desvio do comportamento linear. Este efeito diminui quando a temperatura e a taxa de cisalhamento aumentam.

MONTÉ & CORREIA (2002), ao estudar o comportamento reológico de blendas de gomas de cajueiro e xantana em suco de caju verificaram comportamento pseudoplástico. Nas amostras onde foi adicionada goma xantana, foram registrados os maiores valores de viscosidade e maior pseudoplasticidade. As amostras com as blendas apresentaram valores

de viscosidade um pouco maiores que as contendo apenas xantanta, indicando interação entre as gomas; portanto forneceu um resultado promissor.

A influência da temperatura em dispersões de pectina (alta e baixa metoxilação) em estado dinâmico e oscilatório foi estudada e comparada com goma alfarroba. Em geral o aumento da temperatura diminui a viscosidade e os módulos de perda e armazenamento, como um resultado do aumento da mobilidade das cadeias (DA SILVA, GONÇALVES & RAO, 1994).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAL

3.1.1 Umbu

Foram usados umbus (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) maduros provenientes da EMBRAPA/CPATSA – Petrolina – PE, enviados congelados via aérea para o DTA/UFRRJ.

3.1.2. Soja

Foram utilizados grãos de soja (*Glycine max L.* Merril], provenientes do comércio local da cidade do Rio de Janeiro – RJ.

3.1.3. Hidrocolóides

Foram utilizadas gomas xantana e gelana em pó, cedidas pela CP KELCO BRASIL S/A (Limeira – SP). O boletim analítico dos hidrocolóides, fornecido pela empresa, é mostrado no Anexo 1.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Processamento dos frutos do umbu

O processamento dos frutos foi realizado na planta piloto de frutas e hortaliças do DTA/UFRRJ.

Na Figura 3.1 é apresentado o fluxograma geral do processo de extração da polpa de umbu.

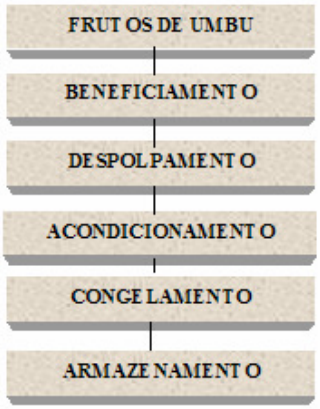


Figura 3.1. Esquema do processamento da polpa de umbu

3.2.1.1. Beneficiamento

Os frutos recebidos em caixas de isopor, ainda congelados, foram selecionados manualmente, eliminando os impróprios para o processamento (imaturos ou com danos mecânicos).

3.2.1.2. Lavagem

Os frutos foram imersos em água clorada (150 ppm) por 15 minutos para perfeita higienização. Logo após foi feito o enxágüe com água potável para eliminação do resíduo.

3.2.1.3. Despolpamento

Os frutos foram despolpados em despolpadeira elétrica da marca BERIZZI.

3.2.1.4. Acondicionamento

A polpa de umbu foi acondicionada em sacos de polietileno de alta densidade.

3.2.1.5. Congelamento e armazenamento

A polpa de umbu foi congelada e armazenada em "freezer" horizontal a -18ºC.

3.2.2. Análises físico-químicas e químicas

3.2.2.1. Umidade

Foi determinada através do método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (LARA et al., 1976).

3.2.2.2. Açúcares redutores em glicose e açúcares não redutores em sacarose

A determinação dos açúcares foi feita pelo método de Lane & Eynon (Licor de Fehling), da ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC, 1995).

3.2.2.3. Sólidos solúveis (ºBrix)

O ºBrix foi determinado através da leitura direta em refratômetro digital automático, marca ACATEC modelo RDA 8600.

3.2.2.4. Acidez total titulável

A acidez total foi determinada pelo método acidimétrico da AOAC (1995).

3.2.2.5. pH

A determinação do pH foi realizada pelo método potenciométrico, utilizando pHmetro modelo pH300 M de marca ANALYSER.

3.2.2.6. Cinzas

Foi determinada segundo método oficial da AOAC (1995).

3.2.2.7. Pectina

O teor de pectina foi determinado de acordo com os métodos apresentados pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (LARA et al., 1976).

3.2.3. Preparação das amostras para análises reológicas

3.2.3.1. Efeito da concentração

Com o objetivo de estudar o efeito da concentração de sólidos solúveis na reologia, a polpa "*in natura*" foi concentrada (utilizado um evaporador rotativo) até obter amostras nas concentrações de 10, 15, 20 e 25 ºBrix.

3.2.3.2. Efeito da adição de hidrocolóides

A goma em pó e a polpa (10 ºBrix) foram pesadas em balança analítica e semi-analítica, respectivamente, na quantidade necessária para o estudo reológico da influência da concentração do polímero. A goma foi adicionada à polpa da fruta e misturada em um multiprocessador, sendo que posteriormente toda a suspensão foi homogeneizada com auxílio de um agitador tipo hélice (1750 rpm) durante uma hora. Foram preparadas amostras com as seguintes concentrações: xantana (0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 % em massa de goma/massa de polpa) e amostra com 1% massa de goma/massa de polpa foi escolhida para preparo da amostra com goma gelana.

3.2.4. Comportamento reológico

O estudo do comportamento reológico da polpa de umbu e polpa de umbu com adição de hidrocolóides foi realizado com o auxílio de um reômetro Haake RS600 (Figura 3.2) pertencente ao Laboratório de Reologia do CENPES – PETROBRAS. Empregou-se a geometria de cilindros concêntricos Z20 DIN (Gap: 4,2 mm), para a polpa de umbu (em regime estacionário) e de cone e placa (2º e 6 cm de diâmetro, Gap 0,105 mm), para polpa de umbu (regime oscilatório) e para polpa adicionada de hidrocolóide. A temperatura de análise foi mantida através de um sistema "peltier" instalado na placa inferior.

As amostras foram descongeladas e deixadas em repouso por no mínimo 1 hora antes da realização dos experimentos.

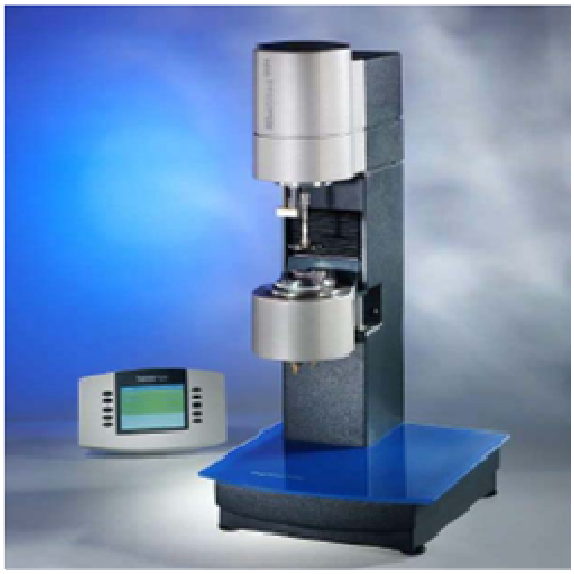


Figura 3.2. Reômetro Haake RS 600

3.2.4.1. Medidas reológicas em regime estacionário

Os ensaios de comportamento reológico das amostras em estado estacionário foram efetuados nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 ºC e em estado dinâmico nas temperaturas 10, 30 e 50 ºC. Uma fina camada de óleo foi colocada em torno da amostra

nas temperaturas de 40 e 50 ºC, para minimizar a evaporação da água durante a realização dos ensaios.

Nos ensaios estacionários, a tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação foi obtida utilizando-se um programa de taxa controlada, onde foram impostas três rampas (crescente, decrescente, crescente), com o intuito de verificar a existência de dependência com o tempo, para a obtenção do intervalo de 0,3 a 300 s^{-1} para amostra de polpa de umbu em diferentes concentrações de sólidos solúveis e no intervalo de 0,3 a 1000 s^{-1} s para as amostras adicionadas de goma, com duração de 5 minutos cada. Os ensaios foram feitos em triplicata, utilizando uma nova amostra a cada repetição.

3.2.4.2. Ensaios oscilatórios em estado dinâmico

Para realização dos ensaios dinâmicos das amostras, determinou-se previamente a região de viscoelasticidade linear, realizando-se uma varredura de tensão de cisalhamento a freqüência constante de 1 Hz. No âmbito de viscoelasticidade linear, os dados de tensão e deformação estão relacionados linearmente. Em seguida, foram feitos experimentos de varredura de freqüências no intervalo de 0,01 a 100 Hz, com o valor de tensão dentro da região linear. Em freqüências mais altas poderia aparecer o problema do fenômeno de ressonância em amostras de baixa viscosidade, proporcionando dados não confiáveis (FERRY, 1980). A região viscoelástica é conhecida por ser a região onde a estrutura do gel é preservada, ou seja, os módulos de armazenamento (G') e de perda (G'') são independentes da freqüência. É de fundamental importância a análise em regime oscilatório ser realizadas nesta região, pois de forma diferente, os valores dos módulos serão muito menores devido ao cisalhamento e à destruição da rede péctica. Os módulos de estocagem (G') e perda (G''), viscosidade complexa ($\eta*$) e tangente do ângulo de fase (tan δ) foram determinados em função da freqüência.

3.2.4.3. Análise dos dados

As curvas de escoamento obtidas foram ajustadas pelos modelos de Herschel-Bulckey e Ostwald-de-Waele.

Os modelos foram ajustados aos dados com o auxílio do software Statistica (versão 5.0), em todas as modelagens realizadas, foram determinados e analisados os seguintes parâmetros de ajuste:

R^2 – Coeficiente de determinação – mede a proporção da variação total média explicada pela regressão, sendo definido como a soma de quadrados total (Equação 3.1).

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} = \pm \frac{\sum (y_{pre} - \bar{y})^2}{(y_{obs} - \bar{y})^2} \tag{3.1}$$

onde,

SRQ = soma quadrática devido à regressão;

SQT = soma quadrática total;

y_{obs} = valor experimental;

y_{pre} = valor previsto pelo modelo;

$\bar{y}$ = média amostral;

χ^2 = Expressa a diferença entre os valores preditos e os valores observados experimentalmente (Equação 3.2).

$$\chi^2 = \sum (y_{obs} - y_{pre})^2 \tag{3.2}$$

onde,

χ^2 = teste do Qui-quadrado;

y_{obs} = valor experimental;

y_{pre} = valor previsto pelo modelo.

3.2.5. Processamento do extrato hidrossolúvel da soja

O processamento do extrato hidrossolúvel de soja foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Escola de Química (UFRJ).

Na Figura 3.3 é apresentado o esquema geral do processo de extração do extrato hidrossolúvel de soja.

Figura 3.3. Esquema do processamento do extrato hidrossolúvel de soja

3.2.5.1. Maceração

Os grãos foram colocados de molho em água filtrada. Os grãos de soja ficaram de molho por um período de 24 horas em refrigerador. Ao final da maceração, os grãos absorveram água e apresentaram o dobro do tamanho normal.

3.2.5.2. Lavagem / Drenagem

Após a maceração, os grãos foram escorridos e lavados rapidamente em água potável e escorridos em peneira.

3.2.5.3. Obtenção do extrato hidrossolúvel de soja

Para obtenção do extrato hidrossolúvel de soja utilizou-se o processador SOJAMAC MODELO MJ720. Os grãos drenados foram utilizados no preparo da bebida na proporção de 250 g de grãos para 2 litros de água. No processador a mistura passa pelos processos de **trituração**, **pasteurização** e **filtração.** O tempo do processo variou de 23 a 25 minutos a uma temperatura entre 85 e 95 ºC.

3.2.6. Desenvolvimento da bebida a base de extrato hidrossolúvel de soja e análise sensorial.

Para os testes sensoriais e análise reológica, foram preparadas inicialmente cinco amostras da bebida à base de soja: extrato hidrossolúvel de soja puro e extrato hidrossolúvel de soja com adição de açúcar e polpa de umbu conforme planejamento experimental (Tabela 1). A seguir novos testes de preferência foram realizados incluindo amostras da bebida com adição de 0,25 % goma xantana nas concentrações de açúcar e fruta selecionadas na primeira etapa (Teste 2), visto que foi observada a separação de fases quando a polpa de umbu foi adicionada ao extrato de soja, dando estabilidade ao produto.

Tabela 3.1. Planejamento experimental (Teste 1)

Tratamento	Teor de polpa de umbu (%)	Teor de açúcar (%)
1	0	0
3	25	10
4	25	12
5	30	10
6	30	12

Tabela 3.2. Planejamento experimental (Teste 2)

Tratamento	Teor de polpa de umbu (%)	Teor de açúcar %
1	0	0
2	25	12
3	0	12

Trinta provadores não-treinados (alunos da UFRJ) realizaram as análises sensoriais das amostras em relação a aroma, cor, sabor, doçura e preferência geral, através de escala hedônica não-estruturada de nove scores, ancoradas à esquerda pelo termo "desgostei muitíssimo" e à direita pelo termo "gostei muitíssimo".

TESTE DE PREFERÊNCIA – ESCALA HEDÔNICA

NOME: DATA:

Você está recebendo 3 amostras de bebida a base de soja. Por favor, avalie a sua preferência quanto ao:

AROMA			
Desgostei extremamente	_____	_____	_____
Desgostei muito	_____	_____	_____
Desgostei regularmente	_____	_____	_____
Desgostei ligeiramente	_____	_____	_____
Não gostei nem desgostei	_____	_____	_____
Gostei ligeiramente	_____	_____	_____
Gostei regularmente	_____	_____	_____
Gostei muito	_____	_____	_____
Gostei extremamente	_____	_____	_____
SABOR			
Desgostei extremamente	_____	_____	_____
Desgostei muito	_____	_____	_____
Desgostei regularmente	_____	_____	_____
Desgostei ligeiramente	_____	_____	_____
Não gostei nem desgostei	_____	_____	_____
Gostei ligeiramente	_____	_____	_____
Gostei regularmente	_____	_____	_____
Gostei muito	_____	_____	_____
Gostei extremamente	_____	_____	_____
DOÇURA			
Desgostei extremamente	_____	_____	_____
Desgostei muito	_____	_____	_____
Desgostei regularmente	_____	_____	_____
Desgostei ligeiramente	_____	_____	_____
Não gostei nem desgostei	_____	_____	_____
Gostei ligeiramente	_____	_____	_____
Gostei regularmente	_____	_____	_____
Gostei muito	_____	_____	_____
Gostei extremamente	_____	_____	_____
PREFERÊNCIA GERAL			
Desgostei extremamente	_____	_____	_____
Desgostei muito	_____	_____	_____
Desgostei regularmente	_____	_____	_____
Desgostei ligeiramente	_____	_____	_____
Não gostei nem desgostei	_____	_____	_____
Gostei ligeiramente	_____	_____	_____
Gostei regularmente	_____	_____	_____
Gostei muito	_____	_____	_____
Gostei extremamente	_____	_____	_____

Figura 3.4. Ficha de avaliação da bebida a base de extrato hidrossolúvel de soja e polpa de umbu.

3.2.6.1. Análise estatística dos resultados.

Os scores alcançados nos testes sensoriais foram avaliados através de análise de variância e método de comparação de médias de Tukey (STATISTICA v. 7.0). Os resultados foram considerados significativos para valores de $p < 0,05$ (GOMES, 1973).

3.2.7. Análises físico-químicas e químicas

Foram realizadas análises de umidade, cinzas e pH conforme item 3.2.2. e a determinação do teor de proteínas e lipídeos no extrato hidrossolúvel de soja (s) e na bebida onde se adicionou açúcar, polpa de umbu e goma (EHS + a + p + g). Além destas análises foi determinado:

3.2.7.1. Determinação das proteínas

A proteína foi quantificada pelo método de Kjeldahl, segundo metodologia do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (LARA et al., 1976).

3.2.7.2. Determinação de lipídeos

A quantidade de lipídeos foi obtida pela extração com hexano em um aparelho extrator Soxhlet, de acordo com método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (LARA et al., 1976).

3.2.8. Preparação das bebidas a base de extrato hidrossolúvel de soja para análise reológica.

Baseadas na análise sensorial foram utilizadas as seguintes amostras para determinação do comportamento reológico:

1 - Extrato hidrossolúvel de soja (EHS);

2 - Extrato hidrossolúvel de soja com adição de 12% de açúcar (EHS + a);

3 - Extrato hidrossolúvel de soja com adição de 12% de açúcar e 25 % de polpa de umbu (EHS + a + p);

4 - Extrato hidrossolúvel de soja com adição de 12% de açúcar, 25 % de polpa de umbu e 0,25% de goma xantana (EHS + a + p + g).

3.2.9. Comportamento reológico

3.2.9.1. Medidas reológicas em regime estacionário

As medidas reológicas foram feitas nas temperaturas de 10 a 50 ºC (item 3.2.4.1.), onde a taxa de deformação empregada variou de 0 - 300 s^{-1}.

3.9.10. Esquema geral das análises

Na Figura 3.5 é apresentado o esquema com as análises realizadas na polpa de umbu e na bebida preparada a base de extrato hidrossolúvel de soja e polpa de umbu.

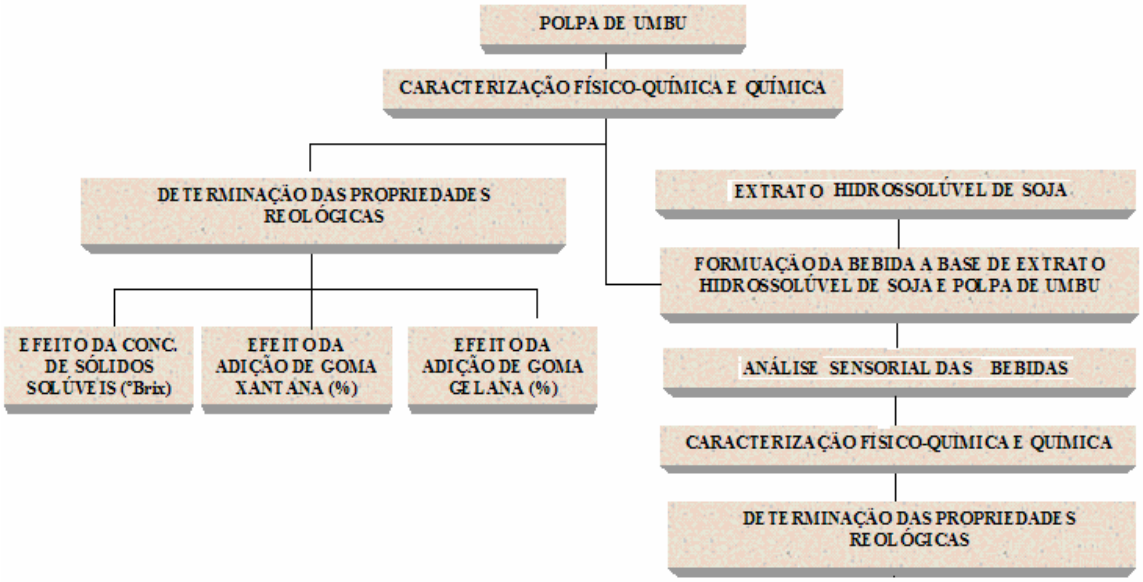


Figura 3.5. Esquema das análises realizadas nas amostras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização físico-química e química da polpa de umbu

De maneira geral, fatores genéticos, climáticos e práticas culturais exercem influências marcantes sobre a composição físico-química e química e a qualidade nutricional das frutas. Portanto a caracterização da amostra é de fundamental importância quando se deseja comparar dados reológicos.

Os resultados das análises físico-químicas e químicas da polpa de umbu são apresentados na Tabela 4.1

Tabela 4.1. Caracterização físico-química e química da polpa de umbu

Composição	Valores obtidos
Umidade (% b.u)	87,51 ± 0,02
Açúcares totais (% glicose)	6,90 ± 0,32
Açúcares redutores (% glicose)	3,20 ± 0,20
Sólidos Solúveis (ºBrix)	10,00 ± 0,00
Acidez (% de ácido cítrico)	1,32 ± 0,05
pH	2,25 ± 0,00
Pectina (% pectato de cálcio)	0,536 ± 0,09
Cinzas (%)	0,50 ± 0,01

Constata-se que o teor de açúcar redutor está dentro entre os valores apresentados por BORGES et al. (2004) e ALMEIDA (1999), 2,67 e 3,80 (% de glicose), respectivamente. Quanto a acidez total titulável os resultados 1,56 e 1,45 (% de ácido cítrico), determinados por COSTA et al. (2004) e LIMA et al. (2003) encontram-se um pouco acima do valor experimental. O pH está de acordo com COSTA et al. (2004), LIMA et al. (2003) e FERREIRA (2000) que registraram valores de 2,28, 2,16 e 2,21, respectivamente, para polpas de umbu em estádio maduro. O teor de pectina da fruta

determinado por DIAS et al. (2007) foi de 0,38 g/100g, LIMA et al. (2003) de 0,31 g/100, e ALMEIDA (1999) 0,53 g/100g.

A polpa de umbu apresenta valor de pH inferior a 4, sendo classificada como muito ácida, o que dificulta o crescimento de microrganismos e também interfere na dissolução de polissacarídeos. As gomas xantana e gelana são estáveis no meio dispersante e no intervalo de temperatura estudada.

A presença de pectina torna-se importante nesse estudo, uma vez que se avalia o comportamento reológico do produto, pois esta possui alto peso molecular (macromoléculas), podendo causar um grande impacto na estrutura do mesmo. O teor de pectina (g de pectato de cálcio/100 g) é bem variado nas frutas e hortaliças (THAKUR, SINGH E HANDA, 1997): maçã (0,5-1,6), bagaço da maçã (1,5-2,5), cenoura (0,2-0,5), mamão-papaia (0,66-1,00), polpa de beterraba (1,0), polpa de cítricos (2,5-4,0), tamarindo (1,71), casca de laranja (3,5-5,5).

4.2. Comportamento reológico da polpa de umbu - influência da concentração de sólidos solúveis (ºBrix) e da temperatura (ºC).

4.2.1. Comportamento reológico em cisalhamento estacionário

4.2.1.1. Comportamento reológico dependente do tempo

Na Figura 4.1 é apresentada uma curva de escoamento típica da polpa de umbu obtida a 30ºC. Com o intuito de verificar a existência de tixotropia no sistema a polpa foi primeiramente submetida a um aumento da tensão de cisalhamento (Subida 1), seguido por uma redução na tensão (Descida) e, posteriormente, uma nova rampa crescente (Subida 2) de tensão de cisalhamento.

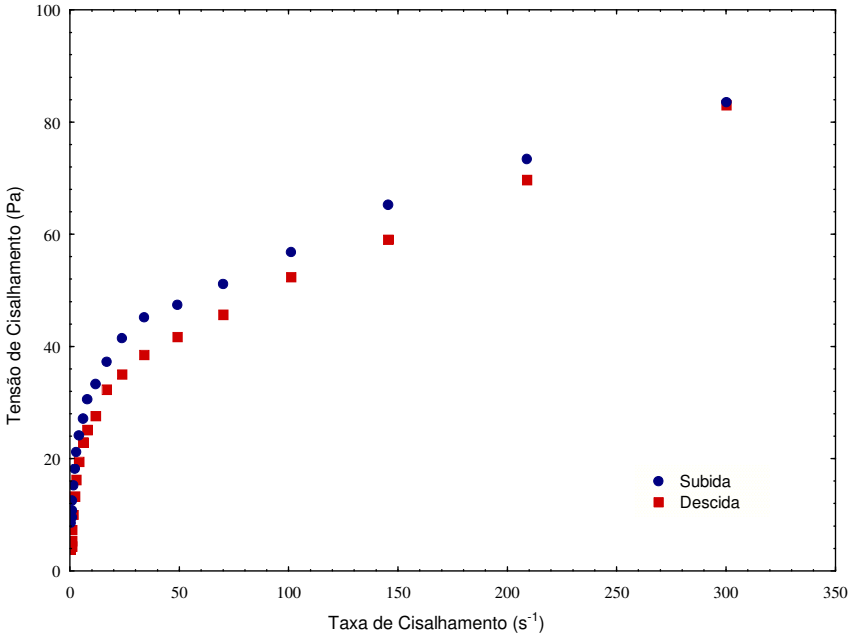


Figura 4.1. Curva de escoamento para a polpa de umbu (10 ºBrix) a 30 ºC.

A quebra da estrutura com a aplicação do cisalhamento, resultando em redução da viscosidade, pode ser observada pela diferença entre as curvas de escoamento dos diferentes ciclos de cisalhamento, indicando a presença de tixotropia, que é característico de grande parte dos fluidos e pastas de frutas vegetais (BARBOSA-CANOVAS, IBARZ & PELEG, 1993). A último ciclo de cisalhamento (subida 2) coincidiu com o ciclo anterior (descida), evidenciando a eliminação da tixotropia do sistema após a primeira rampa de tensão de cisalhamento.

4.2.1.2. Efeito da concentração de sólidos solúveis e da temperatura

Os dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, realizados após eliminação da tixotropia e ajustadas pelo modelo de Herschel-Bulkley, para diferentes concentrações (10, 15, 20 e 25 ºBrix) e temperaturas (10, 20, 30, 40 e 50 ºC) estão plotados nas Figuras 4.2 a 4.5. Na Figura 4.6 é apresentada a influência da concentração da polpa no comportamento reológico a 30 ºC

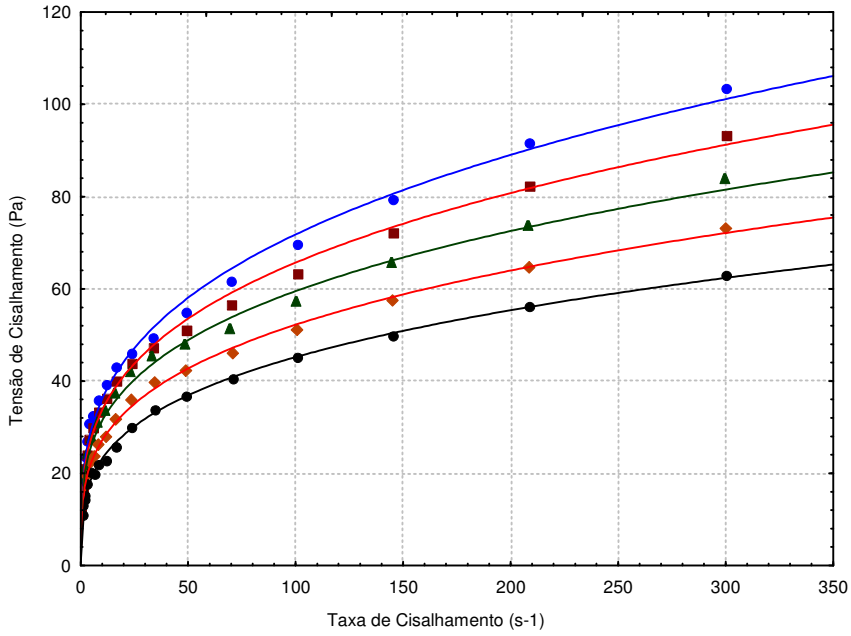


Figura 4.2. Curva de escoamento para polpa de umbu (10 ºBrix): 10 ºC(●), 20 ºC (■), 30 ºC (▲), 40 ºC(♦), 50 ºC(●).

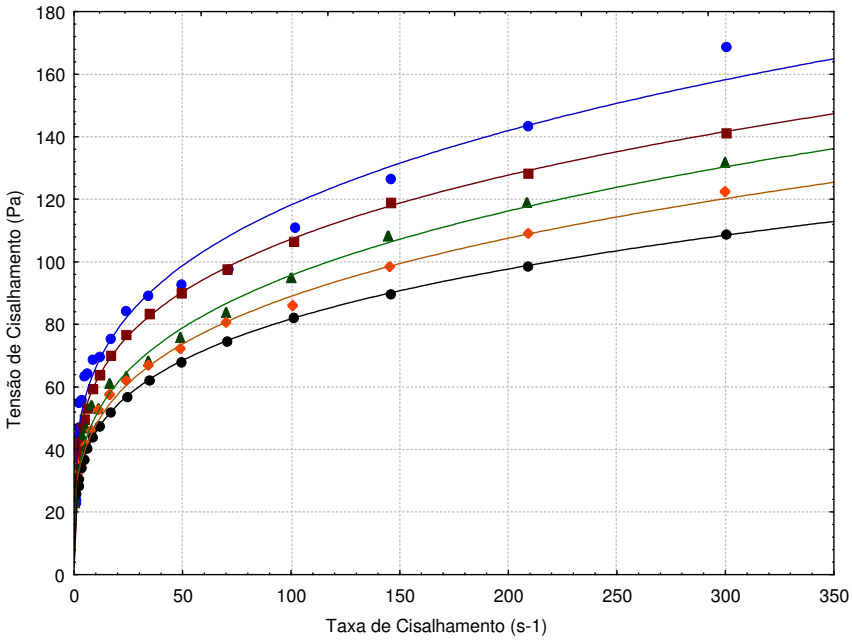


Figura 4.3. Curva de escoamento para polpa de umbu (15 ºBrix): 10 ºC(●), 20 ºC (■), 30 ºC (▲), 40 ºC(♦), 50 ºC(●).

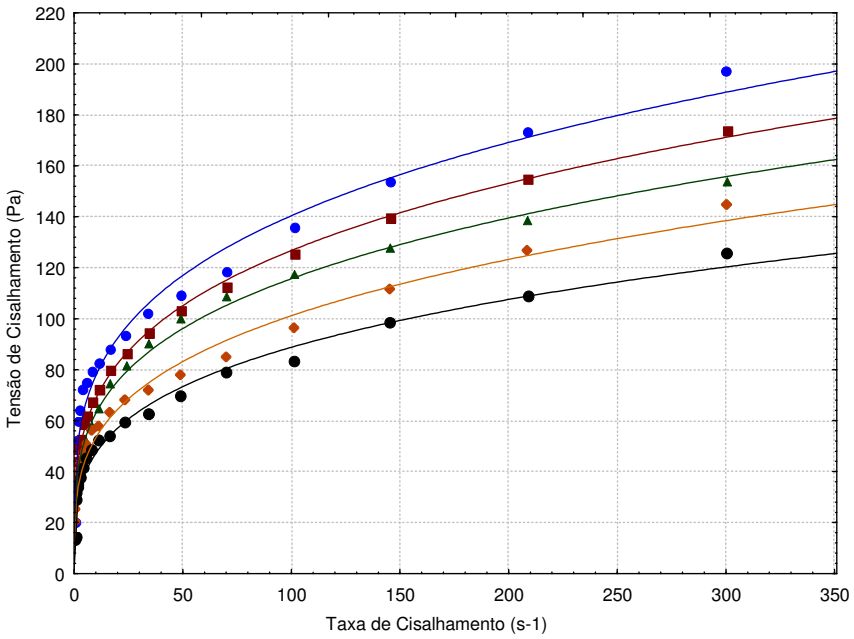


Figura 4.4. Curva de escoamento para polpa de umbu (20 ºBrix): 10 ºC(●), 20 ºC (■), 30 ºC (▲), 40 ºC(♦), 50 ºC(●).

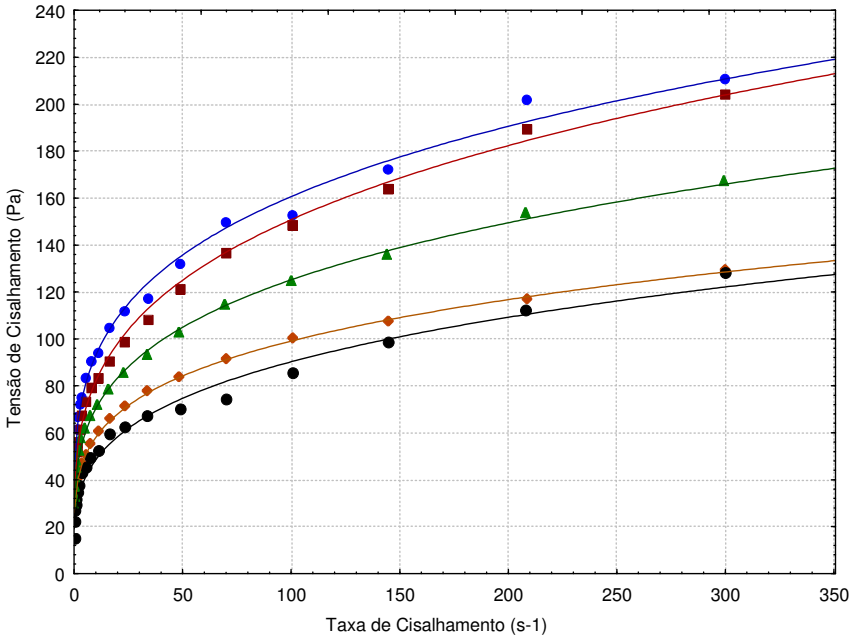


Figura 4.5. Curva de escoamento para polpa de umbu (25ºBrix): 10 ºC(●), 20 ºC (■), 30 ºC (▲), 40 ºC(♦), 50 ºC(●).

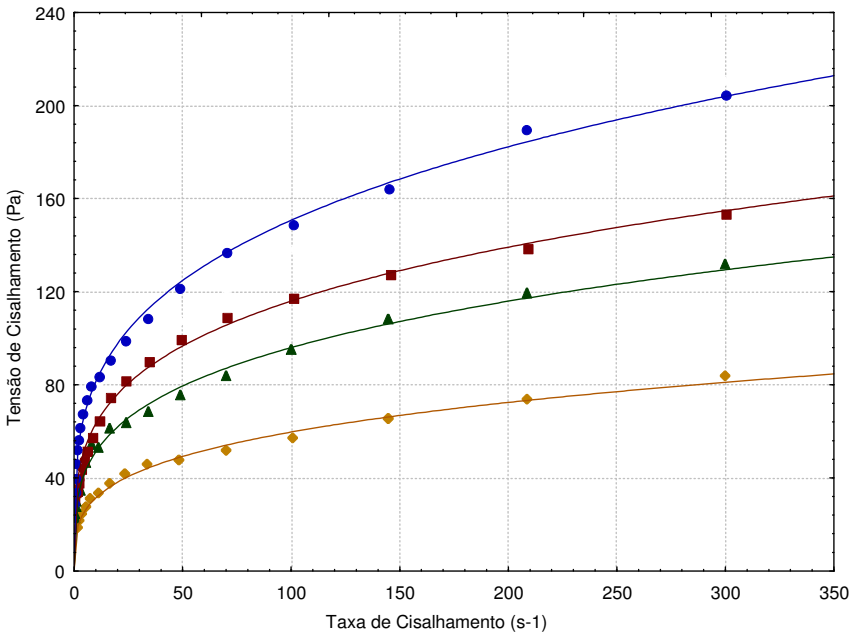


Figura 4.6. Curva de escoamento para polpa de umbu a 30 ºC: 10 ºBrix (♦), 15 ºBrix (▲), 20 ºBrix (■), 25 ºBrix (●) - Efeito da concentração da polpa

Em relação ao comportamento independente do tempo, a polpa de umbu não apresenta uma relação linear entre a tensão e a taxa de cisalhamento, inclinações das curvas de escoamento, que diminuíram com o aumento da taxa de deformação, o que caracteriza a pseudoplastcidade das amostras. Para uma taxa de deformação fixa, a tensão de cisalhamento diminuiu à medida que aumenta a temperatura. Pode-se observar na Figura 4.6 que a tensão de cisalhamento aumenta com a concentração, a taxa de deformação e temperatura constante.

KROKIDA, MAROULIS & SARAVACOS (2001) realizaram um estudo comparando vários dados reológicos disponíveis na literatura para polpas de frutas, incluindo goiaba, framboesa, abacaxi, damasco, maçã, manga, tamarindo, groselha-preta e encontrou que todas estas polpas de frutas apresentam comportamento pseudoplástico. De acordo com SARAVACOS & KOSTAROPOULOS (1995) e BARBOSA-CÁNOVAS & PELEG (1993) é característico de uma grande parte de fluidos e pastas de vegetais e frutas apresentarem tensão residual.

O ajuste dos modelos Herschel-Bulkley e de Ostwald-de-Waele estão apresentados nas Tabelas 4.2 e 4.3 para as polpas de umbu em diferentes temperaturas e concentrações de sólidos solúveis.

Tabela 4.2. Efeito da concentração da polpa de umbu (ºBrix) nas propriedades reológicas, em diferentes temperaturas, determinadas pelo modelo de Herschel-Bulkley.

C, ºB / T, ºC	K, Pa.s^n	n	τ_o, Pa	χ^2	R^2
10					
10	14,67	0,33	4,70	78,54	0,994
20	14,71	0,31	3,47	40,10	0,996
30	14,12	0,30	3,17	34,17	0,993
40	11,96	0,31	2,82	11,41	0,997
50	11,29	0,30	0,75	16,59	0,996
15					
10	27,88	0,29	11,82	106,58	0,961
20	27,51	0,28	9,76	23,40	0,999
30	23,62	0,29	4,49	117,83	0,994
40	23,73	0,28	2,55	39,49	0,997
50	23,42	0,26	2,54	3,23	0,999
20					
10	33,48	0,29	12,18	90,28	0,977
20	32,56	0,29	5,93	99,87	0,997
30	30,56	0,28	4,70	176,74	0,994
40	24,62	0,29	4,49	54,64	0,977
50	24,10	0,28	1,27	46,51	0,973
25					
10	45,09	0,26	9,99	325,12	0,994
20	37,75	0,29	8,06	197,85	0,996
30	35,94	0,26	3,77	78,35	0,998
40	31,81	0,24	2,17	7,85	0,999
50	24,29	0,24	1,77	328,17	0,992

Tabela 4.3 Efeito da concentração da polpa de umbu (ºBrix) nas propriedades reológicas, em diferentes temperaturas, determinadas pelo modelo de Ostwald-de-Waele

C, ºB / T, ºC	*K*, Pa.s^n	*n*	χ^2	R^2
10				
10	18,59	0,30	89,80	0,993
20	17,64	0,29	28,63	0,996
30	16,55	0,28	35,74	0,993
40	14,06	0,29	12,22	0,997
50	11,89	0,29	16,70	0,996
15				
10	38,12	0,25	108,92	0,961
20	36,11	0,24	46,15	0,998
30	27,41	0,27	123,14	0,994
40	25,29	0,27	55,48	0,997
50	25,13	0,26	12,22	0,999
20				
10	43,96	0,25	93,30	0,976
20	37,41	0,27	104,90	0,996
30	34,70	0,26	82,59	0,993
40	28,43	0,28	55,18	0,977
50	25,19	0,27	46,55	0,974
25				
10	54,12	0,24	348,50	0,993
20	44,79	0,26	220,10	0,996
30	39,28	0,25	81,51	0,998
40	33,75	0,23	8,58	0,999
50	25,81	0,27	328,81	0,992

Os valores do índice de comportamento de fluxo (*n*) foram menores do que 1, o que indica comportamento não-Newtoniano com características de fluido pseudoplástico. FREITAS (2002) obteve valores de $0,46 \leq n \leq 1,05$ quando analisou as polpas de açaí, acerola, cajá, caju, coco, graviola, maracujá, melão, pitanga, tangerina e uva.

As equações de Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waele observados os valores de R^2 e χ^2 pode-se dizer que o melhor modelo de ajuste foi o de Herschel-Bulkley com valores de $R^2 > 0,96$.

Resultados similares foram publicados para suco de cereja clarificado (GINER et al., 1996), suco de groselha preta (IBARZ, PAGÁN & MIGUELSANZ, 1992b) e suco de acerola (SILVA et al., 2005). Vários fatores afetam o comportamento reológico de polpa de fruta incluindo a concentração de sólidos solúveis (HERNANDEZ et al. 1995).

Os valores médios dos parâmetros obtidos apresentaram dependência com a temperatura e concentração da amostra. De acordo com o modelo Herschel-Bulkley a tensão inicial e o índice de consistência diminuem com o aumento da temperatura para uma mesma amostra (ex. 10 ºBrix nas temperaturas de 10-50 ºC: 14,67-11,29 Pa e 4,70-0,75 Pa.s^n respectivamente), mas aumentam com a concentração da polpa (ex.: 10-25 ºBrix na temperatura de 20 ºC: 3,47-8,06 Pa e 14,71-37,5 Pa.s^n, respectivamente) enquanto o índice de comportamento de fluido apresentou-se praticamente estável com o aumento da temperatura e pequena diminuição com a concentração, variando entre 0,24-0,33.

Como a temperatura tem um efeito relativamente pequeno sobre o índice de comportamento de fluxo, essa variação pode ser devida ao ajuste matemático, ou ainda atribuído ao efeito do deslizamento. O decréscimo da tensão residual com o aumento da temperatura, também pode ser associado ao deslizamento, pois há uma diminuição da viscosidade na camada de líquido contínua formada entre a geometria e a amostra (SARAVACOS & KOSTAROPOULOS, 1995).

A concentração de sólidos solúveis e insolúveis tem um forte efeito não-linear na viscosidade de alimentos fluidos newtonianos, ou no coeficiente de consistência e na viscosidade aparente de fluidos não-newtonianos (JUSZCZAK e FORTUNA, 2003).

Na Tabela 4.4 encontram-se os dados de viscosidade aparente da polpa de umbu nas diferentes concentrações (ºBrix).

Tabela 4.4. Viscosidade aparente da polpa de umbu (Pa.s) em diferentes temperaturas e concentrações de sólidos solúveis (ºBrix) a uma taxa de deformação de 100 s^{-1}

C, ºBrix	T, ºC				
	10	**20**	**30**	**40**	**50**
10	0,75	0,70	0,67	0,63	0,59
15	1,11	1,06	0,95	0,86	0,72
20	1,30	1,29	1,18	0,96	0,83
25	1,52	1,47	1,26	1,09	0,97

Pode-se observar que a concentração de polpa de umbu influenciou o aumento da viscosidade e o aumento da temperatura a diminuiu. Uma razoável concordância foi obtida quando estes resultados são comparados com aqueles apresentados nos estudos de produtos alimentícios fluidos adicionados ou não de gomas (SINGH & EIPESON, 2000; TELIS-ROMERO et al., 2001, GOMES et al. 2001). A redução observada nos valores de viscosidade pode ser atribuída ao aumento das distâncias intermoleculares como um resultado da expansão térmica proporcionada pela mudança da temperatura (CONSTELA, LOZANNO & CRAPISTE, 1989).

O efeito da concentração (ºBrix) na polpa de umbu ajustadas pelos modelos exponencial e potencial (Equações 2.11 e 2.12) é apresentado nas Tabelas 4.5 e 4.6.

Tabela 4.5. Parâmetros do modelo exponencial para polpa de umbu - efeito da concentração (ºBrix).

T, ºC	a_1	a_2	R^2
10	0,55	0,04	0,95
20	0,52	0,04	0,94
30	0,51	0,04	0,90
40	0,49	0,03	0,94
50	0,49	0,03	0,86

Tabela 4.6. Parâmetros do modelo potencial para polpa de umbu - efeito da concentração (ºBrix).

T, ºC	a_1	a_2	R^2
10	0,15	0,73	0,99
20	0,13	0,76	0,98
30	0,15	0,67	0,97
40	0,18	0,57	0,98
50	0,20	0,48	0,91

Na Tabelas 4.5 e 4.6 têm-se o resumo dos parâmetros de regressão do modelo exponencial e potencial para a viscosidade aparente a 100 s^{-1}, nas diferentes concentrações de sólidos solúveis. O coeficiente de determinação obtido foi mais alto no modelo potencial, indicando que se descrevem adequadamente as variáveis associadas. SILVA, GUIMARÃES & GASPARETTO (2005) utilizaram satisfatoriamente estes modelos para o suco de acerola.

O efeito da temperatura na viscosidade aparente em taxas de cisalhamentos específicas pode ser descrito por uma equação do tipo Arrhenius (Equação 2.10), em que a viscosidade diminui como numa função exponencial com a temperatura (Tabela 4.5).

Tabela 4.7. Energia de ativação para polpa de umbu em diferentes concentrações de sólidos solúveis

C, ºBrix	A, Pa.s	E_a, Kcal/g.mol	R^2
10	0,11	1,08	0,99
15	0,83	1,47	0,97
20	0,40	1,99	0,88
25	0,03	2,06	0,94

Os valores da energia de ativação (Tabela 4.7) variam entre 1,08 kcal/gmol, para as amostras de polpa de umbu a 10°Brix, e 2,06 kcal/gmol, para as amostras a 25 °Brix. Existe uma clara tendência da energia de ativação aumentar com a concentração das polpas de

umbu, comportamento esse também registrado para suco mirtilo "blueberry" e concentrado de morango (NILDO et al., 2007; JUSZCZAK & FORTUNA, 2003), respectivamente.

FERREIRA et al. (2002) encontrou valores de energia de ativação para a polpa de goiaba integral de 1,47 Kcal/g.mol a uma taxa de deformação de 200 s^{-1}, enquanto ALEXANDRE (2002) trabalhando com polpa de açaí encontrou valores de 1,5 Kcal/g.mol e 1,3 Kcal/g.mol na deformação de 100 s^{-1}, em geometrias de superfície rugosa e lisa, receptivamente, e afirma que estes valores são característicos dos purês de frutas com alto teor de sólidos em suspensão. RAO, BOURNE e COOLEY (1981) encontraram o valor de 2,3 Kcal/g.mol para tomate concentrado, LOPES, (2005) encontrou para polpa de pitanga a 2,947 Kcal/g.mol e CARNEIRO et al. (2000) 3,321 Kcal/g.mol para energia de ativação da polpa de açaí.

Combinando as equações de Arrhenius e da Lei da Potência (Equações 2.19 e 2.16, respectivamente), foram obtidos os parâmetros apresentados na Tabela 4.8:

Tabela 4.8. Resultados dos parâmetros obtidos para viscosidade aparente em função da temperatura (K) e da concentração (ºBrix)

a_1	a_2	a_3	χ^2	R^2
0,025	1,791	0,381	0,115	0,921
0,007	1,794	0,667	0,068	0,953

As constantes da Tabela 4.8 foram obtidas por regressão não-linear dos dados experimentais, usando o programa Statistica v.5.0. Na Figura 4.7. é apresentada a superfície de resposta.

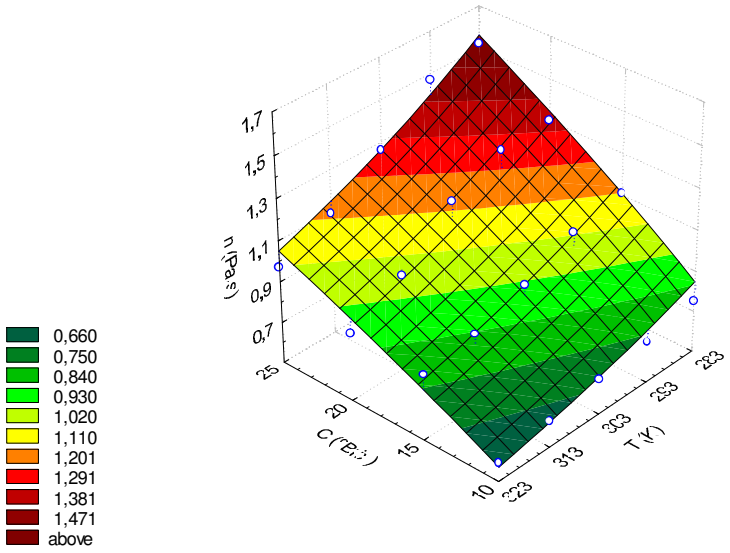


Figura 4.7. Efeito da temperatura e conteúdo dos sólidos solúveis na viscosidade aparente da polpa de umbu.

Esta equação foi usada com sucesso pelos autores para suco de maracujá, cereja, laranja groselha, cereja FREITAS (2002), GINER et al. (1996), IBARZ, GONZALEZ & ESPLUGAS (1994), IBARZ, PAGÁN & MINGUELSANZ (1992) IBARZ (1992), respectivamente.

A correlação dos parâmetros índice de consistência (*K*), tensão inicial (τ_o) e índice de comportamento de fluxo (n) em função da temperatura (K) e concentração (ºBrix) é apresentada na Tabela 4.9.

Tabela 4.9. Parâmetros obtidos para K, τ_o e n em função da temperatura e da concentração

a_1	a_2	a_3	χ^2	R^2
Índice de consistência (Equações 2.21 e 2.24, respectivamente)				
38,224 0,088	-0,010 912,109	0,929 0,925	116,755 119,416	0,927 0,925
Tensão inicial (Equações 2.22 e 2.25, respectivamente)				
$4{,}222.10^5$ $0{,}005.10^4$	-0,043 $3{,}729\ .10^3$	0,477 0,4759	45,834 46,504	0,8015 0,7987
Índice de comportamento de fluxo (Equações 2.23 e 2.26, respectivamente)				
0,850 0,251	-0,002 181,689	-0,171 -0,171	0,003 0,003	0,7058 0,7040

Os gráficos tridimensionais possibilitam a melhor visualização do efeito combinado destas variáveis nos parâmetros K, τ_o e n (Figuras 4.8, 4.9 e 4.10).

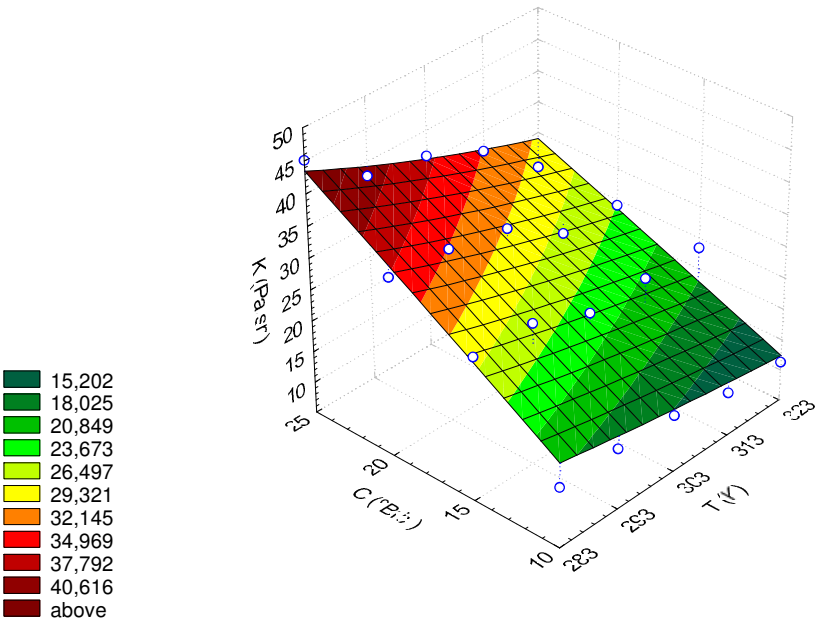


Figura 4.8. Efeito da temperatura e concentração no índice de consistência.

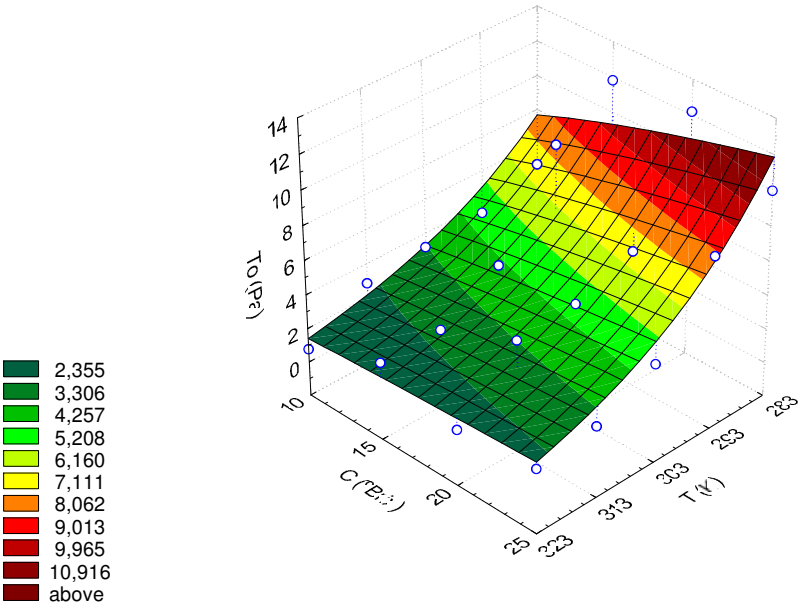


Figura 4.9. Efeito da temperatura e concentração na tensão inicial.

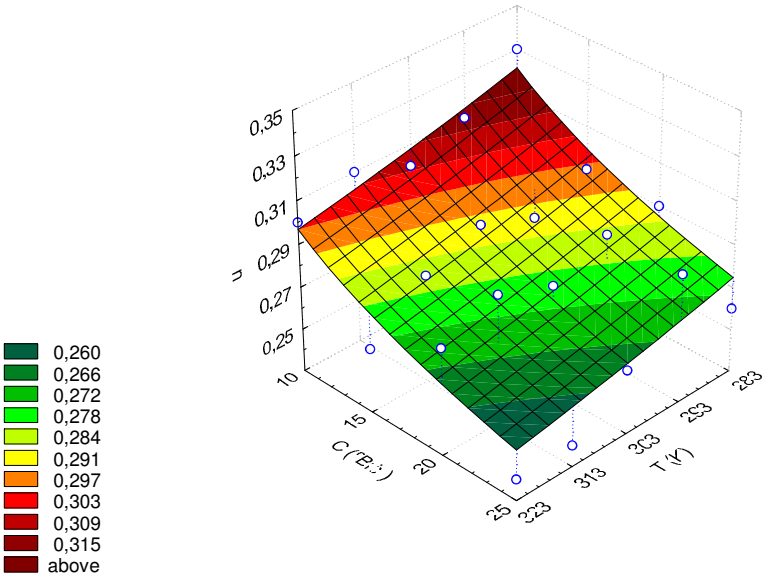


Figura 4.10. Efeito da temperatura e da concentração no índice de comportamento de fluxo

De modo geral os valores do índice de consistência tendem a aumentar com o aumento da concentração e diminuir com o aumento da temperatura, a tensão inicial diminui com o aumento da temperatura e aumenta com a concentração, e o índice de comportamento de fluxo diminuiu com o aumento da temperatura e permaneceu praticamente constante com o aumento da concentração da polpa.

ASSIS et al. (2006) e QUISPE (2003) utilizaram estas equações para correlacionar os parâmetros em função da temperatura e concentração, quando estudou o comportamento reológico de polpa de cajá e suspensões de amido de amaranto, respectivamente.

4.2.2. Ensaios oscilatórios em estado dinâmico.

4.2.2.1. Determinação do intervalo de viscoelasticidade linear

Informações de varreduras de freqüência podem ser usadas para caracterizar ou classificar uma dispersão.

Para verificar a faixa de tensão de oscilação na qual a viscosidade é linear, foram feitas varreduras de tensão de oscilação. Para cada material, a uma dada temperatura e concentração, eram necessários cerca de três testes de varredura de tensão de oscilação para verificar a faixa de viscoelasticidade linear. Para esta análise utilizou-se uma faixa de tensão de 0 a 100 Pa num valor de freqüência de 1,0Hz. Como exemplo a Figura 4.11 apresenta a o módulo complexo (G*) e a deformação na freqüência estudada.

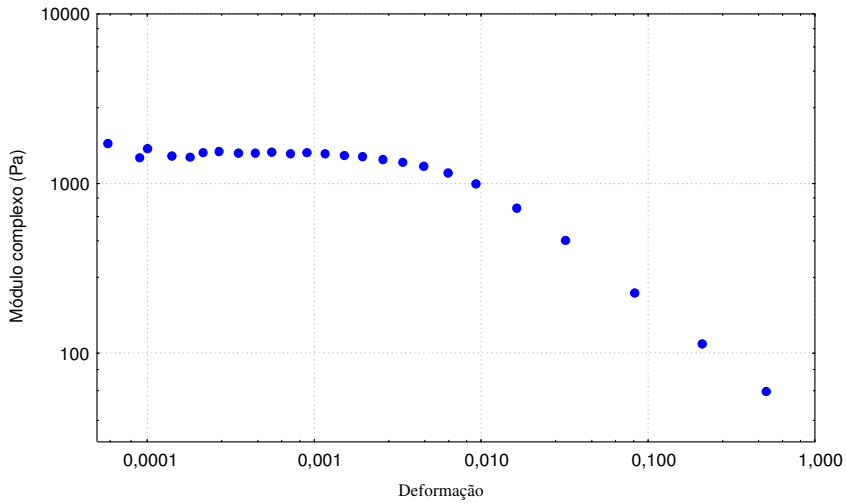


Figura 4.11. Determinação do intervalo de viscoelasticidade linear da polpa de umbu (10 ºBrix) na temperatura de 10 ºC.

É assegurado assim um comportamento viscoelástico, região conhecida por ser onde a estrutura é preservada, ou seja, os módulos de armazenamento (G') e de perda (G'') são independentes da freqüência. É de fundamental importância a análise em regime oscilatório

ser realizadas nesta região, pois de forma diferente, os valores dos módulos serão muito menores devido ao cisalhamento e a destruição da rede péctica.

4.2.2.2. Parâmetros reológicos dinâmicos para polpa de umbu em diferentes concentrações de sólidos solúveis (ºBrix).

O efeito da concentração da polpa de umbu em diferentes concentrações sobre os módulos de estocagem (G') e de perda (G") como função da freqüência (ω) em diferentes temperaturas (10, 30 e 50 ºC). está apresentado nas Figuras 4.12 a 4.15

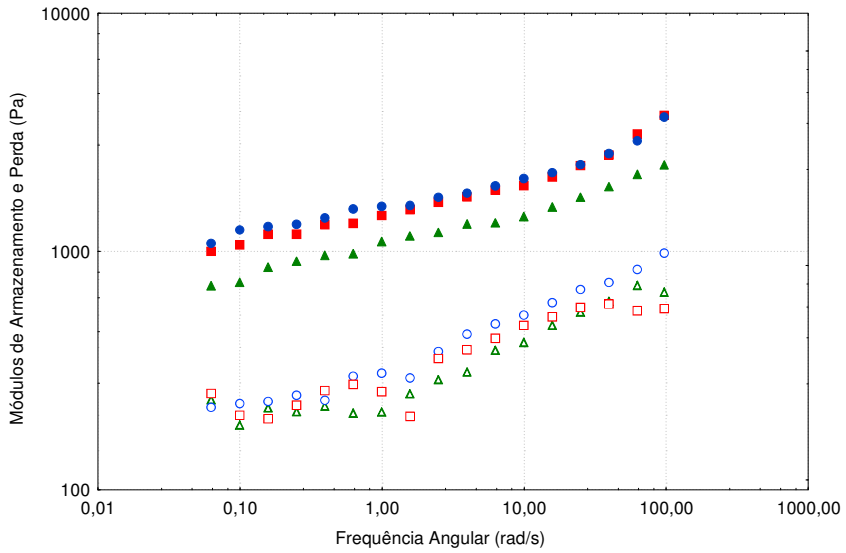


Figura 4.12. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu com 10 ºBrix, nas temperaturas de 10 ºC (● o), 30 ºC (■ □) e 50 ºC (▲ Δ).

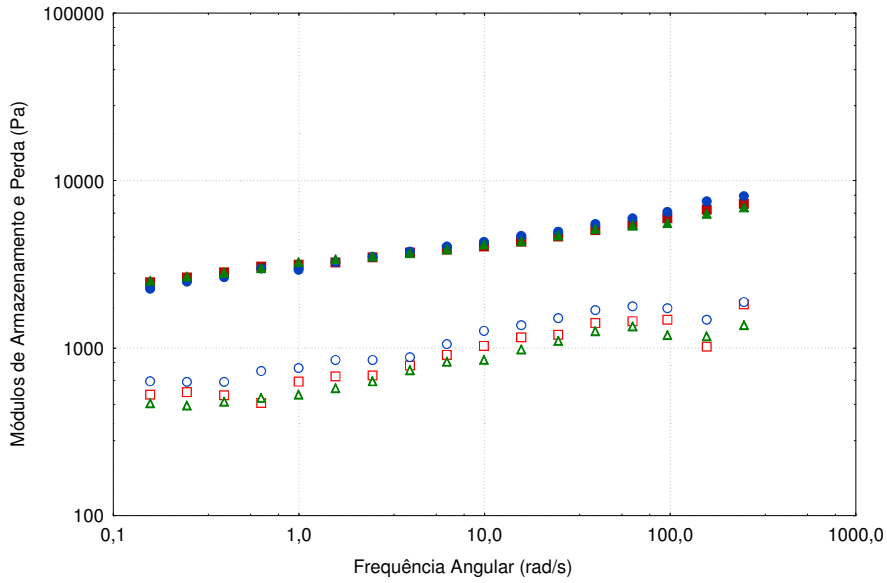


Figura 4.13. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu com 15 ºBrix, nas temperaturas de 10ºC (• o), 30ºC (■ □) e 50ºC (▲ Δ).

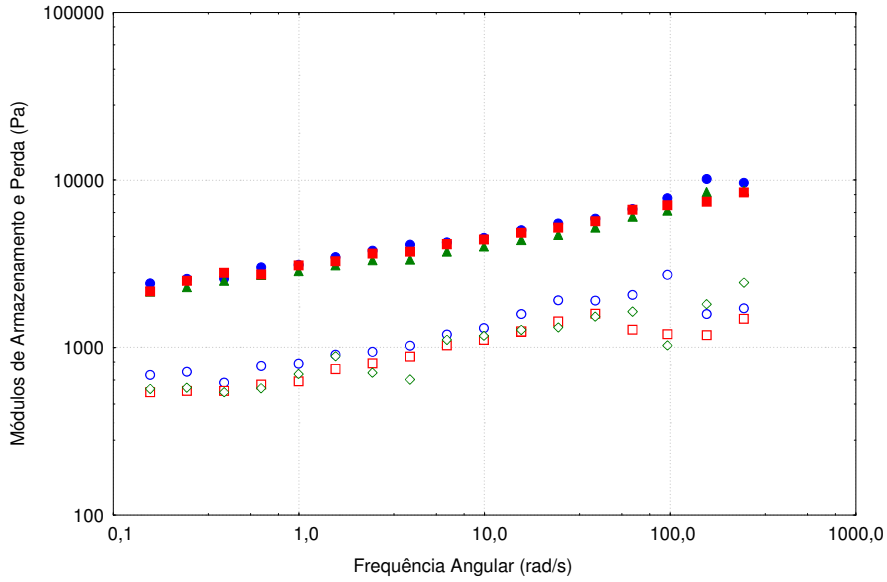


Figura 4.14. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu com 20 ºBrix, nas temperaturas de 10 ºC (• o), 30 ºC (■ □) e 50 ºC (▲ Δ).

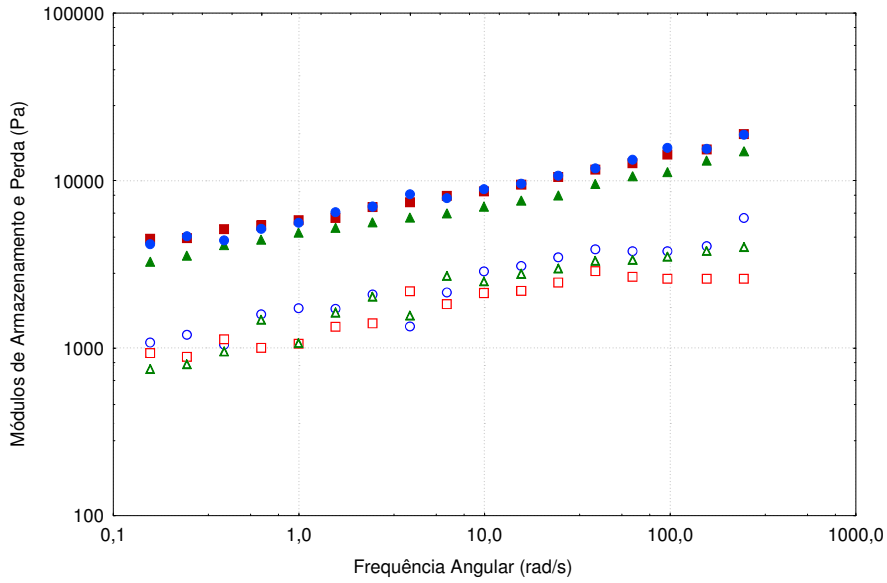


Figura 4.15. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu com 25 ºBrix, nas temperaturas de 10 ºC (● o), 30 ºC (■ □) e 50 ºC (▲ Δ).

O módulo de armazenamento (elástico) foi maior que o módulo de perda (viscoso) para todo o intervalo de freqüência usada no estudo, demonstrando assim, comportamento de gel fraco ou físico para todas as amostras de polpa de umbu em diferentes concentrações. Verifica-se uma redução nos módulos de armazenamento e perda com o aumento da temperatura; isto é explicado pela diminuição das interações e ligações no sistema.

Na Figura 4.12 observa-se um pico acentuado no módulo viscoso (módulo de perda) que pode ser atribuído a uma transição secundária. Pôde ser constatado através do ensaio dinâmico-mecânico que o material apresenta uma transição bem definida. O comportamento é semelhante para todas as temperaturas estudadas.

Para uma melhor visualização da influência da concentração de sólidos solúveis foi gerado o espectro mecânico apresentado na Figura 4.16.

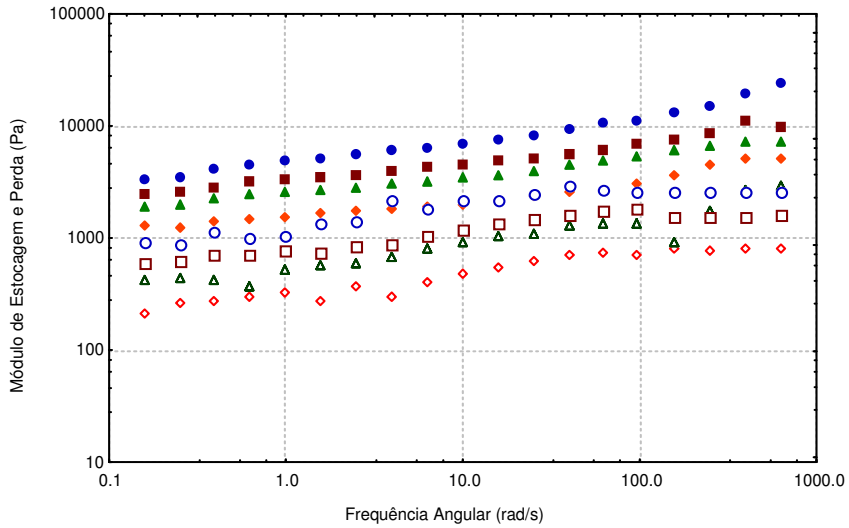


Figura 4.16. Efeito da concentração da polpa de umbu sobre os módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência, na temperatura de 30ºC: 25 ºBrix (● ○), 20 ºBrix (■ □), 15 ºBrix (▲ △), 10 ºBrix (♦ ◇).

Observa-se um deslocamento nos módulos de armazenamento e perda para faixas mais altas nos espectros, com o aumento da concentração de sólidos solúveis, resultado do aumento no número e na intensidade das ligações e interações existentes no sistema. Com o aumento da freqüência não foi observado o "fenômeno de crossover", ou seja, a interseção entre os dois módulos. Este fenômeno só ocorre quando G'= G", ou seja, no ponto onde a fase log (δ) é igual a π/4. Uma vez determinado que os sistemas possuem caráter de gel, a partir deste ponto passou-se a considerá-los como géis e não mais como um sistema.

Na Figura 4.17. pode ser observado o comportamento da tangente delta (δ) em função da freqüência.

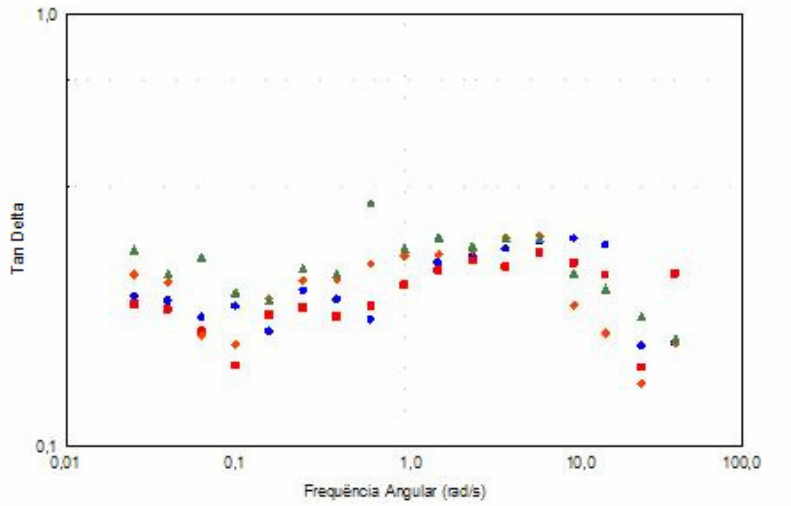


Figura 4.17. Tangente do ângulo de fase em função da freqüência em diferentes concentrações de sólidos solúveis, a 30 ºC: 25 ºBrix (●), 20 ºBrix (■), 15 ºBrix (▲), 10 ºBrix (♦).

No espectro mecânico (Figuras 4.08 a 4.11) foi possível observar que os sistemas comportam-se como géis fracos (G'>G"), visto que apresentam dependência da freqüência. Estes resultados corroboram com a análise dos valores de tan δ, o qual é a razão G"/G', essa propriedade foi sempre menor que 1, o que é característico de géis que são sistemas estruturados.

4.3. Comportamento reológico da polpa de umbu – influência da adição de goma xantana (%) e da temperatura.

4.3.1. Comportamento reológico em regime estacionário

4.3.1.1. Efeito da concentração de goma xantana dispersa em polpa de umbu e da temperatura

As Figuras 4.18 a 4.21. representam os reogramas (tensão de cisalhamento versus taxa de cisalhamento) obtidas em diferentes temperaturas para a adição de goma xantana (0,25, 0,50, 0,75 e 1,00 %) na polpa de umbu com 10 ºBrix. Na Figuras 4.22 é apresentada a influência da concentração da goma xantana na reologia a 30 ºC.

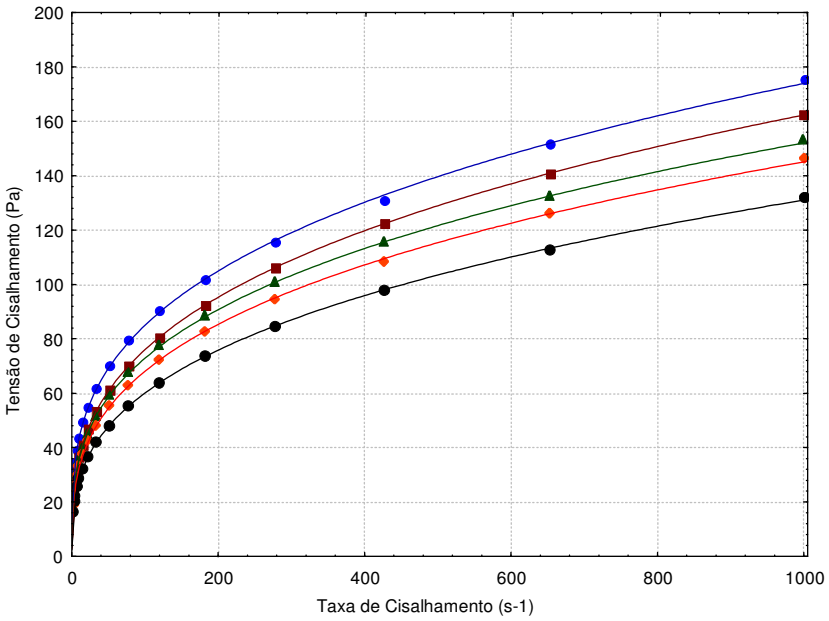


Figura 4.18. Curva de escoamento para suspensões contendo polpa de umbu (10ºBrix) e 0,25 % de goma xantana: 10 ºC(●), 20 ºC (■), 30 ºC (▲), 40 ºC(♦), 50 ºC (•).

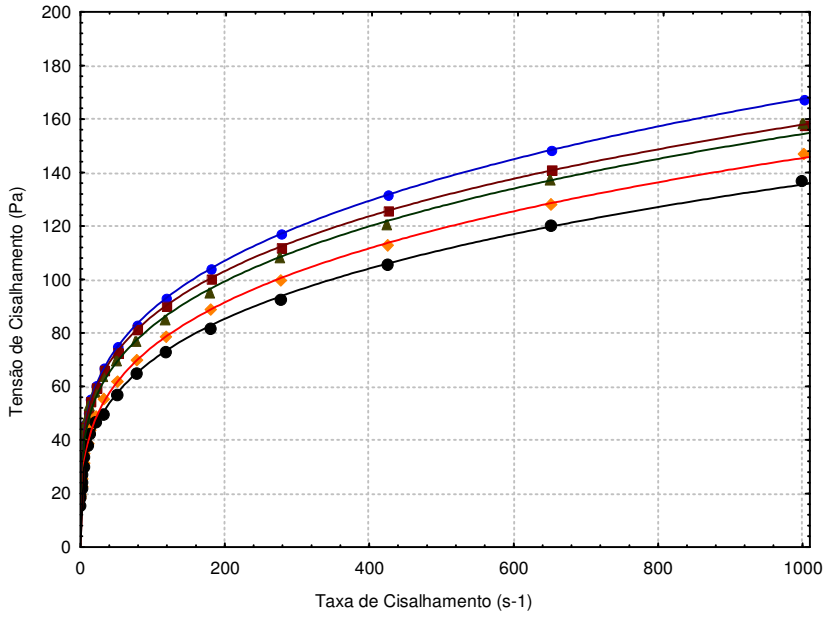


Figura 4.19. Curva de escoamento para suspensões contendo polpa de umbu (10ºBrix) e 0,50 % de goma xantana: 10 ºC(●), 20 ºC (■), 30 ºC (▲), 40 ºC(♦), 50 ºC (•).

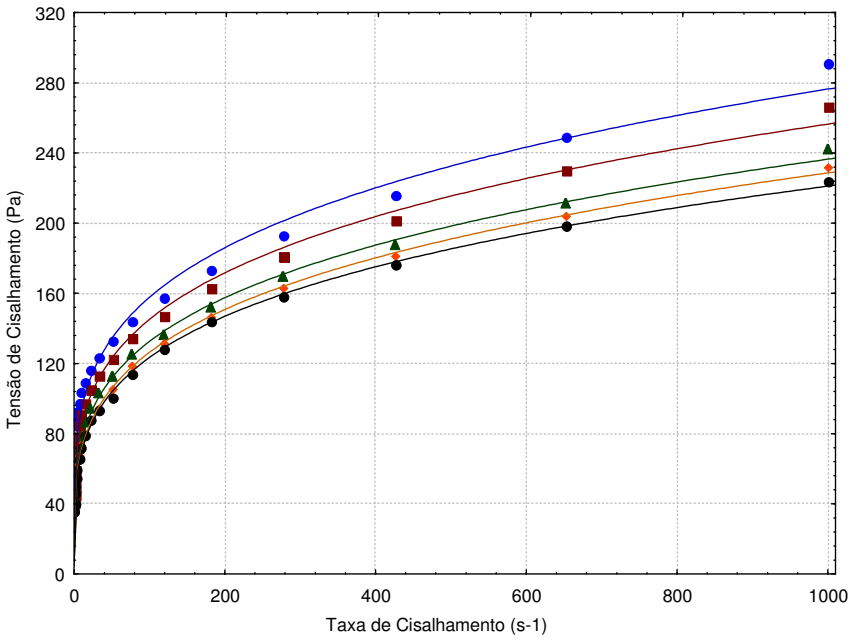


Figura 4.20. Curva de escoamento para suspensões contendo polpa de umbu (10 ºBrix) e 0,75 % de goma xantana: 10 ºC(●), 20 ºC (■), 30 ºC (▲), 40 ºC(♦), 50 ºC (•).

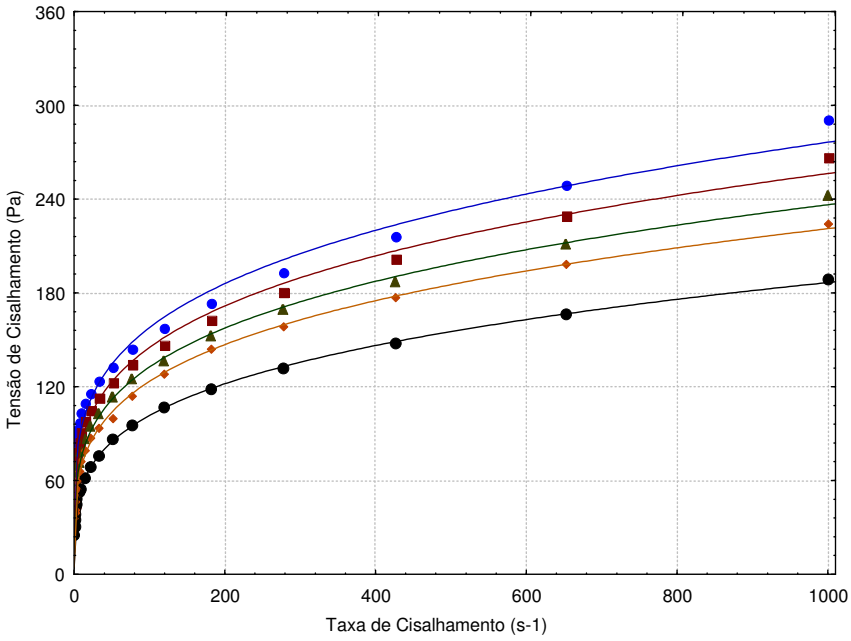


Figura 4.21. Curva de escoamento para suspensões contendo polpa de umbu (10 ºBrix) e 1,00 % de goma xantana: 10 ºC(●), 20 ºC (■), 30 ºC (▲), 40 ºC(♦), 50 ºC (•).

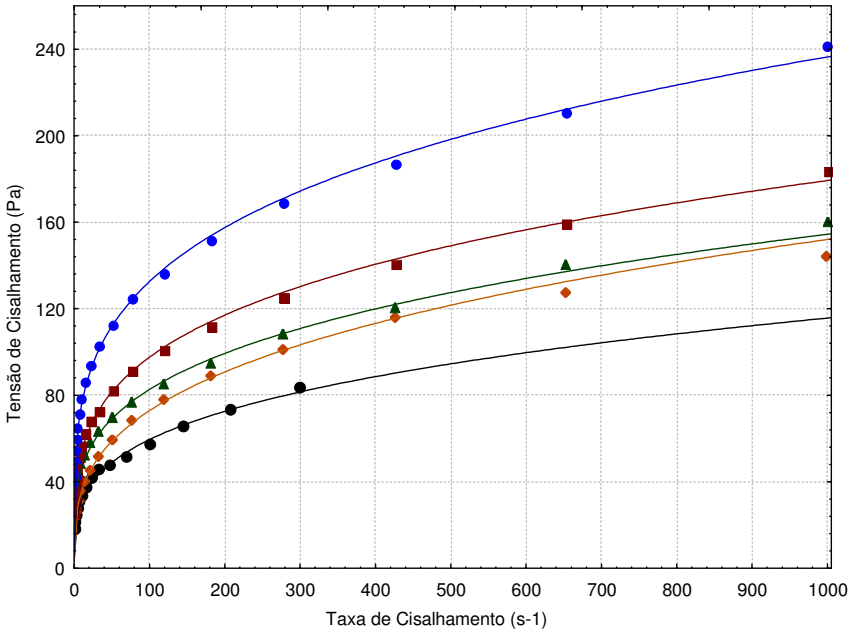


Figura 4.22. Curva de escoamento para suspensões contendo polpa de umbu (10 ºBrix) e goma xantana a 30 ºC: 0,00 % (•), 0,25 % (♦), 0,50 % (▲), 0,75 % (■), 1,00 % (●) - Efeito da adição de goma.

Os reogramas das amostras de polpa de umbu adicionada de goma xantana nas concentrações e temperaturas estudadas sugerem comportamento análogo ao apresentado pela polpa de umbu, cuja pseudoplasticidade é caracterizada pela diminuição da taxa de cisalhamento a partir do aumento progressivo da taxa de cisalhamento.

As curvas com maior concentração possuem maiores resistências ao escoamento, devido à maior dificuldade de desembaraçamento e posterior alinhamento das moléculas que compõem a amostra na direção do escoamento. Já as curvas com mesma concentração, mas com temperaturas diferentes é possível observar que com o aumento da temperatura as respectivas concavidades tornam-se mais fechadas indicando que ocorre escoamento com valores de tensão de cisalhamento menores.

O efeito da adição de goma xantana (0,25, 0,50, 0,75, 1,00 %) na reologia da polpa de umbu (10ºBrix) nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 ºC, determinadas pelo modelo de Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waele é apresentado nas Tabelas 4.10 e 4.11.

Tabela 4.10. Efeito da concentração de goma xantana nas propriedades reológicas de suspensões de polpa de umbu (10 ºBrix), em diferentes temperaturas, determinada pelo modelo de Herschel-Bulkley

C, % / T, ºC	K, Pa.s^n	n	τ_o, Pa	χ^2	R^2
0,25					
10	16,50	0,33	8,17	10,64	0,994
20	15,18	0,34	3,35	5,87	0,997
30	14,86	0,33	3,75	6,66	0,994
40	13,77	0,33	2,76	24,59	0,997
50	11,61	0,35	2,39	5,73	0,996
0,50					
10	18,10	0,31	13,48	8,42	0,999
20	19,79	0,29	11,17	8,64	0,999
30	18,57	0,30	9,60	11,97	0,996
40	19,73	0,29	0,26	8,90	0,998
50	18,49	0,29	0,16	30,23	0,999
0,75					
10	29,65	0,27	21,32	237,16	0,999
20	29,88	0,27	6,00	132,54	0,998
30	26,68	0,27	4,00	99,20	0,998
40	28,21	0,27	3,37	79,62	0,996
50	27,58	0,27	0,94	73,11	0,998
1,00					
10	38,07	0,27	23,07	202,52	0,999
20	37,02	0,27	16,41	63,42	0,999
30	36,80	0,26	8,43	114,53	0,998
40	34,58	0,27	7,04	59,24	0,999
50	35,57	0,26	4,66	88,24	0,999

Tabela 4.11. Efeito da concentração de goma xantana nas propriedades reológicas de suspensões de polpa de umbu (10 ºBrix), em diferentes temperaturas, determinada pelo modelo de Ostwald-de-Waele

C, %/ T, ºC	*K*, Pa.s^n	*n*	χ^2	R^2
0,25				
10	22,23	0,30	56,30	0,999
20	17,26	0,32	5,36	0,999
30	17,24	0,32	12,87	0,999
40	15,44	0,32	27,24	0,999
50	13,20	0,33	77,31	0,999
0,50				
10	28,39	0,25	8,671	0,997
20	28,41	0,25	5,47	0,998
30	25,97	0,26	15,8	0,995
40	19,92	0,28	8,94	0,999
50	18,61	0,29	30,25	0,999
0,75				
10	47,34	0,21	353,19	0,973
20	34,35	0,25	139,13	0,996
30	29,80	0,26	104,83	0,997
40	30,84	0,26	83,77	0,998
50	35,02	0,25	103,16	0,998
1,00				
10	56,92	0,23	215,9	0,975
20	50,34	0,23	71,23	0,991
30	4,58	0,24	138,52	0,998
40	40,14	0,25	75,99	0,999
50	39,45	0,25	95,13	0,998

Todas as amostras possuem alto comportamento pseudoplástico com valores de índice de comportamento de fluxo (*n*) entre 0,26-0,35 (modelo de Herchel-Bulkley). De um modo geral, os valores de *n* ficaram praticamente estáveis com o aumento da temperatura e não mudam muito com o aumento da concentração. O índice de consistência (*K*), obtidos pelo modelo Herschel-Bulkley aumentam com o aumento da concentração da goma e diminuíram com a temperatura, 15,18-37,02 Pa.s^n (0,25-1,00 % de xantana) e de 16,50-11,61 Pa.s^n (10-50 ºC, amostra com 0,25 % de xantana), respectivamente. Os valores de tensão inicial (τ_o) para as suspensões encontram-se numa faixa de 0,03-23,07 Pa, diminuíram com o aumento da temperatura e aumentaram com a concentração. Comportamento similar foi obtido por FREITAS (2002) para polpa de maracujá em sistemas com goma xantana.

Na Tabela 4.12 encontram-se os dados de viscosidade aparente das suspensões de polpa de umbu contendo goma xantana.

Tabela 4.12. Viscosidade aparente da polpa de umbu (Pa.s) em diferentes temperaturas e concentrações de goma xantana a uma taxa de deformação de 100 s^{-1}

C, %	T, ºC				
	10	**20**	**30**	**40**	**50**
0,00	0,75	0,70	0,67	0,63	0,59
0,25	0,80	0,78	0,75	0,70	0,61
0,50	0,90	0,87	0,84	0,77	0,71
0,75	1,25	1,13	1,10	1,05	0,99
1,00	1,57	1,46	1,38	1,30	1,25

A viscosidade aumenta progressivamente com o aumento da concentração do estabilizante (PEREIRA et al., 2005; MONTHÉ e CORREIA, 2002).

Através do ajuste não linear dos dados de viscosidade aparente ao modelo de Arrhenius (Tabela 4.13) determinou-se a energia de ativação e o parâmetro (A) para a polpa de umbu aditivada na faixa de temperatura de 10 a 50 ºC.

Tabela 4.13. Energia de ativação para polpa de umbu em diferentes concentrações de goma xantana

C, %	A, Pa.s	E_a, Kcal/g.mol	R^2
0.25	0,12	1,12	0,86
0.50	0,14	1,34	0,95
0.75	0,20	1,67	0,93
1.00	0,25	1,93	0,99

Os valores calculados para energia de ativação (E_a) e a constante *A* variaram entre 1,12-1,93 kcal/gmol e de 0,12-0,25 Pa.s, respectivamente, com elevados coeficientes de determinação (R^2). Os valores observados indicam que existe um efeito da adição de xantana na energia de ativação (E_a). Estudando a interação entre a goma xantana (1%) e a polpa de maracujá FREITAS (2002) determinou uma energia de ativação de 3,03 kJ/mol.

O efeito da concentração (goma xantana) na polpa de umbu ajustada pelo modelo exponencial é apresentado na Tabela 4.14.

Tabela 4.14. Parâmetros do modelo exponencial para polpa de umbu – efeito da concentração de goma xantana (%)

T, ºC	a_1	a_2	R^2
10	0,66	0,84	0,98
20	0,63	0,81	0,97
30	0,61	0,79	0,97
40	0,57	0,80	0,97
50	0,51	0,87	0,96

No estudo do efeito da concentração de goma xantana apenas o modelo exponencial foi usado com sucesso. Estes modelos foram aplicados para vários hidrocolóides (MACOTTE et al., 2001) e para dispersões de farinha de arroz koreano (CHUN & YOO, 2004).

Combinando as equações de Arrhenius e da Lei da Potência, foram obtidas as constantes das Equações 2.15 e 2.16, respectivamente, apresentadas na Tabela 4.15 e a superfície de resposta obtida na Figura 4.23.

Tabela 4.15. Resultados dos parâmetros obtidos para viscosidade aparente em função da temperatura (K) e da concentração (%)

a_1	a_2	a_3	χ^2	R^2
0,097	1,035	0,931	0,027	0,982
0,236	1,033	0,529	0,128	0,915

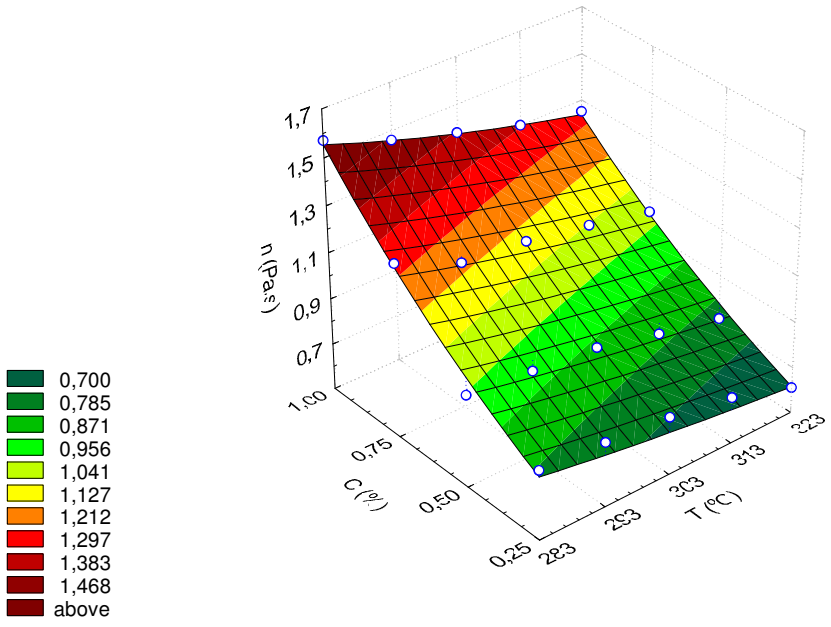


Figura 4.23. Efeito da temperatura e conteúdo de goma xantana na viscosidade aparente da polpa de umbu.

A correlação dos parâmetros tensão inicial (τ_o), índice de consistência (*K*) e índice de comportamento de fluxo (n) em função da temperatura (K) e concentração (%) é apresentada na Tabela 4.15.

Tabela 4.16. Parâmetros obtidos para o índice de consistência, tensão inicial e índice de comportamento de fluxo em função da temperatura (K) e da concentração (ºBrix)

a_1	a_2	a_3	χ^2	R^2
Índice de consistência (Equações 2.21 e 2.24, respectivamente)				
67,175	-0,002	0,756	63,675	0,9570
19,037	189,230	0,757	63,626	0,9571
Tensão inicial (Equações 2.22 e 2.25, respectivamente)				
$6{,}145.10^7$	-0,052	0,765	101,961	0,8781
$2{,}50\text{x}10^{-6}$	$4{,}549\text{x}10^3$	0,765	101,755	0,8784
Índice de comportamento de fluxo (Equações 2.23 e 2.26, respectivamente)				
0,280	$-2,\ 02\ \text{x}10^{-4}$	-0,180	0,001	0,9390
0,245	20,101	-0,179	0,001	0,9394

Para melhor visualização do efeito combinado destas variáveis nos parâmetros ***K***, $\boldsymbol{\tau_o}$ e **n** são apresentadas as Figuras 4.24, 4.25 e 4.26.

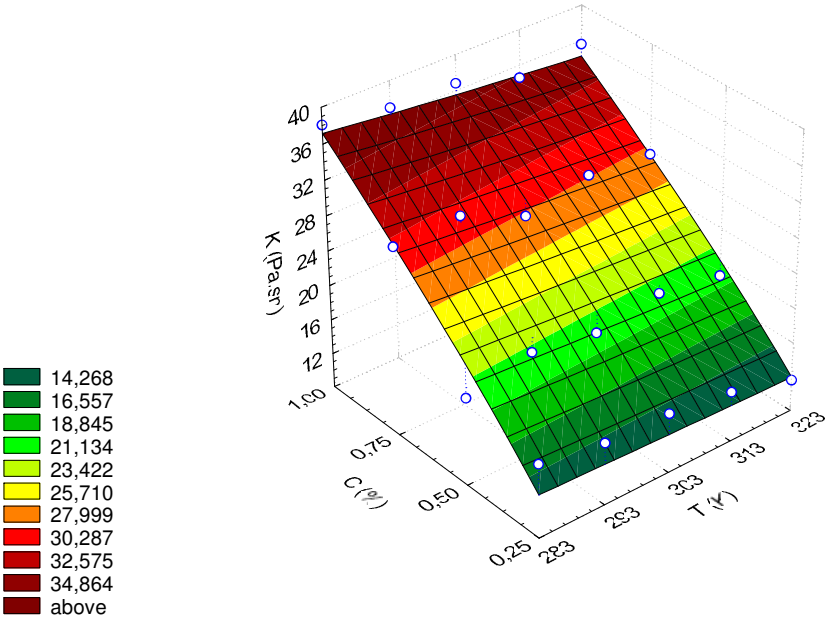


Figura 4.24. Efeito da temperatura e concentração no índice de consistência

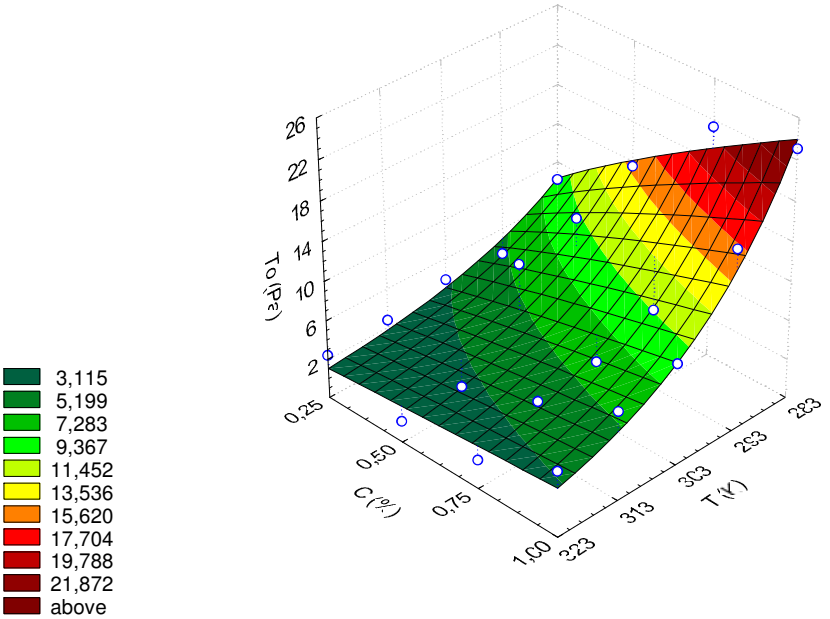


Figura 4.25. Efeito da temperatura e concentração na tensão inicial

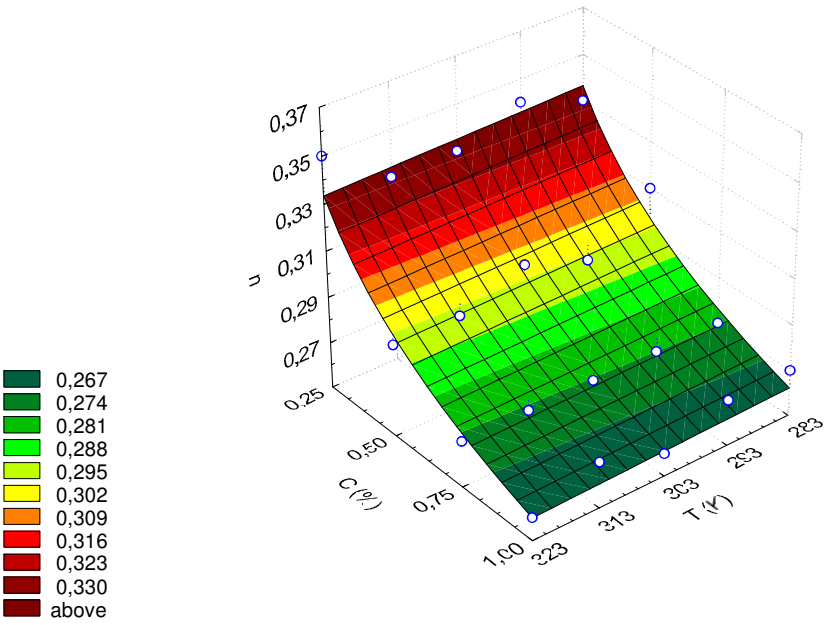


Figura 4.26. Efeito da temperatura e da concentração no índice de comportamento de fluxo

De modo geral os valores das constantes do modelo apresentam tendências usuais com a temperatura e a concentração: o índice de consistência aumenta com a concentração da goma e permanece constante com o aumento da temperatura, a tensão inicial tende a aumentar com a concentração e diminuir com o aumento da temperatura, e o índice de comportamento de fluxo diminui com o aumento da concentração e permanece praticamente constante com a temperatura.

4.3.2. Ensaios oscilatórios em estado dinâmico

4.3.2.1. Parâmetros reológicos dinâmicos para polpa de umbu adicionada de goma xantana em diferentes concentrações (%).

Para a determinação do comportamento dos sistemas com xantana foi realizada uma varredura de tensão em cada sistema obtido, com o objetivo de se determinar a região de viscoelásticidade linear. Para esta análise utilizou-se uma faixa de tensão de 0 a 100 Pa no valor de freqüência (1,0 Hz). Conforme o item 3.2.4.2 da seção de Material e Métodos.

As Figuras 4.27 a 4.30 apresentam a relação entre os módulos (G' e G'') e a freqüência nas temperaturas estudadas (10, 30 e 50ºC).

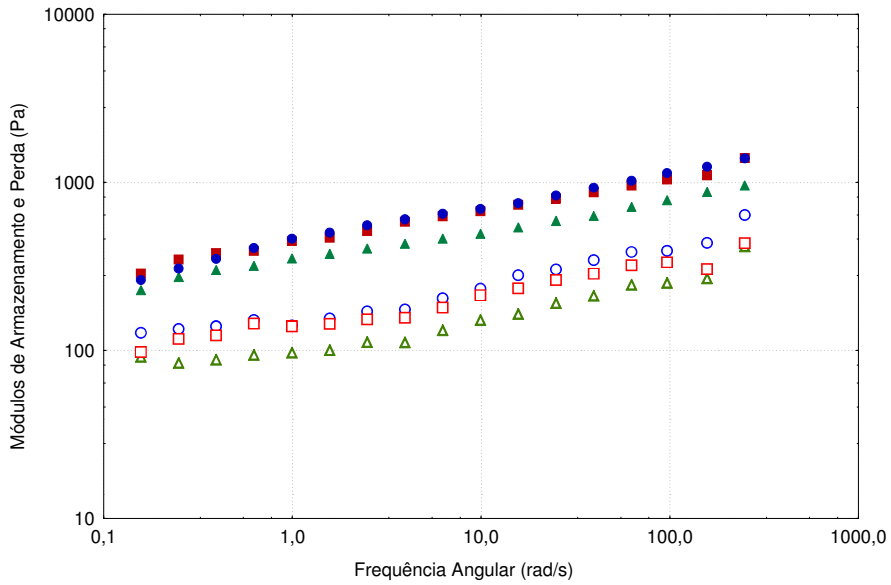


Figura 4.27. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu (10 ºBrix) adicionada de 0,25% de goma xantana, nas temperaturas de 10 ºC (● ○), 30 ºC (■ □) e 50 ºC (▲ △)

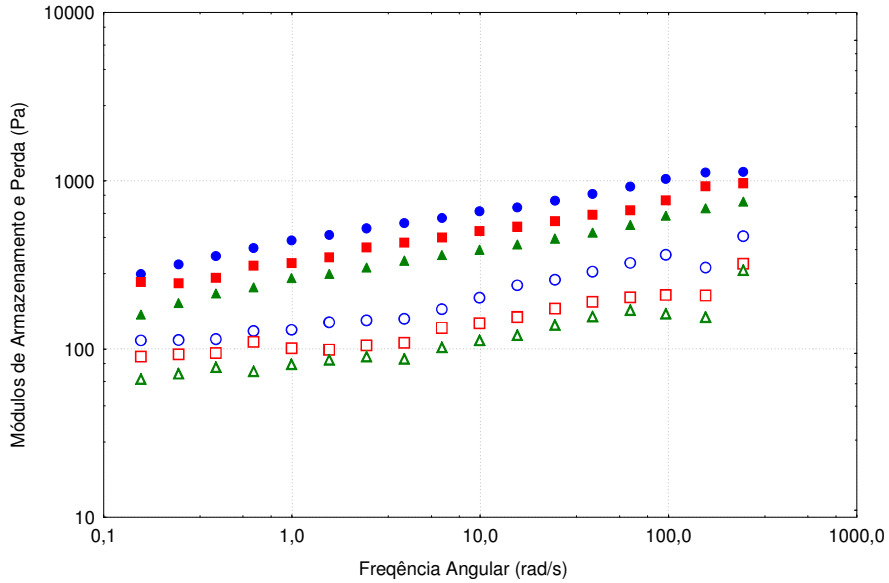


Figura 4.28. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu (10 ºBrix) adicionada de 0,50 % de goma xantana, nas temperaturas de 10 ºC (● ○), 30 ºC (■ □) e 50 ºC (▲ Δ).

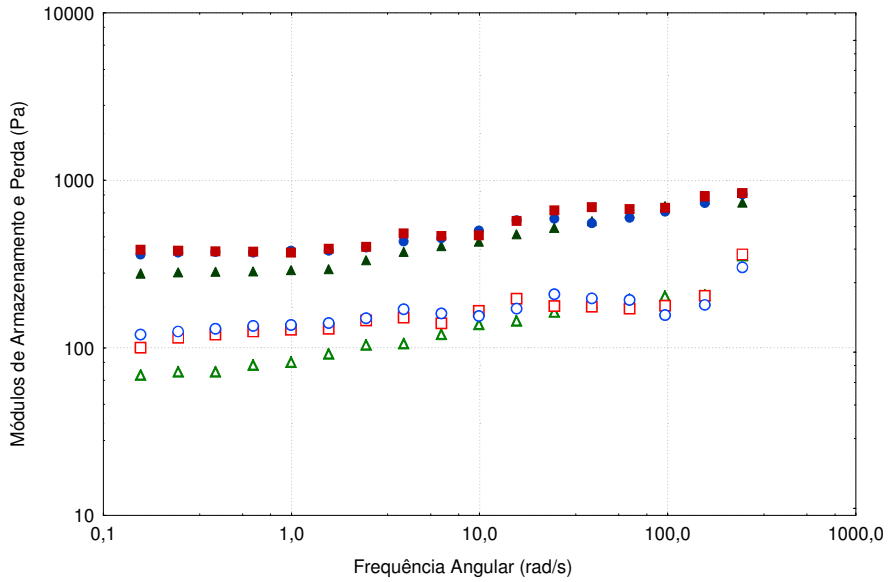


Figura 4.29. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu (10 ºBrix) adicionada de 0,75 % de goma xantana, nas temperaturas de 10 ºC (● ○), 30 ºC (■ □) e 50 ºC (▲ Δ).

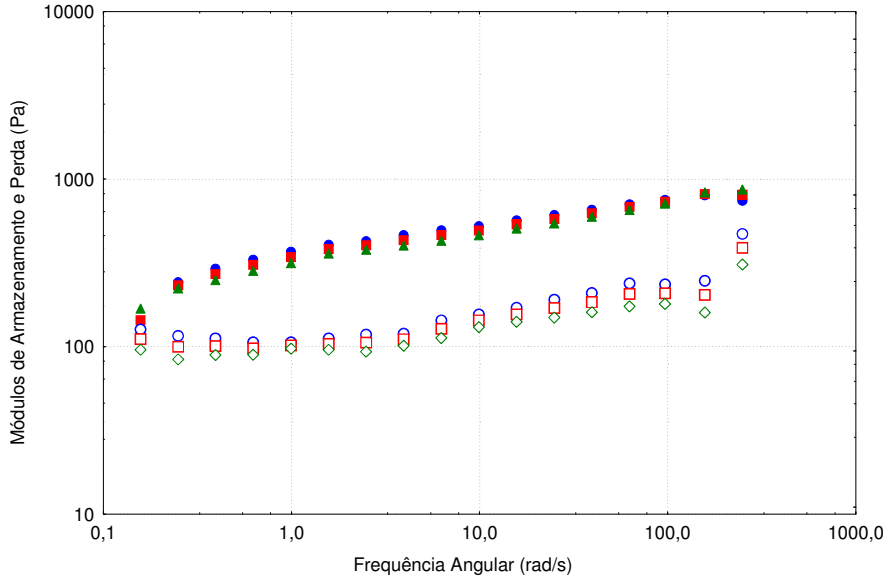


Figura 4.30. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu (10 ºBrix) adicionada de 1,00% de goma xantana, nas temperaturas de 10 ºC (● ○), 30 ºC (■ □) e 50 ºC (▲ △).

De maneira geral foi observada uma pequena dependência dos valores de G' e G" com a freqüência, mostrando comportamento predominantemente elástico, com valores de G' superiores a G" em todas as freqüências aplicadas. Do ponto de vista estrutural, as amostras podem ser consideradas como géis fracos. Os ensaios realizados nas temperaturas de 10, 30 e 50 ºC os parâmetros do módulo de armazenamento e perda permanecem próximos, porém observa-se um deslocamento para faixas mais baixas nos espectros, resultado do afastamento das moléculas presentes no sistema.

Na Figura 4.31 são apresentados os valores de G' e G" dos ensaios realizados a 30 ºC para analisar o efeito da adição do hidrocolóide.

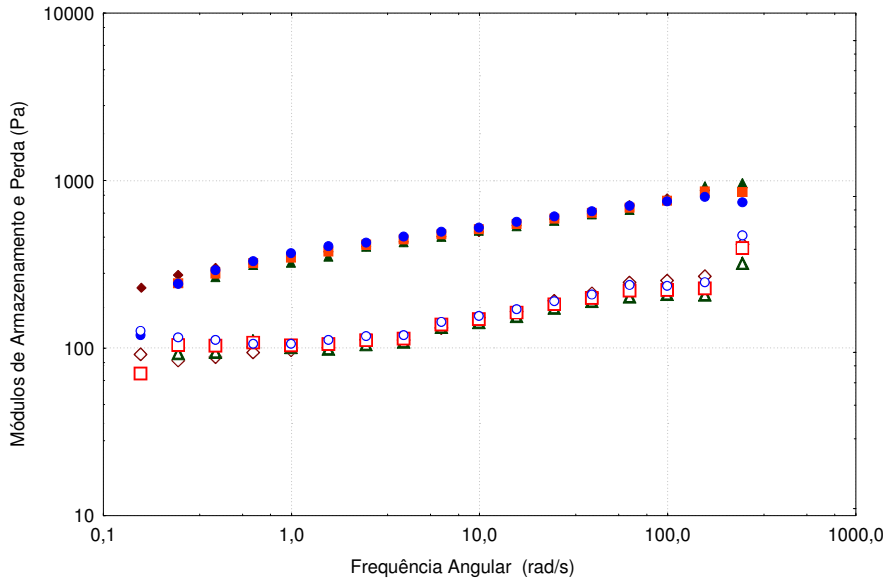


Figura 4.31. Efeito da concentração de goma xantana na polpa de umbu sobre os módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência, na temperatura de 30 ºC: 0,25% (♦ ◇), 0,50% (▲ Δ), 0,75 % (■ □), 1,00 % (● O).

Na faixa de freqüência estudada e na temperatura de 30 ºC, as respostas elásticas predominam sobre as viscosas. Com o aumento da concentração da goma xantana (0,25 – 1,00 %) foi observado um pequeno deslocamento das curvas do módulo de rigidez e módulo de dissipação para faixas mais altas.

Na Figura 4.32. pode ser observado o comportamento da tangente delta (δ) em função da freqüência.

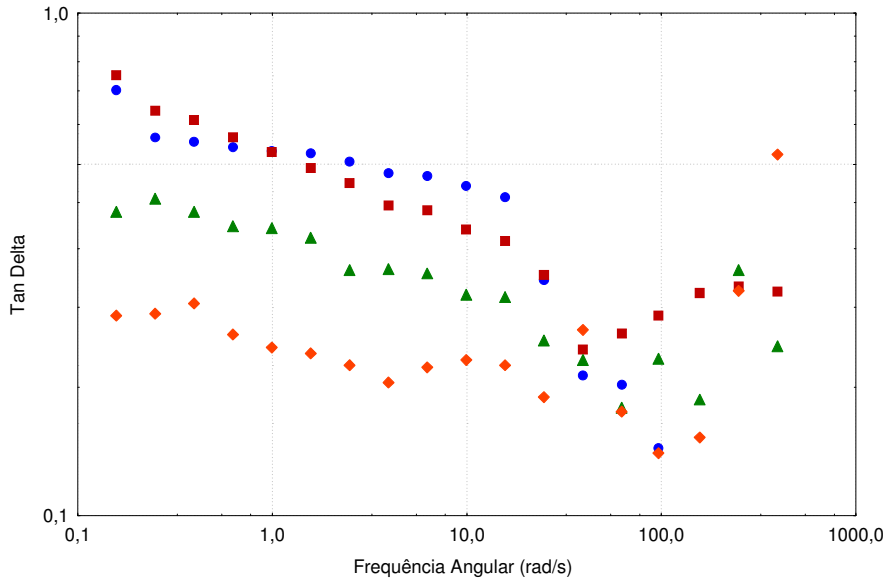


Figura 4.32. Tangente do ângulo de fase em função da freqüência em diferentes concentrações de sólidos solúveis, a 30 ºC: 0,25 % (●), 0,50 % (■), 0,75 % (▲), 1,00% (♦).

A utilização da tangente delta mostrou-se adequada para caracterização da amostra como gel, visto que, os valores são sempre menores que 1. O comportamento de G' e G" são mais "homogêneos", enquanto que com a tangente delta é possível observar uma transição secundária.

4.4. Comportamento reológico da polpa de umbu – influencia da adição de goma gelana

4.4.1. Comportamento reológico em regime estacionário

4.3.1.1. Efeito da adição da goma gelana dispersa em polpa de umbu

Com o objetivo de comparar polissacarídeos diferentes num mesmo meio (polpa de umbu), dispersões de goma gelana na concentração de 1 % e temperaturas de 10, 30 e 50 ºC foram caracterizadas com base nas propriedades de cisalhamento estacionário. Os resultados podem ser observados na Figura 4.33.

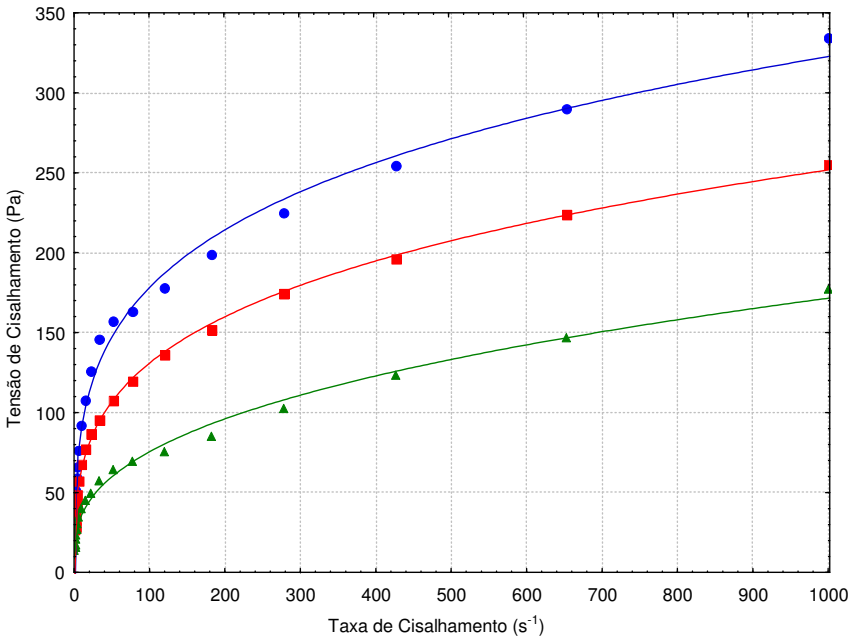


Figura 4.33. Curva de escoamento para polpa de umbu adicionada de 1% de goma gelana, ajustadas pelo modelo de Herschel-Bulkley: 10 ºC(•), 30 ºC (■), 50 ºC (▲).

As curvas de escoamento na concentração e temperaturas estudadas são representativas do comportamento pseudoplástico. Observa-se que, para certa taxa de cisalhamento, diferentes valores de tensão são obtidos dependendo da temperatura utilizada.

Foram avaliados para o ajuste dos pontos experimentais das curvas de escoamento, os modelos de Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waelle (Tabelas 4.16 e 4.17, respectivamente).

Tabela 4.17. Efeito da concentração de 1 % goma gelana nas propriedades reológicas de polpa de umbu, determinada pelo modelo de Herschel-Bulkley

T, ºC	*K*, Pa.s^n	*n*	τ_o, Pa	χ^2	R^2
10	49,89	0,28	21,11	336,91	0,998
30	29,29	0,31	8,36	69,05	0,999
50	12,96	0,37	5,19	40,10	0,990

Tabela 4.18. Efeito da concentração de 1 % goma gelana nas propriedades reológicas de polpa de umbu, determinada pelo modelo de Ostwald-de-Weale

T, ºC	*K*, Pa.s^n	*n*	χ^2	R^2
10	66,55	0,25	535,41	0,997
30	34,93	0,29	92,04	0,998
50	16,30	0,33	42,75	0,989

Os valores de K e τ_o apresentaram tendência a diminuir com o aumento da temperatura. O índice de comportamento de fluxo (n), ficou abaixo de 1 em todas as amostras analisadas, indicando que se trata de um fluido pseudoplástico. Os ajustes do modelo Herschel-Bulkley descrevem melhor o comportamento do produto, uma vez que, apresentam os maiores coeficientes de regressão e χ^2 menores que os apresentados pelo modelo de Ostwld-de-Weale.

Os valores de viscosidade aparente versus a tensão de cisalhamento da polpa de umbu (U) e polpa com 1 % do hidrocolóide xantana (UX) e 1 % de gelana (UG), à 30 ºC, estão apresentados na Figura 4.34.

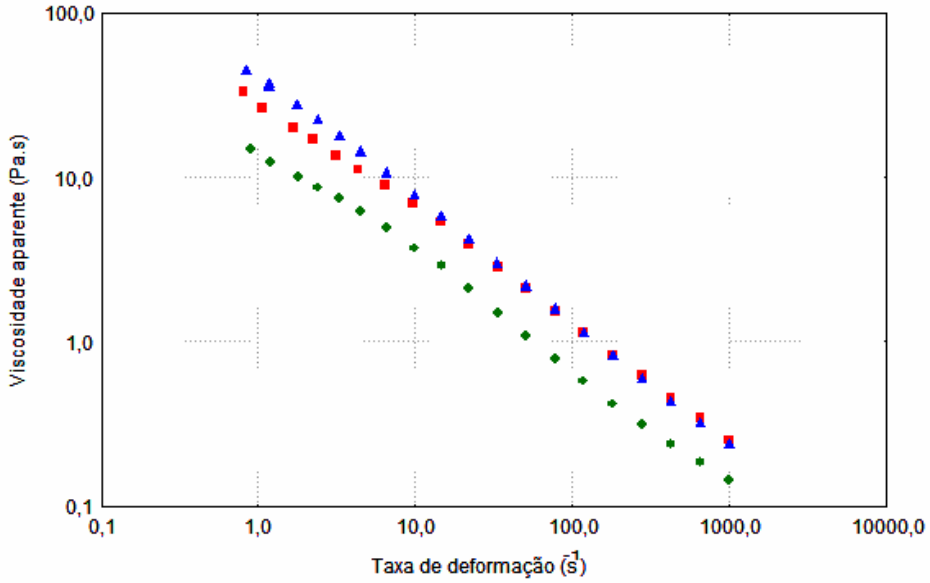


Figura 4.34. Viscosidade aparente em função da taxa de deformação para as amostras de umbu: U (●); umbu com adição de goma gelana UG (■); e umbu com adição de goma xantana UX (▲) à 30 ºC.

Pode-se observar que a viscosidade aparente decresceu com a taxa de deformação, conferindo um comportamento pseudoplástico à polpa. A adição de goma xantana e gelana promoveu um aumento na viscosidade aparente da polpa de umbu, sendo que a xantana promoveu uma maior viscosidade a baixas taxas de deformação.

O aumento progressivo da velocidade de cisalhamento desentrelaça os arranjos de moléculas de cadeias longas e ajuda a superar a resistência intermolecular de escoamento (HOLDSWORTH, 1971).

4.4.2. Comportamento reológico em regime oscilatório

O comportamento viscoelástico também foi obtido para goma gelana (1 %) e comparado com as amostras de polpa de umbu e polpa de umbu com adição xantana (1 %), na temperatura de 30 ºC (Figura 4.35).

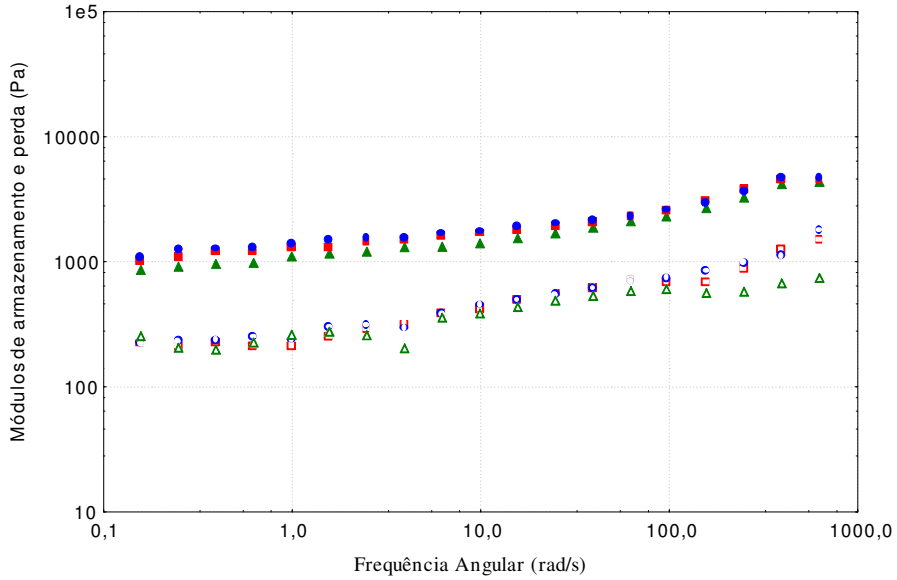


Figura 4.35. Módulos de armazenamento (símbolos fechados) e módulo de perda (símbolos abertos) em função da freqüência para polpa de umbu (10 ºBrix) adicionada de 1,00% de goma gelana, nas temperaturas de 10ºC (● ○), 30ºC (■ □) e 50ºC (▲ △).

A goma gelana também apresenta comportamento de gel fraco. No espectro mecânico pode se observar que os géis na freqüência estudada não têm tempo suficiente para que os entrelaçamentos possam se formar e dissociar dentro do período e então as propriedades são como as de uma rede de ligações cruzadas. Desta maneira, o escoamento elástico predomina sobre o caráter viscoso.

Na Figura 4.36 pode ser observado o comportamento da tangente delta em função da freqüência.

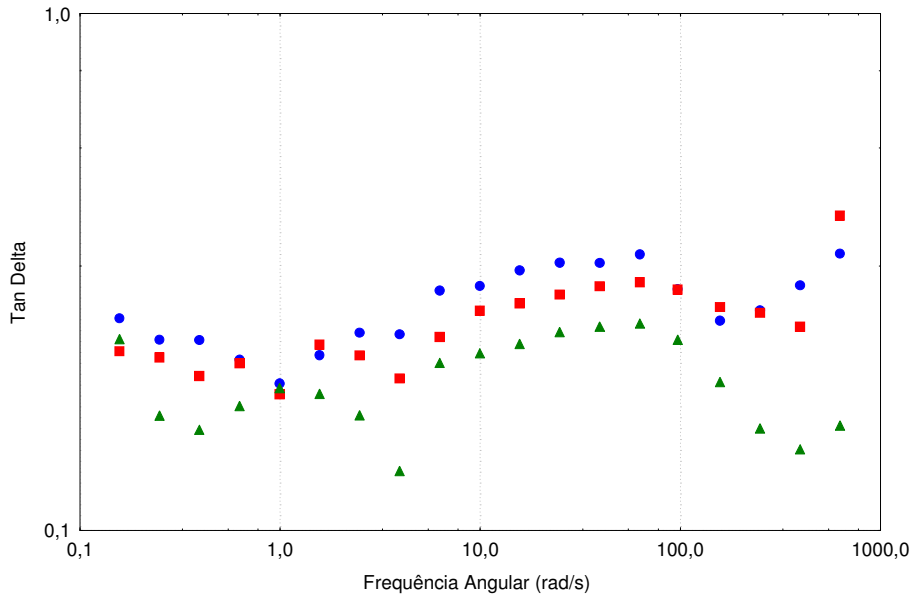


Figura 4.36. Tangente do ângulo de fase em função da freqüência: 10ºC (● ○), 30ºC (■ □) e 50ºC (▲ Δ).

O comportamento viscoelástico para polpa de umbu com e sem hidrocolóides, comporta-se como géis nos espectros mecânicos, sendo também confirmado pela tangente delta. E verifica-se também uma transição de 2ª. ordem.

Uma maneira de comparar sistemas poliméricos, ou testar modelos viscoelásticos lineares é através do gráfico Cole-Cole (LAPSIN & PRICL, 1995). Neste gráfico tem-se o componente imaginário $\eta''(\omega)$ como função da parte real $\eta'(\omega)$. O comportamento viscoelástico obtido é mostrado na Figura 4.37.

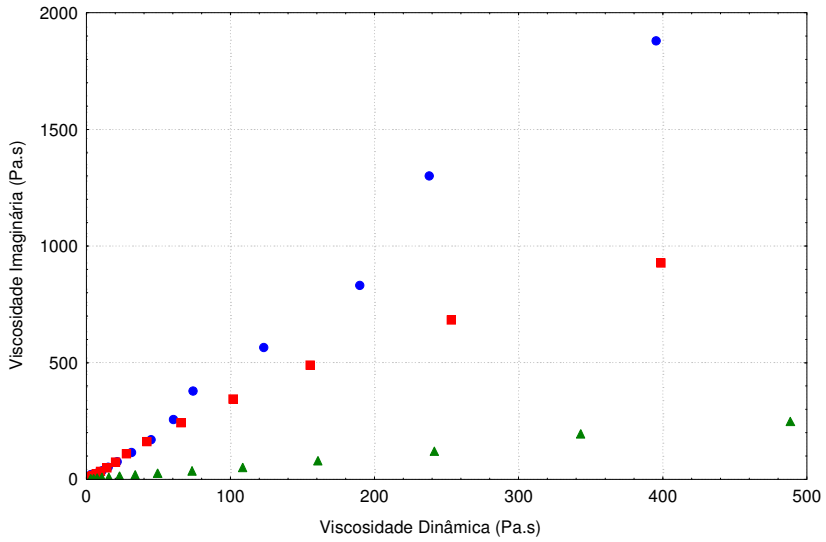


Figura 4.37. Gráfico Cole-Cole para polpa de umbu (●), umbu com 1 % de xantana (■) e umbu com 1% de gelana (▲).

Quando os dados experimentais descrevem um semi-círculo a amostra apresenta comportamento típico de soluções concentradas, enquanto que para os géis físicos a forma geométrica é perdida e curvas mais abertas são obtidas, como foi o caso apresentado pela polpa de umbu e pela polpa adicionada de xantana e gelana. Estes gráficos confirmam os resultados obtidos nos espectros mecânicos apresentados anteriormente.

4.5. Bebida elaborada a partir de extrato hidrossolúvel de soja e polpa de umbu

4.5.1. Caracterização físico-química e química do extrato hidrossolúvel de soja e da bebida a base de soja

A composição centesimal do extrato hidrossolúvel de soja depende, entre outros fatores, da variedade da soja, condições do meio em que é cultivada e desenvolvida e do processo de obtenção.

Na Tabela 4.18. encontram-se os resultados das determinações físico-químicas realizadas no extrato e na bebida de soja.

Tabela 4.19. Caracterização físico-química e química do extrato hidrossolúvel de soja e da bebida de soja adicionada de polpa de umbu e goma xantana

Composição	**Extrato hidrossolúvel de soja**	**Bebida a base de soja**
Umidade (% b.u)	92,83 ± 0,03	81,00 ± 0,02
Lipídeos (%)	1,30 ± 0,02	0,93 ± 0,05
Proteína (%)	2,41 ± 0,05	1,71 ± 0,07
Cinzas (%)	0,19 ± 0,01	0,26 ± 0,01
*Carboidratos totais	3,27	16,12
pH	6,70 ± 0,00	6,30 ± 0,00

* Determinados por diferença

Estes resultados são semelhantes aos do conteúdo protéico (33), de lipídeos (17,7), carboidratos (46,9) e cinzas (2,4) expressos em base seca (g/100g) publicados por BOWLES & DIMIATE (2006) e aos valores (base úmida) 0,89, 3,03, 1,66, 0,23, respectivamente, determinados por RODRIGUES, GOZZO & MORETTI (2003), mas encontra-se abaixo dos valores determinados para proteína, lipídios e acima dos carboidratos, 41,8, 20,3 e 28,0 (% base seca) FRANCO (1986) citado por PENHA et al. (2007). Após formulação com sacarose, polpa, goma e processamento adequados, houve uma redução nos teores de umidade, lipídeos, proteína e aumento no teor de cinzas, carboidratos. O valor do pH da bebida é menor, pois foi influenciado pela adição da polpa utilizada na formulação.

4.5.2. Comportamento reológico em cisalhamento estacionário

As Figuras 4.38 a 4.41 apresentam as curvas de tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento, onde é avaliado o efeito da adição de açúcar, polpa de umbu e goma xantana na formulação da bebida a base de soja.

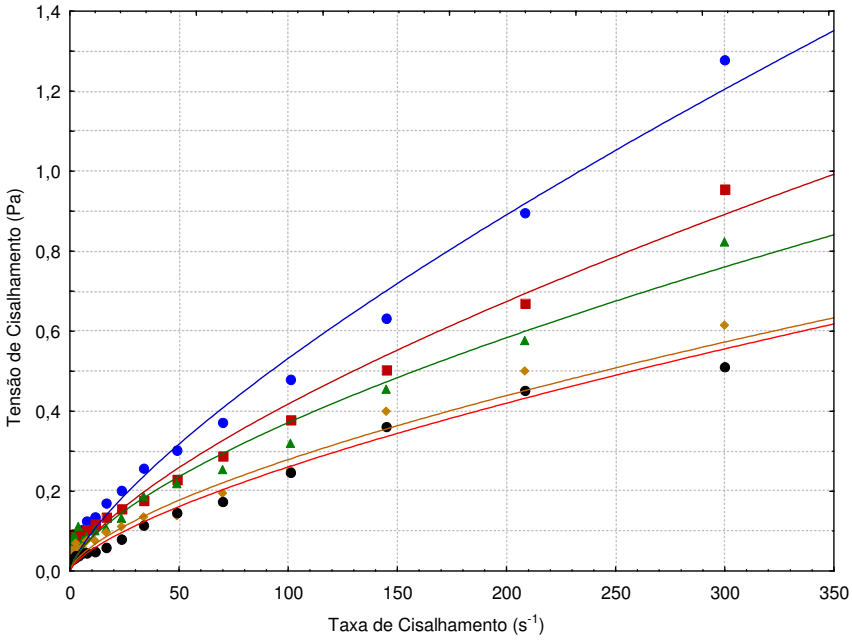


Figura 4.38. Curva de escoamento para o extrato hidrossolúvel de soja: 10 ºC(●), 20 ºC (■), 30 ºC (▲), 40 ºC(♦), 50 ºC(•).

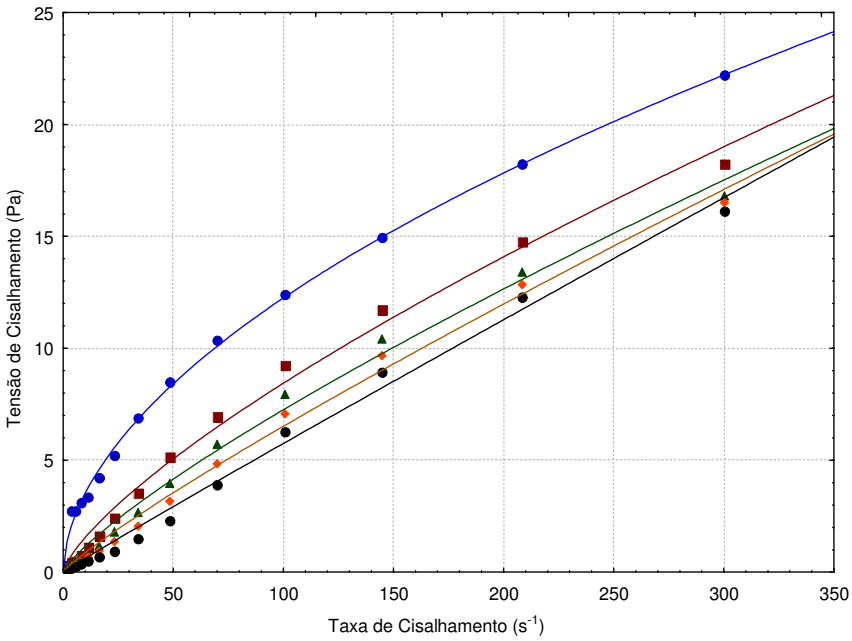


Figura 4.39. Curva de escoamento para o extrato hidrossolúvel de soja com adição de 12% de açúcar: 10ºC(●), 20ºC (■), 30ºC (▲), 40ºC(♦), 50ºC(•).

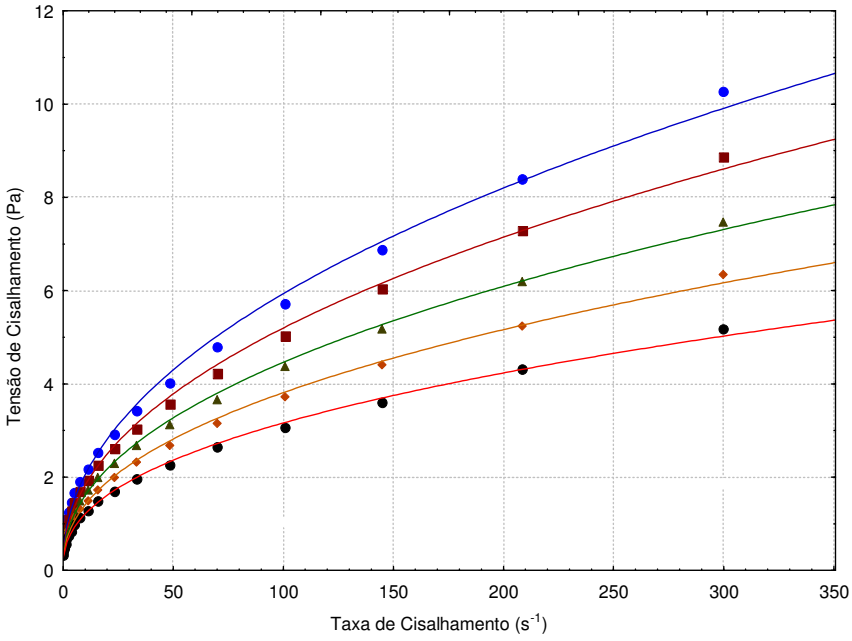


Figura 4.40. Curva de escoamento para o extrato hidrossolúvel de soja com adição de 12% de açúcar e 25% de polpa de umbu: 10 ºC(●), 20 ºC (■), 30 ºC (▲), 40 ºC(♦), 50 ºC(•).

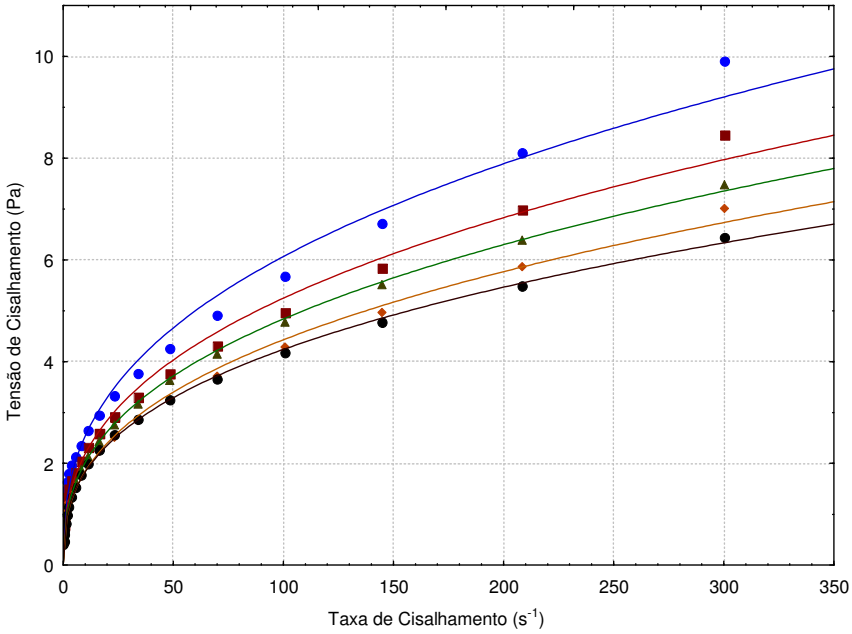


Figura 4.41. Curva de escoamento para o extrato de soja com adição de 12% de açúcar e 25% de polpa de umbu e 0,25% de xantana: 10 ºC(●), 20 ºC (■), 30 ºC (▲), 40 ºC(♦), 50 ºC(●).

Pelas Figuras 4.38 a 4.41 (curvas de escoamento) observou-se que, para certa taxa de deformação, diferentes valores de tensão de cisalhamento foram obtidos. De acordo com IBRAZ & BARBOSA-CANÓVAS (1999), esta característica, ou seja, a não proporcionalidade direta entre a tensão e a taxa de cisalhamento é típica de um comportamento não-newtoniano, fato observado por HAMINIUK et al. (2005 e 2006a) estudando escoamento de purês e polpas de frutas. O extrato elaborado com grãos de soja e o extrato obtido de farinha integral de soja mostraram-se como fluidos não-newtonianos, com comportamento pseudoplástico (RODRIGUES, GOZZO & MORETTI, 2003).

Curvas de viscosidade na temperatura de 30ºC para as amostras são apresentadas na Figura 4.42.

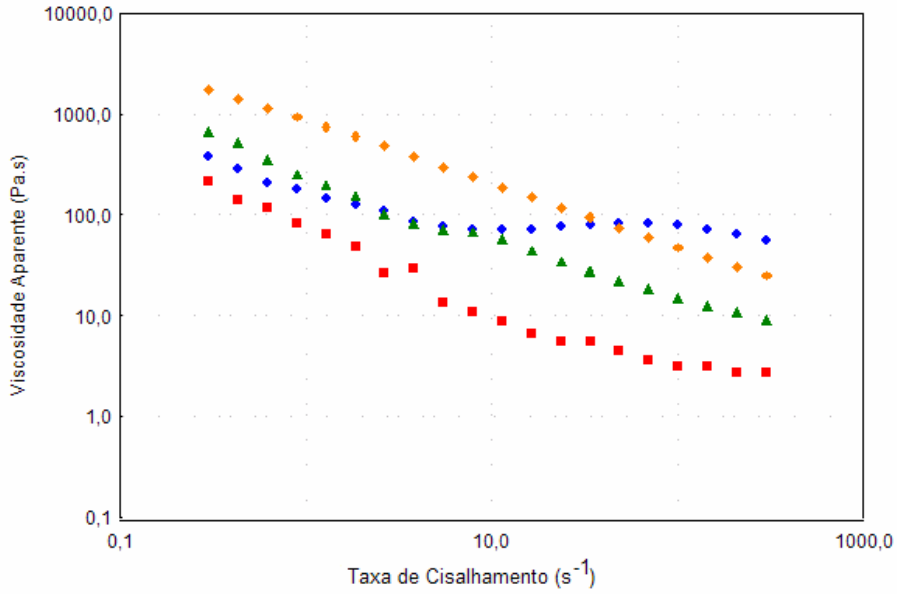


Figura 4.42. Curva de escoamento para o extrato e as bebidas a base de soja: EHS de soja (■), EHS + açúcar (●), EHS + açúcar + polpa (▲), EHS + açúcar + polpa + goma (♦).

A adição de polpa e goma xantana promoveu um aumento da viscosidade do extrato hidrossolúvel de soja. A amostra com a adição de açúcar apresenta inicialmente, uma redução gradativa da viscosidade com a taxa de deformação e em seguida ocorre certa estabilização de comportamento com tendência a tornar constante (platô newtoniano), mesmo com aumento da taxa de deformação.

Os dados reológicos ajustados com o modelo de Ostwald-de-Waele encontram-se na Tabela 4.19.

Tabela 4.20. Efeito da temperatura nas propriedades reológicas do extrato hidrossolúvel de soja (EHS) adicionado de açúcar (a), polpa de umbu (p) e goma xantana (g), determinadas pelo modelo de Ostwald-de-Waele

Amostra / T, ºC	*K*, Pa.s^n	*n*	χ^2	R^2
EHS				
10	0,0173	0,7442	0,0338	0,9833
20	0,0174	0,6904	0,0378	0,9649
30	0,0184	0,6525	0,0366	0,9534
40	0,0137	0,6556	0,0166	0,9630
50	0,0108	0,6898	0,0118	0,9742
EHS + a				
10	1,0098	0,5419	0,9965	0,9979
20	0,2809	0,7389	3,5168	0,9938
30	0,1799	0,8027	2,6090	0,9945
40	0,1141	0,8782	2,1539	0,9951
50	0,0651	0,9727	2,3414	0,9942
EHS + a + p				
10	0,3293	0,4484	1,7166	0,9791
20	0,2563	0,4554	0,7788	0,9863
30	0,1845	0,4662	0,0559	0,9924
40	0,1749	0,4740	0,2238	0,9974
50	0,1149	0,4889	0,9957	0,9869
EHS + a + p + g				
10	0,6878	0,4677	0,6254	0,9996
20	0,6224	0,4600	0,3171	0,9972
30	0,5600	0,4503	0,1197	0,9985
40	0,5049	0,4386	0,9522	0,9984
50	0,4512	0,4225	0,0730	0,9981

Foi verificado que os parâmetros estatísticos: coeficiente de correlação (R^2), para o modelo foi igual ou maior que 0,9534 e que também o Qui-quadrado ($\chi 2$) apresentou baixos valores, o que indicou um bom ajuste e pode ser usado para predizer o comportamento de fluxo da amostra em estudo.

Pela Tabela 4.19, considerando o modelo Lei da Potência, pôde-se verificar que todas as amostras exibiram comportamento pseudoplástico, devido aos valores do índice de comportamento (n) terem sido menores que um (n<1) para todas as temperaturas. Nesse estudo, os valores de n variaram de 0,4225 a 0,9727 para as amostras nas temperaturas estudadas o que confirma a pseudoplasticidade das formulações. Os maiores valores para o índice de comportamento (n) foram para a formulação de extrato de soja com açúcar (s+a), mostrando tendência de apresentar comportamento newtoniano.

Os dados de viscosidade para diferentes temperaturas podem ser observados na Tabela 4.20.

Tabela 4.21. Viscosidade aparente (Pa.s) da bebida a base de extrato de soja e polpa de umbu em diferentes temperaturas e concentrações de goma xantana a uma taxa de deformação de 100 s^{-1}

Amostra	**T, ºC**				
	10	**20**	**30**	**40**	**50**
EHS	0,0048	0,0038	0,0032	0,0029	0,0025
EHS + a	0,1230	0,0916	0,0786	0,0703	0,0625
EHS + a + p	0,0564	0,0498	0,0434	0,0369	0,0305
EHS + a + p+ g	0,0567	0,0500	0,0473	0,0425	0,0414

A temperatura afetou a viscosidade, ou seja, maiores temperaturas resultaram em viscosidades aparentes menores para todos os extratos, concordando com os relatos de KIM, KIM & KIM (1984). De acordo com HAMINIUK et al. (2007) durante o

processamento de alimentos, o aumento da temperatura faz com que a estrutura do mesmo se torne fraca.

É possível observar uma elevação da viscosidade com a adição de sacarose, que se deve provavelmente à sua ação de interagir com a água. DA SILVA, GUIMARÃES & GASPARETO (2005) estudaram o efeito da concentração no suco de acerola e constataram que o aumento do teor de sólidos solúveis de 4 para 16 ºBrix a viscosidade aumentou de 0,147 para 1,087 Pa.s. Fato observado por TORRES, QUEIROZ e FIGUEIREDO (2003), que concluiu que de maneira geral, aumento dos valores de viscosidade se dá com o aumento dos sólidos solúveis totais.

Muitos são os fatores que podem afetar o comportamento reológico de determinado fluido. Para extratos de soja tem sido encontrada na literatura variação de viscosidade entre 3,8 e 14,7 Cp. Tal comportamento tem sido atribuído a diferenças nos processos de obtenção dos extratos e/ou à variedade de soja utilizada (RODRIGUES, GOZZO e MORETTI, 2003; WANG, XIONG e WANG, 2001; SAXENA e SINGH, 1997; REDDY & MITAL, 1992) e entre 16 e 28 Cp para leite de soja reconstituído (WANG et al., 1999).

A viscosidade também aumentou com a adição da goma, como resultado da interação entre o estabilizante e outros solutos, como os açúcares e polpa. TRINDADE et al. (1997) concluíram que o teor de sólidos totais influenciou na viscosidade aparente de iogurtes.

Através de ajuste não linear de viscosidade aparente ao modelo de Arrhenius determinou-se os valores de energia de ativação (E_a) e do parâmetro (A) para as amostras estudas no intervalo de 10 a 50 ºC e estes valores estão mostrados na Tabela 4.21.

Tabela 4.22. Parâmetros da equação de Arrhenius calculados por ajuste da viscosidade aparente para taxa de deformação de 100 s^{-1}.

Amostra	E_a (kcal/gmol)	A (Pa.s)	R^2
EHS	3,40	0,28	0,977
EHS + a	3,31	0,01	0,979
EHS + a + p	2,65	0,52	0,985
EHS + a + p+ g	1,48	4,05	0,974

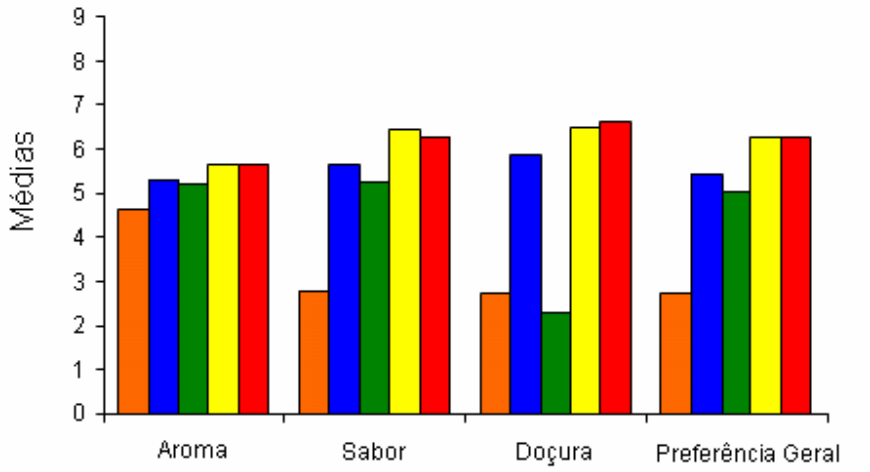
Observa-se na Tabela 4.21 que a energia de ativação diminui. Os valores da energia de ativação variam entre 1,48 kcal/gmol, para as amostras de bebida a base de soja com goma xantana e 3,40 Kcal/gmol, para a amostra de extrato hidrossolúvel. Purês de frutas com alto teor de sólidos em suspensão possuem valores de energia de ativação inferiores a sucos clarificados (SATO, 2002).

Em geral, uma alta energia de ativação de fluxo implica que pequenas variações de temperatura são necessárias para modificar rapidamente a viscosidade (STEFFE, 1996).

4.5.3. Análise sensorial de bebida preparada a base de extrato hidrossolúvel de soja

As bebidas preparadas com extrato hidrossolúvel de soja e polpa de umbu foram submetidas à avaliação sensorial pelos provadores, sendo julgadas de acordo com suas próprias expectativas com respeito ao produto.

Na Figura 4.43. são apresentados os resultados dos testes sensoriais com a preparação de bebidas a base de extrato hidrossolúvel de soja e soja com adição de açúcar e polpa de umbu conforme planejamento experimental (Teste 1).



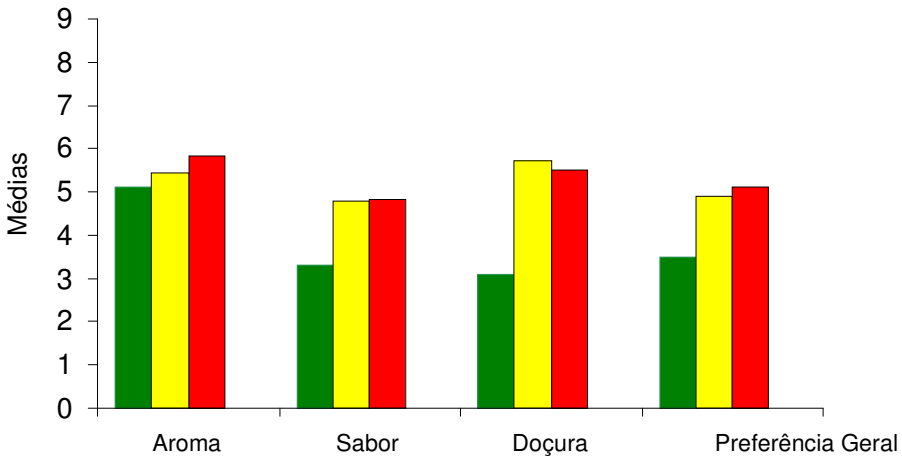
Scores: 1– desgostei extremamente; 2- desgostei muito; 3- desgostei moderadamente; 4- desgostei ligeiramente; 5- nem gostei nem desgostei; 6- gostei ligeiramente; 7- gostei moderadamente; 8- gostei muito; 9- gostei extremamente.

Figura 4.43. Scores médios obtidos para os testes sensoriais de "leite de soja" puro e preparado com adição de polpa de umbu e açúcar. Teste 1 - (■) Controle (0,0); (■) A1 (10,25); (■)A2 (10,30); (■) A3 (12,25); (■) A4 (12,30).

De acordo com os testes de Tukey para comparação de médias, não foi observada diferença significativa entre as amostras (Teste 1) quando se aumentou a proporção de polpa de 25 para 30%.

A adição de açúcar e polpa aumentou o score de cerca de 2,8 (controle) para valores entre 5,5 e 6,6 nos itens sabor, doçura e preferência geral e de 4,6 para 5,7 no item aroma.

As amostras precipitaram com a adição da polpa de umbu, necessitando de um estabilizante, goma xantana (0,25 %), que provocou alterações na viscosidade, mas não conferiu propriedades sensoriais indesejáveis ao produto. Desta forma, a goma testada pode ser empregada com sucesso no processo, além do enriquecimento com fibras na bebida a base de soja. O resultado do teste está apresentado na Figura 4.44.



Scores: 1– desgostei extremamente; 2- desgostei muito; 3- desgostei moderadamente; 4- desgostei ligeiramente; 5- nem gostei nem desgostei; 6- gostei ligeiramente; 7- gostei moderadamente; 8- gostei muito; 9- gostei extremamente.

Figura 4.44. Scores médios obtidos para os testes sensoriais de "leite de soja" puro e preparado com adição de açúcar e polpa de fruta mais açúcar. Teste 2 - (■) Leite de soja puro; (■) Leite de soja com a adição de açúcar; (■) Leite de soja com adição de açúcar, polpa de umbu e goma xantana.

No teste sensorial 2 foi observada uma melhor aceitação para a bebida preparada com adição de polpa de umbu, tendo alcançado scores superiores para os itens aroma, sabor e preferência geral (Figura 4.32). Não se observou diferenças significativas nos itens preferência geral e sabor entre a bebida preparada com adição de açúcar e polpa de umbu e aquela com adição apenas de açúcar. Devido à elevada acidez, a adição da polpa de umbu reduziu o score da bebida no item doçura se comparado com a bebida preparada apenas com adição de açúcar.

Estes valores evidenciam a contribuição da adição do açúcar e da polpa no leite de soja, para a redução dos problemas sensoriais de amargor e adstringência, consequentemente, na melhora da aceitação da bebida proposta por esse trabalho

Sabe-se que quanto menor a viscosidade do fluido, menor é a perda de carga durante o escoamento, diminuindo os custos de potência com bombeamento e conseqüentemente os custos energéticos, porém a adição da goma foi necessária para manter a estabilidade da amostra.

A xantana é extremamente pseudoplástica, e esta é uma característica muito desejada em diversas situações. Do ponto de vista sensorial, os polissacarídeos que possuem comportamento pseudoplástico provocam menor sensação de gomosidade na boca do que aqueles com comportamento newtoniano. A taxa de cisalhamento da mastigação é considerada como entre 50-200 s^{-1} (MORRIS, 1984). A xantana exibe viscosidades muito baixas nesta faixa de taxa de cisalhamento, fazendo com que o produto alimentício no qual foi utilizada pareça menos viscoso ao paladar e o sabor seja mais bem percebido (CHALLEN, 1993).

5 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse trabalho possibilitaram o conhecimento do comportamento reológico em estado estacionário e oscilatório da polpa de umbu, da interação desta com as gomas xantana e gelana e da bebida desenvolvida à base de extrato hidrossolúvel de soja acrescida de polpa de umbu. Assim foi possível concluir que:

1) A polpa de umbu em diferentes concentrações de sólidos solúveis (ºBrix) exibe comportamento não-newtoniano, com características de fluido pseudoplástico com tensão inicial, em função das partículas sólidas presentes.

2) Em sistemas da polpa de fruta, a goma xantana apresentou maior pseudoplasticidade que a gelana, ou seja, biopolímeros diferentes apresentam comportamento reológico diferente, quando dissolvidos na mesma concentração na polpa da fruta. A adição de goma promoveu aumento na viscosidade, inclusive em baixas concentrações.

3) A viscosidade aparente do extrato de soja e das bebidas elaboradas a partir deste diminuiu com o aumento da taxa de cisalhamento e temperatura, conforme esperado para líquidos. A adição de sacarose provocou um acréscimo na tensão de cisalhamento, e uma maior aproximação do comportamento reológico da bebida ao fluido newtoniano.

4) Verificou-se que as curvas de escoamento foram ajustadas satisfatoriamente pelos modelos de Herschel-Blukey e Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) para as polpas com e sem adição de goma, e que o modelo foi utilizado para as bebidas à base extrato hidrossolúvel de soja.

5) Baseado no estudo reológico em regime oscilatório, a polpa em diferentes concentrações (ºBrix e hidrocolóides), é um gel fraco com o módulo de armazenamento (G') maior que o módulo de perda (G") em todos os valores de freqüência aplicados. O módulo de estocagem e perda apresentaram pequena dependência com a freqüência, aumentam com o aumento da concentração e diminuíram com o aumento da temperatura.

6) A adição da polpa de fruta ao extrato hidrossolúvel de soja contribuiu para que a bebida fosse a preferida pelos provadores.

5.1. Sugestões

Verificar a influência dos componentes normalmente presentes em polpas de frutas (ácidos orgânicos, açúcares e pectina) no comportamento reológico de gomas (sistemas-modelo).

Analisar a polpa centrifugada, adicionada de sólidos suspensos da própria fruta, com diferentes tamanhos de partículas. Estes casos têm interesse na estabilidade das polpas e também no desempenho de equipamentos como filtros e centrífugas.

Determinar a influência do teor de sólidos insolúveis no comportamento reológico da polpa.

Estudar o comportamento reológico no desenvolvimento de novos produtos. Estes estudos são importantes uma vez que a indústria trabalha com uma grande variedade de matérias-primas utilizando os mesmos equipamentos. As frutas possuem diferenças muito grandes entre si, quanto à maneira que vão interagir com equipamento de processos.

O desenvolvimento completo de um novo produto requer o estudo de sua estabilidade física e microbiológica, como também a análise sensorial do produto com grupos de provadores treinados e análises colorimétricas durante o período de armazenamento, para se verificar de fato se o produto é estável.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, R.A.C. **Reologia de sucos de frutas tropicais: manga, maracujá, mamão e goiaba**. Campinas, 1997, p.178, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.

AHMED J. & RAMASWAMY H. S. Viscoelastic properties of sweet potato puree infant food **Journal of Food Engineering**. v.74, p.376-382, 2006.

AKDOGAN, H. & MCHUGH, T.H. Flow Characterization of Peach Products During Extrusion. **Journal of Food Science.** v.65, n.3, p.471-475, 2000.

ALEXANDRE, D. **Conservação da polpa de açaí através da tecnologia de obstáculos e caracterização reológica.** Campinas, 2002, p.98, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.

ALMEIDA, M.M. de **Armazenagem refrigerada de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara): Alterações das características físicas e químicas de diferentes estádios de maturação**. Campina Grande, p.89, 1999. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, UFPB.

ANDRADE, L.A. de. **Propagação assexuada do umbuzeiro através de estacas com o uso de IBA e sacarose.** Areia, 1989, 49p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Agronomia, UFPB.

ANJOS, J. B. dos; CAVALCANTI, N. de B.; COSTA, E. O. Suco de umbu (Spondias tuberosa Arruda): uma alternativa econômica para a agricultura familiar no semi-árido. In: **Semana Internacional da Fruticultura, Simpósio de Inovações Tecnológicas e Gerenciais**, 2002, Fortaleza. Resumos expandidos... Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical; Sindifruta, 2002. CD- ROM.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16ª ed. Arlington, 1995.

ARAÚJO, J.M.A.; CARLOS, J.C.S.; SEDYAMA, C.S. Isoflavonas em grãos de soja: importância da atividade de b-glicosidase na formação do sabor amargo e adstringente. Ciência e Tecnologia de Alimentos. **v.17, n.2, p. 137-141, 1997.**

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

BAPTISTA, I.M.R.C. **Extração e propriedades reológicas de goma de algaroba *Prospis juliflora* DC.** Rio de Janeiro, 1991, 78p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Macromoléculas, UFRJ.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; PELEG, M. Flow parementers of select commercial semi-liquid food products. **Journal of Texture Studies**, v.14, p.213-234, 1983.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; IBARZ, A.; PELEG, M. Propriedades reológicas de alimentos fluidos. Revision. **Alimentaria**, v.24, n.1, p.39-49, 1993.

BARNES, H. A., HUTTON, J. F., WALTERS, K. **An introduction to rheology.** Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1989. 199p.

BEZERRA, J. R. M. V. **Estudo reológico do suco de manga – efeito dos sólidos solúveis e insolúveis.** 1997. 81p, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.

BEZERRA, J.R.M. V. **Comportamento reológico da polpa de manga.** Campinas, 2000, 159p. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.

BISTANY, K.L.; KOKINI, J.L. Comparison of steady rheological properties and small amplitude dynamics viscoelastic properties of fluid food matirials. **Journal of Texture Studies**, v.14p. 113-124, 1983.

BORGES, S.V.; JORGE, E.C.; CASTRO, F.T.; AMORIM, E.; CAVALCANTE, N.B. Caracterización física, físico química y microbiológica de pulpas de "umbu" (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) obtenidas por métodos combinados. **Alimentaria**, v.355, p. 51-55, 2004.

BORGES, S.V.; MAIA, M.C.A.; GOMES, R. de C.M.; CAVALCANTI, N.B. Chemical composition of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam) seeds. **Química Nova**, v.30, n.1, p. 49-52, 2007.

BOWLE, S.; DEMIATE, I.M. Caracterização físico-química de *okara* e aplicação em pães do tipo francês. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**. v.26, n.3, p.652-659, 2006.

BRANCO, I.G. **Suco de laranja concentrado – comportamento reológico a baixas temperaturas**, Campinas, 1995. 88p, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP

BUENO, F. da S. **Vocabulário Tupi-Guarani, Português**. Brasil-livros Editora, São Paulo, 630 p., 1984.

CAMPOS, D. **Curso aplicaciones de la biotecnología enzimática en procesos agroindustriales**. Molina, UNAM, 2001, 108p.

CARDOSO, S.M.; COIMBRA, M.A. DA SILVA, J.A.L. Temperature dependence of formation and melting of pectin-Ca^{+2} networks: a rheological study. **Food Hidrocoloids**, v.17, p.801-807, 2003.

CARNEIRO, F.R.B.D.; HUBINGER, M D; JORGE, R.A ; CUNHA, R.L. da . Influence of Sucrose Addition and Storage on Flow Behavior of Assai (Euterpe oleracea Mart.) Pulp. **Proceedings Of The Eighth International Congress On Engineering And Food,** Lancaster, v. I, p. 456-460, 2000.

CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, G. M. A participação do extrativismo vegetal do fruto do imbuzeiro na formação da renda de pequenos agricultores no Nordeste Semi-Árido. **Economia Rural,** v. 2, p.34-37, 2002.

CAVALCANTI, N. de B.; RESENDE, G. M.; BRITO, L. T. de L.; ANJOS, J. B. dos; ARAÚJO, F. P. de. Doce **de imbu**. Petrolina: EMBRAPA Semi-árido, 2000. 6 p. (EMBRAPA. Instruções técnicas, 36).

CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M.; MEDEIROS, S.S.A.; DUARTE, M.E.M. Microencapsulamento do umbu em pó: estudo do tamanho das partículas por microscopia eletrônica. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.7, n.1, p.59-70, 2005.

ÇELIK, I., YILMAZ, Y., ISIK, F, ÜSTÜN, Ö. Effect of soapwort extract on physical and sensory properties of sponge cakes and rheological properties of sponge cake batters. **Food Chemistry.** v.101, p. 907–911, 2007.

CERVONE, N.W., HARPER, J.M. Viscosity of intermediate moisture dough. **Journal Food Process Engineering**. v.2, p.83-85, 1978.

CHALLEN, I. A. Xanthan gum: a multifunctional stabiliser for food products. In: NISHINARI, K.; DOI, E. **Food hydrocolloids: structures, properties, and functions**. New York: Plenum Press, 1993. p.135-140.

CHOU, T.C.; PINTAURO, N.; KOKINI, J. L. Conformation of citrus pectin using small amplitude oscillatory rheometry. **Journal of Food Science,** v.56, n.5, p.1365-1371, 1991.

CHUAH,T.G., NISAH, H.H., THOMAS CHOONG, S.Y.; CHIN, N.L.; NAZIMAH SHEIKH, A.H. Effects of temperature on viscosity of dodol (concoction). **Journal of Food Engineering.** v. 80 p. 423–430, 2007.

CHUN, S.Y. & YOO, B. Rheological behavior of cooled rice flour dispersions in steady and dynamic shear. **Journal of Food Engineeriong.** v.65, p. 363-370, 2004.

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

COSTELL, E.; DURÁN, L. Reologia físico-químico de los zumos y purés de fruta. **Revista Agroquímica Tecnologia de Alimentos,** v. 22, n. 1, p. 80-94, 1982.

CORREIA, D.Z. **Comportamento reológico e térmico de blendas de gomas de cajueiro/xantana em suco de caju**. Rio de Janeiro, 2002.148p, Dissertação de Mestrado Escola de Química, UFRJ.

COSTA, P. da, N.P.; LUZ, T.L.B., GONÇALVES, E.P.; BRUNO, R. de L.A.Caracterização físico-química de frutos de umbuzeiro (*spondias tuberosa* arr. câm.), colhidos em quatro estádios de maturação. **Bioscience Journal**, v.20, n.2, p.65-71, 2004.

COSTA, C. C.; PEREIRA, R. B. The influence of propolis on the rheological behavior of pure honey. **Food Chemistry**. v. 76, p. 417-421, 2002.

DA SILVA, J.A.L.; GONÇALVES, M.P.; RAO, M.A. Influence of temperature on the dinamic and steady-shear reology of pectin dispersions, **Carbohydrate Polymers,** v.23, p.77-87, 1994.

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

DAUTANT, F.J.; SIMANCAS, K.; SANDOVAL, A.J. MULLER, A.J. Effect of temperature, moisture and lipid content on the rheological properties of rice flour. **Journal of Food Engineering**, v. 78 p.1159–1166, 2007.

DECOURCELLE N.; LUBBERS, S.; VALLET N.; RONDEAU P.; GUICHARD, E. Effect of thickeners and sweeteners on the release of blended aroma compounds in fat-free stirred

yoghurt during shear conditions. **International Dairy Journal**. v.14, p. 783–789, 2004.

DELLO STAFFOLO, M.; BERTOLA, N.; MARTINO, M; BEVILACQUA, Y.A. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. **International Dairy Journal**. v.14, p.263-268, 2004.

DIAS, S.L.; DANTAS, J.P.; ARAÚJO, A.P.; BARBOSA, A.S.; CAVALCANTI, M.B.D.A.; CANUTO, T,M.; BARBOSA, A.S.; ROCHA, C.O. Avaliação das características físicas e físico-química do fruto do umbuzeiro. **I Congresso Norte-Nodeste de Química**, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, 2007, CD.

DOGAN, M.; KAYACIER, A.; IC.E. rheological characteristics of same food hidrocolloids processed with gamma irradiation. **Food Hidrocolloids**, v.21, p. 392-396, 2007.

EMBRAPA. **Soja** Disponível em: http://www.cnpso.embrapa.br **Acesso em:** 07 janeiro 2007.

FELLOWS P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos. Princípios e prática.** 2ª. Ed, Artmed, 2006. 602p.

FERREIRA, J.C. **Efeitos do congelamento ultrarápido sobre as características físico-químicas e sensoriais de polpa de umbu (*Spondias tuberosa Arruda Câmara*) durante a armazenagem frigorificada.** Campina Grande, 2000. 85p., Dissertação de Mestrado. UFPB

FERREIRA, J.C.; CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M.; BRAGA, M. **Análise sensorial da polpa de umbu submetida a congelamento inicial em temperaturas criogênicas e armazenadas em câmaras frigoríficas.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, n. 1, p. 7-17, 2000.**

FERREIRA, G.M.; QUEIROZ, A.J. DE; CONCEIÇÃO, R.S. DA; GASPARETO, C.A.

Comportamento reológico de polpa de umbu (Spondias tuberosa) **XVIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 2002. CD

FERREIRA, G.M.; QUEIROZ, A.J.M.; CONCEIÇÃO, R.S.; GASPARETTO, C.A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. . **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava-Paraná, v. 4, n. 2, p. 176-184, 2002.

FERREIRA, V.L.P.; SANTOS, L.C.; DO VALLE, J.L.E. **Estabilidade e aceitabilidade do leite de soja formulado.** Boletim do ITAL**. Campinas, v. 23, n. 4, p. 425-436, 1986.**

FERRY, J.D. **Viscoelastic properties of polymers.** 3. ed. New York : John Wiley & Sons, 1980. 641 p.

FOLEGATTI, M.I.S.; MATSUURA, F.C.A.U.; CARDOSO, R.L.; MACHADO, S.Y.S.; ROCHA, A.S.; LIMA, R.R. Aproveitamento industrial do umbu: processamento de geléia e compota **Ciência Agrotecnica**, v.27, n.6, p.1308-1314, 2003.

FONTAN, G.C.R. Etabilidade e avaliação sensorial de bebidas lácteas tipo "umbuzada" elaboradas com diferentes agentes espessantes. In: **XXIII Congresso Nacional de Laticínios**, Juiz de Fora, 2006, CD.

FREITAS, D.G.C; MORETTI, R.H. Caracterização e avaliação sensorial de barra de cereais funcional de alto teor protéico e vitamínico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.2, p.318-324, 2006.

FREITAS, L.C.; MONTE, A.D.M.O.; CAVALCANTE, T.A.; ANDRADE, C.T. Mercado de Hidrocolóides no Brasil. **Revista de Química Industrial**, n.708/709, p.13-18, 1996.

FREITAS, I.C. **Estudo das Interações entre Biopolímeros e Polpas de Frutas Tropicais em Cisalhamento Estacionário e Oscilatório**. Campinas, 2002. 259p. Tese de Doutorado, FEA - UNICAMP.

FU, J.T; RAO, M.A., Reology and structure development during gelation of low-methoxyl pectin gels: the effect of sucrose. **Food Hidrocolloids**, v.15, p.93-100, 2001.

GEHRKE, T. **Reometria de suco concentrado de frutas**. Campinas, 1996. 103p, Dissertação de Mestrado, FEA-UNICAMP.

GENOVESE, D.B.; LOZANO, J.E. The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices. **Food Hydrocoloids**, v.11, n.4, p.1-7, 2001.

GIBOREAU, A., CUVELIER, G.; LAUNAY, B. Rheological behavior of three biopolymer/water systems, with emphasis on yield stress and viscoelastic properties. **Journal of Texture Studies,** v. 25, p. 119-137, 1994.

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

GOMES, F.P.Curso de Estatística Experimental, 5. ed., Nobel, São Paulo-SP. 1973, 468p.

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

GOMÉZ-DIÁZ, D.; NAVAZA, J.M. Rheology of aqueous solutions of food additives – Effect of concentration, temperature and blending. **Journal of Food Engineering**, v.56, p. 387-392, 2003.

GRAESSLEY, W. W. Viscoelastic and flow in polymers melts and concentrated solutions. In: **Physical Propeties of Polymers.** Eds. MARK, J. E.; EISENBERG, A.; GRAESSLEY, W. W.; Madelkern, L.; & Koening, J.L. Washington, D.C.: American Chemical Society. p.97-153, 1984.

GRIGELMO-MIGUEL, N.; IBARZ-RIBAS, A.; MARTÍN-BELLOSO, O. Rheology of peach dietary fibre suspensions. **Journal of Food Engineering**, v.39, n.1, p.91-99, 1999.

GUERRA, P. de B. **O umbuzeiro**. In: A Civilização da Seca, p.186-188, 1981.

GUERRERO, S.N.; ALZAMORA, S.M. GERSCHENSON, L.N. Flow behaviour of processed banana purée. **Food science and technology international**. vol. 3, n.2, p.103-111, 1997.

HAMINIUK, C.W.I.; SIERAKOWSKI, M.R.; VIDAL, J.R.M.B.; MASSON, M.L. Influence of temperature on the rheological behavior of whole araçá pulp (*Psidium cattleianum* sabine) **Lebensmittel-Wissenchaft und Technologie - Food Science and Technology**, v.39, p.427-431, 2006a.

HAMINIUK, C.W.I.; SIERAKOWSKI, M-R.; BRANCO I.G.; MACIEL, G.M.; MASSON, M.L. Rheological study of ternary mixtures and pectic gels of red fruit pulps**.** **International Journal of Food Science and Technology**. v.42, n.6, p.629-639, 2007

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

HAULY, M.C. de O.; FUCHS, R.H.B; PRUDENCIO-FERREIRA, S.H. Suplementação de iogurte de soja com frutooligossacarídeos: características probióticas e aceitabilidade. **Revista de Nutrição** 2005, v.18, no. 5 , p. 613-622.

HERNANDEZ, E.; CHEN, C.S.; JOHNSON, J.; CARTED, R.D. Viscosity changes in orange juice after ultra-filtration and evaporation. **Journal of Food Engineering**, v.25, p. 387-396, 1995.

HIGIRO, J.; HERALD, T.J.; ALAVI, S. Rheological study of xanthan and locust bean gum interaction in dilute solution. **Food Research international**, v.39, p.165-175, 2006

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.

IBARZ, A.; GONZALEZ, C.; ESPLUGAS, S. Rheological of clarified passion fruit juices. **Fruit Processing,** v.8, p.330-333, 1996.

IBARZ, A. GONZÁLEZ, C. & ESPLUGAS. S. Rheology of clarified fruit juices. III: orange juices. **Journal of Food Engineering**. v.21, p.485-494,1994.

IBARZ, A., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Operaciones unitarias em la ingeniería de alimentos. **Technomic. Publishing Companying**, Inc. Pennsylvania – USA: 1999, 865p.

IBARZ, A.; GONZALEZ, C.; ESPLUGAS, S. VICENTE, M. Rheology of clarified fruit juice. I: Peach juice, **Journal of Food Engineering**, n.15, p.49-61, 1992a

IBARZ, A.; PAGÁN,J.; MIGUELSANZ, R.. Rheology of clarified fruit juice. II: Blackcurrant juices, **Journal of Food Engineering**, n.15, p.63-67, 1992b

IBARZ, A. GINER, J.; PAGAN, J.; GIMENO, V.; GARZA, S. Rheological behaviour of kiwi Fruit Juice Concentrates. Journal of Texture Studies v.26, p.137-145, 1995

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Disponível em www.ibge.gov.br Acesso em 15/02/2007

JUSZCZAK L. & FORTUNA T. Viscosity of concentrated strawberry juice. Effect of temperature and soluble solids content **Food Science and Technology,** v.6, n.2, 2003.

KATZBAUER, K. Properties and applications of xanthan gum. **Polymer Degradation and Stability,** v.59, p.81-84, 1998.

KIM, W.J.; KIM, N.M.; KIM, D.H. Some factors affecting the viscometric characteristics of soy milk. **Korean Journal of Food Science and Technology**, v. 16, n. 4, p. 423-428, 1984.

KISS, J. Soja: gosto apurado. **Globo Rural,** n.173, p 17 – 21, 2000

KOSKSOY, A. & KILIC, M. Use of hydrocolloids in textural stabilization of yoghurt drink, ayran **Food Hydrocolloids,** v.18, p. 593-600, 2004.

KROKIDA, M.K., MAROULIS, Z.B. & SARAVACOS, G.D. Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: compilation of literature data. I**nternational Journal of Food Properties**, v.4, n.2, p.179–200, 2001.

LAPASIN, R. & PRICL, S. **Rheological of Industrial Polysaccharides: Theory and Applications,** Glasgow, Blackie Academic and Prodessional, Chapman & Hall, 1ª ed. 1995,620p.

LARA, A. B. W. H.; NAZÁRIO, G.; ALMEIDA, M. E. W.; PREGNOLATO, W. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 2 ed. São Paulo: Melhoramentos, v.1, 371p, 1976.

LIM, H.S. & NARSIMHAN, G. **Pasting and rheological behavior of soy protein-based pudding** LWT v.39, p.343–349, 2006.

LOPES, A.S. **Pitanga e acerola: estudo de processamento, estabilidade e formulação de néctar misto.** Campinas, 2005. 175p. Tese de Doutorado Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.

LOPES DA SILVA J.A.; GONCALVES M.P.; RAO M.A Influence of temperature on the dynamic and steady-shear rheology of pectin dispersions. **Carbohydrate Polymers.** v.23, n.2, p.77-87, 1994.

LOPES, L.; ANDRADE, C.T. Polímeros de origem microbiana: polissacarídeos bacterianos. **Revista Química Industrial**, n.703, p.19-23, 1995

LOPES, L.; ANDRADE, C.T.; MANO, E.B. O valor das gomas para a indústria. **Ciência Hoje**. v.12, n.71, p.65-67, 1991.

MA, L.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Review: rheological properties of food gums and food gum mixtures. **Revista Espanola de Ciencia y Tecnologia de Alimentos,** v.33, n.2, p. 133-163, 1993.

MACFIE, H.J.; BRATCHELL, N.; GREENHOFF, K.; VALLIS, L. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order-carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, n. 4, p. 129-148, 1989.

MARCOTTE, M.; TAHERIAN, A.R.; TRIGUL, M. RAMASWAMY, H.S. Evaluation of rheological properties of selected salt enriched food hydrocolloids. **Journal of Food Engineering**, v.48, p.157-167, 2001.

MARCUSSI, B.; ENDO, E; CASTRO, F.T.; POLICARPO, V.M.; JORGE, E.C.; BORGES, S.V.; RESENDE, N.B.; CAVALCANTI, N.B. Aprovechamiento de la pulpa de "umbu" (Spondias tuberosa, Arr. Cam.) verde como alternativa para la producción de dulces en masa. **Alimentaria**, v. 344, p 75-78, 2003.

MARTINS, M.L.A; CASTRO, F.T. de; OLIVEIRA, F.P.; CUNHA, A.C.; AUGUSTA, I.M.; AMORIM, E.; BORGES, S. V.; CAVALCANTI, N. de B. Alterações físico-químicas e microbiológicas do doce de umbu maduro durante o armazenamento. In: **XIX Congresso Brasileiro de Ciência e Tec. de Alimentos**, 2004, Recife. Anais do XIX CBCTA, CD

MARTÍNEZ-PADILLA, L. P., LÓPEZ-ARAIZA, F.; TECANTE A. Steady and oscillatory shear behavior of fluid gels formed by binary mixtures of xanthan and gellan **Food Hydrocolloids**. v.18, n.3, p.471-481. 2004.

MATTIETTO, R. de A**. Estudo tecnológico de um néctar misto de cajá (Spondias lutea L.) e umbu (*Spondias tuberosa,* Arruda Câmara).** Campinas, 2005. 159p. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.

MENDES, B.V. **Umbuzeiro (*Spondias Tuberosa* Arruda Câmara): importante fruteira do semi-árido.** Coleção Mossoroense. Série C – v.164. 1990, 67p.

MIURA, E.M.Y.; BINOTTI, M.A.R.; CAMARGO, D.S. Avaliação biológica de linhagem de soja com baixa atividade de inibidores de tripsina. **Revista Brasileira de Zootecnia,** v. 29, n. 6, p. 1.754-1.758, 2000.

MIZRAHI, S.; BERK, Z. Flow behaviour of concentrad orange juice: mathematical tratament. **Journal of Texture**, n.1, v.3, p.69-79, 1972.

MOTHÉ, C.G.; CORREIA, D. Z. . Caracterização reológica de blendas de gomas cajueiro e xantana em suco. **Revista Analytica**, v. 1, p. 59-64, 2002.

MOREIRA, M. A. UFV faz soja sem sabor. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 22 maio 2001. Agrofolha , p. F 4.

MORRIS, E. R. Rheology of hydrocolloids. In: PHILLIPS, G.O.; WEDLOCK, D.J.; WILLIAMS, P.A. **Gums and stabilisers for the food industry.** Oxford: Pergamon Press, 1984. p.57-78.

NINDO, C.I.; TANG, J.; POWERS, J.R.; TAKHAR, P.S. Rheological properties of blueberry puree for processing applications **LWT - Food Science and Technology**, v.40, n.2, p. 292-299, 2007

NUTRA SWEET KELCO. **Natural biogum for scientific water control – xantan gum**, 6ª ed. 1999.

ONOFRE, P.M. **Redução da viscosidade em suco de laranja com tratamento**

enzimático. Campinas, 1995, 71p. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos UNICAMP.

PALLET D.; CABRA, L; MATTA, V.;PEZOA-GARCÍA, N.H.; MENEZES, H.C. de; ABREU, F.A.P. de; DORNIER, M.; REYNES, M. Aplicação da tecnologia de membranas no processamento de sucos de frutas brasileiras. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.22, n.2, p. 427-437, 2005.

PASTOR, M.V.; COSTELL, E.; DURÁN,L. Effects of hydrocolloids and aspartame on sensory viscosity and sweetness of low calorie peach nectars. **Jounal of Texture Studies**, v.27, p.61-79, 1996.

PELEGRINE, D.H. **Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi.** Campinas, 1999. 115p. Dissertação de Mestrado – FEA - UNICAMP.

PENHA, L.A.O., FONSECA, I.C. de B.; MANDARINO, J.M.; BENASSI, V. de T. A soja como alimento: valor nutricional, benifícios para a saúde e cultivo orgânico. **Boletim do CEPPA.** v.25, n.1. p.91-102, 2002.

PENNA, A.L.B. Hidrocolóides – uso em alimentos. Caderno de Tecnologia de Alimentos e Bebidas **Revista Food Ingredients**, ed. 17, p.58-64, 2002.

PEREIRA, E.A.; FERREIRA, G.M.; GUIMARÃES, M.J.O.C.; MAIA, M.C.A. Comportamento reológico de suspensões contendo o biopolímero xantana. In. **8º Congresso Brasileiro de Polímeros**. Águas de Lindóia, SP, p.73-74, 2005.

POLICARPO, V.M.N.; ENDO, E. ; FARIA, R.Q.; ANJOS, V. ; BORGES, S.V. ; GREGÓRIO, S.R. ; CAVALCANTI, N.B. . Efecto de aditivos sobre color, textura y aceptación del dulce de umbu (Spondias tuberosa Arr. Câmara) verde.. Alimentaria, Madrid, n. 346, p. 111-115, 2003.

QUEIROZ, A.J.M. **Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga.**

Campinas, 1998, 170p. Tese de Doutorado - FEA-UNICAMP.

QUISPE, N.B.P**. Estudo do comportamento reológico em regime estacionário e oscilatório em suspensões de amido e amaranto (*Amaranthus cruentus*)**. Campinas, 2003, 88p. Tese de Mestrado – FEA-UNICAMP

RAO, M.A. Rheology of liquid foods - a review. **Journal of Texture Studies** v.8 p.135-168, 1977.

RAO, M.A. Rheological properties of fluid foods. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. **Engineering Properties of Foods**. New York: Marcel Dekker, p.1-47, 1986.

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

RAO, M.A., BOURNE, M.C., COOLEY H.J. Flow properties of tomato concentrates. **Journal of Texture Studies**. v. 2, n.4, p.521–538, 1981.

RAO, M.A.; COOLEY, H.J. Rheological behavior of tomato pastes in steady and dynamic shear . **Journal Texture Studies** v.23, p.415–425, 1992.

RAO, M.A.; COOLEY, H.J. VITALI, A.A. Flow properties of concentrated juice at low temperatures. **Food Technology**. v.38, n.3, p.113-119, 1984.

REDDY, P. V.; MITAL, B. K. Physical and chemical characteristics of soy milk. **Journal of Food Science and Technology**, v. 29, n. 3, p. 193-194, 1992.

ROCHEFORT, W.E.; MIDDLEMAN,S. Rheology of xanthan gum: salt, temperature, and strain effects in oscillatory and steady shear experiments. **Journal of Rheology,** v.31, n.4,p.337-369, 1987.

RODRIGUES, R. da S.; GOZZO, A.M.; MORETTI, R.H. Comportamento reológico de extratos de grãos, farinha integral e isolado protéico de soja. **Boletim do CEPPA**, v.21, n.2, p.367-378, 2003

ROMBOUTS, F.M.; PILNIK, W. Enzymes in fruit and vegetable juice technology. **Process Biochemestry**, v.13, p.9-13, 1978.

SALAY, E. C**omposição de alimentos: uma abordagem multidisciplinar**. Campinas; UNICAMP, 2005. 210 p.

SANDERSON, G. R. Gellan gum. **Applied Science**. v.4, p.201-232, 1990.

SANTOS, C.A.F. Dispersão da variabilidade fenotípica do umbuzeiro no semi-árido brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** v.32, n.9, p.923-930, 1997

SARAVACOS, G. D. MOYER, J.C. Heating rates of fruit products in an agitated kettle. **Journal of Food Science**. v.27, n.3, p.372-736, 1967.

SARAVACOS, G.D.; KOSTAROPOULOS, A.E. Transport Properties in Processing of. Fruits and Vegetables. **Food Technology**, v.49, n.9, 99-105,1995

SATO, A.C.K. **Influência do tamanho de partículas no comportamento reológico da polpa de jabuticaba**. Campinas, 2002. 127p, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.

SAXENA, S.; SINGH, G. Suitability of new soybeans cultivars in the production of soy milk. **Journal of Food Science and Technology**, v.34, n. 2, p.150-152, 1997.

SEAGRI (Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária). **Cultura - Umbuzeiro** Disponível em http://www.seagri.ba.gov.br/ Acesso em: 20/02/2007

SHAW, D. J. **Introdução a química dos colóides e de superfícies**. São Paulo: Edgard Blucher, 1975, 180 p.

SOBATO, S.F., Rheology of irradiated honey from Paraná region. Radiation Physics and Chemistry. v.71, p.99-102, 2004.

SILVA, S.P.; DONATO, H. **Frutos do Brasil**. São Paulo: Empresa das artes, 166p. 1993

SILVA, F.C. da; GUIMARÃES, D.H.P.; GASPARETTO, C.A. Rheology of acerola juice: effects of concentration and temperature. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v.25, n.1, p.121-126, 2005.

SINGH, N.I. & EIPESON W.E. Rheological behaviour of clarified mango juice concentrates **Journal of Texture Studies** v.31 n.3, p.287–295, 2000.

SINGH, J.; MCCARTHY O.J.; MOUGHAN P.J., KAUR L. Morphological, thermal and rheological characterization of starch isolated from New Zealand Kamo Kamo (*Cucurbita pepo*) fruit – A novel source. **Carbohydrate Polymers**. v.67, p. 233-244, 2007.

SOUZA, A. H. de; CATÃO, D.D. Umbu e seu suco. **Revista Brasileira de Farmácia**.v.51, p.335-353, , 1970.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering.,** Michigan: 2ª ed, Freeman Press. 1996, 418 p.

SUGAI, A.Y. **Processamento descontínuo de purê de manga (Mangífera indica L.) variedade haden: estudo da viabilidade do produto para pronto consumo**, São Paulo, 2002, 99 p. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica - USP.

SWORN, G; SANDERSON, G.R.; GIBSON, W. **Food Hidrocoloids**, n.9, p.265-271, 1995

TABILO-MUNIZAGA, G & BARBOSA-CA´NOVAS, G.V**. Rheology for the food industry**. Journal of Food Engineering, v.67, p. 147–156, 2005.

TAKO M, NAKAMURA S. Synergistic interaction between xanthan and guar gum.

Carbohydrate Research, n.138, p.207-213, 1985.

TASHIMA, E.H.; CARDELLO, H.M.A.B Perfil sensorial de extrato hidrossolúvel de soja (glicine max l. merril) comercial adoçado com sacarose e com sucralose. **Boletim do CEPPA** v.21; n. 2; p.409-428; 2003.

TELIS-ROMERO, J.; CABRA, R.A.F.; GABAS, A.L.; TELIS, V.R.N. Rheological properties and fluid dynamics of coffee extract. **Journal of Food Process Engineering**, v.24, n.4, p.271-230, 2001.

THAKUR, B.R., SINGH, R.K., HANDA, A.K. Chemistry and uses of pectin--a review. **Critical Reviews in Food Science Nutrition**, v.37, n.1, p.47-73. 1997

TIZIANI, S. VOLDOVOTZ, Y. Rheological effects of soy protein addition to tomato juice. Food Hydrocolloids. v.19, p. 45-52; 2005

TOLEDO, R.T. **Fundamentals of Food Process Engineering**. New York: Chapman & Hall, 1991, 602p.

TORRES, L.B.V., QUEIROZ, A.J. de M.; FIGUEIREDO, R.M.F. viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá concentrada a 10 ºC. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.5, n.2, p.161-168, 2003.

TRINDADE C.S.F.; CASCARDO-SILVA, F.; FREITAS, S.; COURY, S. Comportamiento reologico de los yogurts de soya homogeneizados y no homogeneizados. **Alimentaria**. v.285, p.69-73, 1997.

VIDAL, J.R.M.B. **Estudo reológico do suco de manga – efeito dos sólidos insolúveis.** Campinas, 1997. 81 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP

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

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

VITALI, A.A.; ROIG, S.M.; RAO, M.A. Viscosity behaviour of concentrated passion fruit juice. **Confructa,** v.19, n.5, p.201-206, 1974.

WANG, S-H.; CABRAL, L.C.; ARAUJO, F.B.; MAIA, L.H. Características sensoriais de leites de soja reconstituídos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.3, p.467-472, 1999.

WANG, B.; XIONG, Y. L.; WANG, C. Physicochemical and sensory characteristics of flavored soymilk during refrigeration storage. **Journal of Food Quality**, v. 24, p. 513-526, 2001.

WANG, S-H; CABRAL, L.C.; ARAUJO, F.B; MAIA, L.H. Características sensoriais de leites de soja reconstituídos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.34, n.3, p.467-472, 1999

XAVIER, A.N. **Caracterização química e vida-de -prateleira do doce em massa de umbu (*Spondias tuberosa Arruda Câmara*).** 1999. 78p. Dissertação de Mestrado, Ciência de Alimentos, UFMG

YASSEN, E.I.; HERALD, T.J..; ARAMOUNI, F.M; ALAVI, S. Rheological properties of selected gum solutions. Food Research International, v.38, p.111-119, 2005.

ZAINAL, B.S.; RAHMAN, R.A.; ARIFF, A.B.; SAARI, B.N.; ASBI, B.A. Effects of Temperature on the Physical Properties of Pink Guava Juice at two Different Concentrations. **Journal of Food Engineering.** v.43, p.55-59, 2000.