



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**EFEITO DA ADIÇÃO DE PROTEÍNA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E REOLÓGICAS
DOS GÉIS OBTIDOS A PARTIR DE AMIDO DA SEMENTE DE JACA (*ARTOCARPUS
INTEGRIFÓLIA*)**

MARIANA CALDEIRA BARBOSA

**ITAPETINGA
BAHIA-BRASIL
2013**

MARIANA CALDEIRA BARBOSA

**EFEITO DA ADIÇÃO DE PROTEÍNA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E REOLÓGICAS
DOS GÉIS OBTIDOS A PARTIR DE AMIDO DA SEMENTE DE JACA (*ARTOCARPUS
INTEGRIFÓLIA*)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, como parte integrante das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, área de concentração em Engenharia de Processos de Alimentos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora:

Prof^ª. *Dsc.* Cristiane Martins Veloso

Co-Orientadores:

Prof^ª. *Dsc.* Renata Cristina Ferreira Bonomo

Prof^º. *Dsc.* Luciano Brito Rodrigues

**ITAPETINGA
BAHIA-BRASIL
2013**

664.8046 B199e Barbosa, Mariana Caldeira.
Efeito da adição de proteína nas propriedades físicas e reológicas dos géis obtidos a partir de amido da semente de jaca (*Artocarpus integrifolia*). / Mariana Caldeira Barbosa. - Itapetinga: UESB, 2013.
88f.

Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB – Campus de Itapetinga. Sob a orientação da Profa. D.Sc. Cristiane Martins Veloso e co-orientação da Profa. D.Sc. Renata Cristina Ferreira Bonomo e Prof. D.Sc. Luciano Brito Rodrigues.

1. Semente de jaca - Amido – Proteína. 2. Gel de amido - Propriedades físicas - Reologia. 3. Semente de jaca – Gel de amido - Proteína. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. II. Veloso, Cristiane Martins. III. Bonomo, Renata Cristina Ferreira. IV. Rodrigues, Luciano Brito. V. Título.

CDD(21): 664.8046

Catálogo na fonte:
Adalice Gustavo da Silva – CRB/5-535
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Semente de jaca - Amido – Proteína
2. Gel de amido - Propriedades físicas - Reologia
3. Semente de jaca – Gel de amido – Proteína



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



Área de Concentração: Engenharia de Processos de Alimentos

Campus de Itapetinga-BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “EFEITO DA ADIÇÃO DE PROTEÍNA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E REOLÓGICAS DOS GÉIS OBTIDOS A PARTIR DE AMIDO DA SEMENTE DE JACA (*Artocarpus Integrifolia*).”

Autora: MARIANA CALDEIRA BARBOSA

Orientadora: Prof^ª. Cristiane Martins Veloso, DSc., UESB

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE PROCESSOS DE ALIMENTOS, pela Banca Examinadora.

Prof^ª. Cristiane Martins Veloso, DSc., UESB

Prof^ª. Daniela Oliveira dos Santos, DSc., UESB

Prof^ª. Alexilda Oliveira de Souza, DSc., UESB

Data da Realização: 22 de Março de 2013.

*“Cada conquista impulsiona outras buscas
e abre novos horizontes”.*

(Lúcia Cristina Viresmann)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar oportunidade e força para lutar pelos meus ideais.

Um agradecimento muito especial aos meus pais, Waldemar e Selma, por todo amor e dedicação, por terem possibilitado a conquista de mais este sonho, mesmo distante estarem sempre tão presentes na minha vida, por fazerem da distância algo quase imperceptível, por acompanharem de perto cada passo neste caminho que escolhi. Ao meu irmão Lucas pela paciência e certeza de que posso contar sempre.

A minha tia e madrinha, Consuelo, pelo amor, carinho, orações e muito apoio para realização de mais um sonho, única coisa que posso dizer que não seria nada sem você, te amo muito.

Ao Danylo, meu marido, amigo, confidente, companheiro, amor, pela paciência, incentivo e sublime dedicação por todos esses anos. Hoje não posso deixar de agradecer ao meu filho (Davi), razão onde retirei força para não desistir nos momentos de dificuldade encontrada.

À professora Cristiane Martins Veloso pela orientação, amizade e conselhos durante todo o mestrado;

Aos professores Renata Cristina Ferreira Bonomo e Luciano Brito Rodrigues por contribuírem brilhantemente para a minha formação científica, como co-orientador.

À colaboração preciosa dos professores Rafael Fontan e Paulo Bonomo.

À banca examinadora, pela disponibilidade e pela contribuição com este trabalho.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos.

A Capes, pelo auxílio financeiro.

Aos amigos do Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEP), principalmente, Renata Santana e Gabriel Ramos que colaboraram para a realização do experimento. E os amigos do LABEM, principalmente Willian e Davi, por sempre estar à disposição para me ajudar.

Aos amigos de Viçosa que me acolheram e me auxiliaram nas análises: Vanessa, Janaína, Priscila, Lílian e Lizzy. Meu muito obrigado!

À Glêce Milene, Michelle Rodrigues e ao Washington, pela amizade sincera, apoio nos melhores e piores momentos, divertimento e aprendizado. Que essa amizade não se perca!

Aos amigos que incentivaram e auxiliaram no desenvolvimento desse trabalho.

Aos demais amigos e colegas que conquistei na Bahia.

RESUMO

BARBOSA, M. C. **Efeito da adição de proteína nas propriedades físicas e reológicas dos géis obtidos a partir de amido da semente de jaca (*Artocarpus integrifolia*)**. Itapetinga – BA: UESB, 2013. 88p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia de Processos de Alimentos).*

A semente de jaca (*Artocarpus integrifolia*) apresenta grande potencial para o uso como fonte de carboidratos, sendo utilizados na forma de farinha para preparo de biscoitos, doces e pães. Diante deste potencial, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da adição de proteínas nas propriedades físicas e reológicas dos géis obtidos a partir de amido da semente de jaca (*Artocarpus integrifolia*). O amido da semente de jaca foi caracterizado pela sua composição química, poder de inchamento, solubilidade, além do tamanho e formato do grânulo. Para os estudos reológicos (estacionários e oscilatórios) e o perfil de textura, as suspensões com amido e soluto (proteína e sal) foram aquecidas na temperatura de gelatinização (75°C/ 8 min), as concentrações estudadas foram de 3, 6, 9 e 12 (%) para o amido, 0, 2, 4 e 6 (%) para a proteína e 2% de sal. O rendimento apresentado no processo de extração do amido da semente de jaca foi de 9,64 %. Os resultados obtidos para a composição química comprovam a eficiência do processo de extração e o amido da semente de jaca constitui de 27,58 % de amilose e 72,42 % de amilopectina. O poder de inchamento e índice de solubilidade do amido da semente de jaca não mostrou grande variação até 70 °C, porém acima desta temperatura houve um grande aumento, indicando ruptura das ligações internas do grânulo. Os grânulos de amido apresentaram formas geométricas predominantes como elipsóides, trigonal e tetragonal e o tamanho (diâmetro médio) na faixa de 6 µm e 12 µm. Nos ensaios reológicos estacionários, houve uma diferença entre as curvas ascendentes e descendentes, caracterizando um comportamento tixotrópico, os géis na concentração de 12% de amido apresentaram característica de um sólido “quebradiço”. Nas concentrações 3% e 6% de amido, e a respectiva concentração de proteína, observou-se um comportamento característico de um gel fraco e nas concentrações de 9 % e 12 % de amido comportamento de um gel forte. Nos ensaios de gelatinização, nas baixas concentrações de amido (3 % e 6 %) o aquecimento não foi suficiente para completar a formação de gel. Em concentrações altas de amido (9 % e 12%) observou-se que a adição de proteína retardou o início da gelatinização. Na análise do Perfil de Textura (TPA), com adição de proteína os géis na concentração de 9% de amido, apresentaram característica de um gel mais rígido e mais coeso. Já na concentração 12% de amido, apresentou um gel mais duro e quebradiço. Os géis mistos em maiores concentrações de amido e proteína apresentaram uma incompatibilidade termodinâmica, apresentando uma separação de fases com conseqüências na textura.

Palavras-Chave: *Artocarpus integrifolia*, amido, proteína, TPA, reologia.

*Orientador: Cristiane Martins Veloso, *Dr.*, UESB e Co-orientador: Renata Cristina Ferreira Bonomo e Luciano Brito Rodrigues, *Dr.*, UESB

ABSTRACT

BARBOSA, M. C. **Effect of protein in physical and rheological properties of the gels obtained from the seed starch jackfruit (*Artocarpus integrifolia*).** Itapetinga – BA: UESB, 2013. 88p. (Dissertation - Master's degree in Engineering of Processes of Foods)*.

The jackfruit seeds (*Artocarpus integrifolia*) has great potential for use as a source of carbohydrates, being used as flour for preparing biscuits, pastries and breads. Given this potential, the aim of this work was to study the effect of addition of proteins on the physical and rheological properties of the gels obtained from starch from jackfruit seeds (*Artocarpus integrifolia*). The starch of jackfruit seeds was characterized by its chemical composition, swelling power, solubility, besides the size and shape of the bead. For the rheological studies (stationary and oscillatory) and texture profile, suspensions starch and solute (protein and salt) were heated in gelatinization temperature (75 ° C / 8 min), the concentrations tested were 3, 6, 9 and 12 (%) for the starch 0, 2, 4 and 6 (%) for protein and 2% of salt. The income presented in the process of extracting the starch from jackfruit seeds was 9.64%. The results obtained show the chemical efficiency of the extraction process and the starch seed jacaconstitue of 27.58% 72.42% amylose and amylopectin. The swelling power and solubility index of the starch from jackfruit seeds showed no great variation up to 70 ° C, but above this temperature there was a large increase, indicating rupture of internal links bead. Starch granules showed predominant geometric shapes such as ellipsoids, and trigonal tetragonal and the size (diameter) in the range of 6 microns and 12 micrometers. In the stationary rheological measurements, there was a difference between the ascending and descending curves, characterizing thixotropic behavior of the gels at a concentration of 12% starch showed characteristic of a solid "crisp." At concentrations 3% and 6% starch, and its protein concentration was observed behavior characteristic of a weak gel, and the concentrations of 9% and 12% starch behavior of a strong gel. In tests gelatinization of starch at low concentrations (3% and 6%), the heating was not sufficient to complete gel formation. High starch concentrations (9% and 12%) was observed that the addition of protein delayed the onset of gelation. In the Texture Profile Analysis (TPA), with the addition of protein gels at a concentration of 9% starch gel showed characteristic of a more rigid and more cohesive. At concentration 12% starch gel presented a more hard and brittle. Mixed gels at higher protein and starch concentrations showed a thermodynamic incompatibility, presenting a phase separation consequences in texture.

Keywords: *Artocarpus integrifolia*, starch, protein, TPA, rheology.

*Advisor: Cristiane Martins Veloso, *Dsc.*, UESB Co-advisors: Renata Cristina Ferreira Bonomo, *Dsc.*, and Luciano Brito Rodrigues, *Dsc.*, UESB.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química do amido da semente de jaca.	47
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da Cadeia Linear da Amilose.	17
Figura 2 - Representação da Cadeia da Amilopectina.	18
Figura 3 - Principais tendências no comportamento de misturas de proteínas e polissacarídeos.	21
Figura 4 - Alterações dos grânulos de amido em suspensão submetidos à processos térmicos.	23
Figura 5 - Classificação do comportamento reológico de fluidos.	27
Figura 6 - Reograma para fluidos independentes do tempo.	28
Figura 7 - Reograma para fluidos dependentes do tempo.	29
Figura 8 - Resposta da tensão e deformação de um líquido Newtoniano e de um sólido perfeitamente elástico em testes dinâmicos. Linhas sólidas = deformação. Linhas pontilhadas = tensão. A = Sólido elástico, tensão e deformação em fase. B = Líquido Newtoniano, tensão e deformação defasados em 90°. C = Material viscoelástico, tensão e deformação com defasagens menores que 90°.	30
Figura 9 - Representação gráfica dos módulos de armazenamento (G') e dissipação (G'').	33
Figura 10 - Curva característica do perfil de textura (STEFFE, 1996).	36
Figura 11 - Poder de Inchamento (PI) e Índice de Solubilidade (IS) do amido da semente de jaca.	49
Figura 12 - Micrografias dos grânulos de amido da semente de jaca.	50
Figura 13 - Curvas de escoamento dos géis com 3% de amido da semente de jaca. —●— Curva ascendente —○— Curva descendente (0% proteína); —■— Curva ascendente —□— Curva descendente (2% proteína); —▲— Curva ascendente —△— Curva descendente (4% proteína); —◆— Curva ascendente —◇— Curva descendente (6% proteína).	52
Figura 14 - Curvas de escoamento dos géis com 6 % de amido da semente de jaca. —●— Curva ascendente —○— Curva descendente (0% proteína); —■— Curva ascendente —□— Curva descendente (2% proteína) —▲— Curva ascendente —△— Curva descendente (4% proteína); —◆— Curva ascendente —◇— Curva descendente (6% proteína).	53
Figura 15 - Curvas de escoamento dos géis com 9% de amido da semente de jaca. —●— Curva ascendente —○— Curva descendente (0% proteína); —■— Curva ascendente —□— Curva descendente (2% proteína); —▲— Curva ascendente —△— Curva descendente (4% proteína); —◆— Curva ascendente —◇— Curva descendente (6% proteína).	54
Figura 16 - Curvas de escoamento dos géis com 12% de amido da semente de jaca. —●— Curva ascendente —○— Curva descendente (0% proteína); —■— Curva ascendente —□— Curva descendente (2% proteína); —▲— Curva ascendente —△— Curva descendente (4% proteína); —◆— Curva ascendente —◇— Curva descendente (6% proteína).	55
Figura 17 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 3% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).	57

Figura 18 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 6% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).....	57
Figura 19 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 9% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).....	58
Figura 20 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 12% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).....	58
Figura 21 - Curvas de $\tan(\delta)$ em função da frequência, com 3% de amido da semente de jaca. —●— (0% proteína); —■— (2% proteína); —▲— (4% proteína) e —◆— (6% proteína).....	59
Figura 22 - Curvas de $\tan(\delta)$ em função da frequência, com 6% de amido da semente de jaca. —●— (0% proteína); —■— (2% proteína); —▲— (4% proteína) e —◆— (6% proteína).....	59
Figura 23 - Curvas de $\tan(\delta)$ em função da frequência, com 9% de amido da semente de jaca. —●— (0% proteína); —■— (2% proteína); —▲— (4% proteína) e —◆— (6% proteína).....	60
Figura 24 - Curvas de $\tan(\delta)$ em função da frequência, com 12% de amido da semente de jaca. —●— (0% proteína); —■— (2% proteína); —▲— (4% proteína) e —◆— (6% proteína).....	60
Figura 25 - Viscosidade dinâmica (η^*) e viscosidade aparente (η_{ap}) em função da frequência e taxa de deformação, com 3% de amido da semente de jaca. —●— η^* (0% proteína); —○— η_{ap} (0% proteína); —■— η^* (2% proteína); —□— η_{ap} (2% proteína); —▲— η^* (4% proteína); —△— η_{ap} (4% proteína); —◆— η^* (6% proteína) e —◇— η_{ap} (6% proteína).....	61
Figura 26 - Viscosidade dinâmica (η^*) e viscosidade aparente (η_{ap}) em função da frequência e taxa de deformação, com 6 % de amido da semente de jaca. —●— η^* (0% proteína); —○— η_{ap} (0% proteína); —■— η^* (2% proteína); —□— η_{ap} (2% proteína); —▲— η^* (4% proteína); —△— η_{ap} (4% proteína); —◆— η^* (6% proteína) e —◇— η_{ap} (6% proteína).....	62
Figura 27 - Viscosidade dinâmica (η^*) e viscosidade aparente (η_{ap}) em função da frequência e taxa de deformação, com 9 % de amido da semente de jaca. —●— η^* (0% proteína); —○— η_{ap} (0% proteína); —■— η^* (2% proteína); —□— η_{ap} (2% proteína); —▲— η^* (4% proteína); —△— η_{ap} (4% proteína); —◆— η^* (6% proteína) e —◇— η_{ap} (6% proteína).....	62
Figura 28 - Viscosidade dinâmica (η^*) e viscosidade aparente (η_{ap}) em função da frequência e taxa de deformação, com 12 % de amido da semente de jaca. —●— η^* (0% proteína); —○— η_{ap} (0% proteína); —■— η^* (2% proteína); —□— η_{ap} (2% proteína); —▲— η^* (4% proteína); —△— η_{ap} (4% proteína); —◆— η^* (6% proteína) e —◇— η_{ap} (6% proteína).....	62

Figura 29 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função do tempo de cisalhamento, com 3% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).....	63
Figura 30 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 6% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).....	63
Figura 31 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 9% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).....	64
Figura 32 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 12% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).....	64
Figura 33 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da temperatura, com 3% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína) e —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).....	65
Figura 34 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da temperatura, com 6% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).....	66
Figura 35 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da temperatura, com 9% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).....	67
Figura 36 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da temperatura, com 12% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).....	68
Figura 37 - Efeito da concentração de proteína na força (N) do gel, nos níveis de amido da semente de jaca estudado, respectivamente. ● (9% amido) e ○ (12% amido).	70
Figura 38 - Efeito da concentração de proteína na coesividade do gel, nos níveis de amido da semente de jaca estudado, respectivamente. ● (9% amido) e ○ (12% amido).	71

SUMÁRIO

RESUMO	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Amido	16
3.1.1 Composição.....	16
3.1.1.1 Amilose	17
3.1.1.2 Amilopectina.....	17
3.1.1.3 Outros Componentes	18
3.2 Necessidade de novas fontes de amido.....	19
3.3 Misturas proteína-polissacarídeo	20
3.4 Propriedades Tecnológicas do Amido.....	21
3.4.1 Poder de Inchamento e Índice de Solubilização	21
3.4.2 Gelatinização	22
3.4.3 Geleificação.....	23
3.5 Estrutura Microscópica do Grânulo de Amido	24
3.6 Reologia	25
3.6.1 Reologia em Estado Estacionário.....	25
3.6.1.1 Classificação reológica dos fluidos	26
3.6.2 Reologia em Estado Dinâmico.....	30
3.7 Perfil de Textura de Gel	35
4. MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1 Obtenção da semente de jaca	38
4.2 Extração do amido	38
4.3 Determinação do Rendimento do Processo de Extração.....	38
4.4 Caracterização físico- química do amido	39
4.4.1 Umidade	39
4.4.2 Cinzas.....	39
4.4.3 Proteínas	39
4.4.4 Fibra Bruta.....	40
4.4.5 Lipídeos Totais	40
4.4.6 Carboidratos.....	41
4.4.7 Determinação do Teor de Amido.....	41
4.4.8 Determinação do Teor de Amilose	42
4.4 Poder de Inchamento (PI) e Índice de Solubilização (IS)	42
4.5 Morfologia dos Grânulos de Amido	43
4.6 Planejamento Experimental	43
4.7 Preparação das amostras gelatinizadas	44
4.8 Comportamento Reológico.....	44
4.8.1 Ensaio Estacionário	44
4.8.2 Ensaio Dinâmico.....	44
4.9 Análise do Perfil de Textura dos Géis	45
4.10 Análise Estatística	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1 Rendimento percentual do processo de extração	47
5.2 Composição Química do Amido	47
5.3 Poder de Inchamento (PI) e Índice de Solubilização (IS)	49

5.4	Estrutura Microscópica do Grânulo de Amido	50
5.5	Comportamento Reológico.....	51
5.5.1	Ensaio Estacionário.....	51
5.5.2	Ensaio Oscilatório.....	57
5.6	Análise do Perfil de Textura (TPA).....	69
6.	CONCLUSÕES	72
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	73

1. INTRODUÇÃO

O amido é encontrado amplamente distribuído em diversas espécies vegetais, como carboidrato de reserva, sendo abundante em grãos de cereais, leguminosas, raízes e tubérculos. É a fonte mais importante de carboidratos na alimentação humana, representando 80-90% de todos os polissacarídeos da dieta (MATSUGUMA, 2006; SANTACRUZ, 2004). O amido é considerado como um carboidrato de estrutura complexa de polímeros $(C_6H_{10}O_5)_n$ de glicose formados através de síntese por desidratação (a cada ligação de duas glicoses, há uma “liberação” uma molécula de água) (YAMANI, 2010). Sua estrutura é formada por dois polímeros, a amilose e a amilopectina, em proporções que variam entre as diferentes espécies de procedência e, mesmo, entre amidos provenientes da mesma espécie. As proporções de amilose e amilopectina influenciam grandemente na viscosidade e no poder de gelificação do amido (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

É uma matéria-prima bastante utilizada na indústria alimentícia, cosmética e farmacêutica (ARAUJO FARRO, 2008). Na indústria de alimentos é utilizado como ingrediente, espessante, estabilizante, agente gelificante, formador de pasta e adesivo, dentre outros (SING et al., 2003). Também é adicionado como ingrediente funcional em vários produtos como molhos, pudins, doces, carne moída, pescados e uma variedade de alimentos com pouca gordura (HERMANSSON; SVEGMARK, 1996). Em produtos líquidos, o amido é adicionado para aumentar a viscosidade e a estabilidade, e em produtos semi-sólidos para contribuir na estrutura e assim intensificar a interação de moléculas de gordura e água (HERMANSSON; SVEGMARK, 1996; SINGH et al, 2006).

Amidos nativos (que não sofreram quaisquer modificações industriais, físicas ou químicas) apresentam características distintas quanto às propriedades físico-químicas e tecnológicas que devem ser consideradas no momento de determinar sua aplicabilidade em alimentos e para outros fins industriais. Estas propriedades encontram-se influenciadas principalmente pela estrutura granular e molecular do grânulo de amido (WANG; WHITE, 1994a). Entre as características de interesse estão a estrutura química, cristalinidade, cor, conteúdo de amilose, amilopectina e outros constituintes; que proporcionam propriedades específicas de gelatinização e retrogradação; e entre as propriedades tecnológicas estão à solubilidade, poder de

inchamento, textura e comportamento reológico das pastas e géis (WANG; WHITE, 1994b).

Os países tropicais, como o Brasil, possuem cinco principais fontes comerciais de amido: milho, mandioca, batata, trigo e arroz. Esses nem sempre atingem as características desejadas pela indústria, despertando-se o interesse por novas fontes deste polissacarídeo, cujas características poderiam atender a determinados usos alimentares. Grandes quantidades de espécies amiláceas são estudadas como fonte alternativa para produção de amido: araruta, inhame, biri, mandioquinha-salsa, banana verde e grão de bico (TORRUCO-UCO; BETANCUR-ANCONA, 2007). Outra fonte alternativa de amido que vem sendo estudado é a semente de jaca que, segundo Madrigal-Aldana et al. (2011), possui um teor de amido com pureza de 81,16 %.

A jaca (*Artocarpus integrifolia* L) é originária da Ásia, tendo se aclimatado muito bem no Brasil. É muito rica em carboidratos, vitaminas do complexo B e em sais minerais. Os bagos são consumidos frescos, e quando processados apresentam-se na forma de doces, compotas, polpas congeladas, refrescos, sucos e outros. Após a utilização dos bagos, a semente de jaca é considerada um resíduo agroindustrial que ao invés de ser descartado, pode ser utilizado na forma de farinha na culinária para a elaboração de diversos pratos. Atualmente estuda-se a adição da farinha da semente de jaca no preparo de biscoitos, doces e pães, como fonte alternativa de proteína e carboidratos (RODRIGUES *et al.*, 2004).

Para que o uso do amido de semente de jaca na indústria de alimentos seja possível, torna-se necessário determinar as características físico-químicas, as propriedades tecnológicas e as mudanças que podem ocorrer na estrutura dos géis devido à interação do amido com os diversos ingredientes das formulações, como água, proteína e sal. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo estudar as características físico-químicas e o efeito da adição de proteína e sal nas propriedades reológicas e no perfil de textura dos géis obtidos do amido da semente de jaca (*Artocarpus Integrifolia* L).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar o efeito da adição de proteína e sal nas propriedades físicas e reológicas dos géis obtidos a partir de amido da semente de jaca (*Artocarpus integrifolia*).

2.2 Objetivos Específicos

I. Avaliar a composição química, incluindo o teor de amilose, no amido da semente de jaca (*Artocarpus integrifolia*);

II. Analisar o poder de inchamento e o índice de solubilidade do amido da semente de jaca;

III. Estudar a morfologia do amido da semente de jaca (*Artocarpus integrifolia*) através da microscopia eletrônica de varredura (M.E.V);

IV. Determinar as propriedades reológicas em estado estacionário (curvas de escoamento) dos géis de amido da semente de jaca obtidos após a adição de proteína e sal;

V. Caracterizar as propriedades reológicas em estado dinâmico (ensaios oscilatórios) dos géis de amido da semente de jaca obtidos após a adição de proteína e sal;

VI. Determinar a influência da adição de proteína e sal na textura dos géis formados a partir do amido da semente de jaca.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Amido

O amido constitui uma importante reserva de nutrientes das plantas superiores (sementes, tubérculos, rizomas e bulbos). É um dos constituintes mais importantes da alimentação humana pelo fato de ser facilmente hidrolisado e digerido, apresentar baixo custo, grande disponibilidade e facilidade de armazenamento e manipulação. Os amidos provenientes de diferentes fontes apresentam propriedades diferentes e são utilizadas na indústria de alimentos com diferentes propósitos, tais como: nutricional, tecnológico, funcional e sensorial (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

Os países em regiões tropicais, como o Brasil, apresentam grande vantagem em relação aos principais produtores de amido no mundo, que estão localizados em regiões temperadas, devido à variedade de culturas tropicais amiláceas (LACERDA, 2006).

No Brasil, os amidos mais isolados industrialmente são os de milho e mandioca. O milho é um cereal de grande utilização industrial, seja para indústrias processadoras de ração animal ou para consumo humano. É largamente utilizado para modificações, gerando assim produtos com muitas aplicações. Esta fonte de vegetal contém de 60 a 68% de amido. A conversão do amido em xaropes de glicose, maltose frutose e outros derivados como a maltodextrina é amplamente utilizada (LACERDA, 2006). A mandioca é importante pelo fato de que suas raízes são comestíveis, possuindo alto teor de amido e constitui alimento básico do brasileiro (CEREDA; VILPOUX, 2003).

3.1.1 Composição

O amido é constituído por uma mistura de dois polissacarídeos denominados amilose e amilopectina, em proporções que variam entre as diferentes espécies de vegetais e o grau de maturação das plantas. As proporções de amilose e amilopectina influenciam nas propriedades tecnológicas do amido (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

A amilose e a amilopectina não existe livre na natureza, mas como agregados semicristalinos organizados em grânulos de amido. O tamanho, a forma e a estrutura desses grânulos variam, entre as fontes botânicas. Os diâmetros dos

grânulos variam de 2 a 100 μm e os formatos podem ser regulares (esférico, ovóide ou angular) ou bastante irregulares (COULTATE, 2004).

3.1.1.1 Amilose

A amilose é um polissacarídeo composto por unidades de D-glucose, ligadas entre si por ligações α (1– 4) (Figura 1). Na forma cristalina, a molécula de amilose tem uma conformação helicoidal, devido à formação de ligações de hidrogênio entre os radicais hidroxilas das moléculas de glicose e quando corada com iodo, forma um complexo azul (BOBBIO; BOBBIO, 2001; ACQUARONE; RAO, 2003). Esta molécula apresenta massa molecular de $1,5 \times 10^5$ a 10^6 Dalton e tamanho médio de cadeia de aproximadamente 10^3 unidades de glicose (BILIADERIS, 1991).

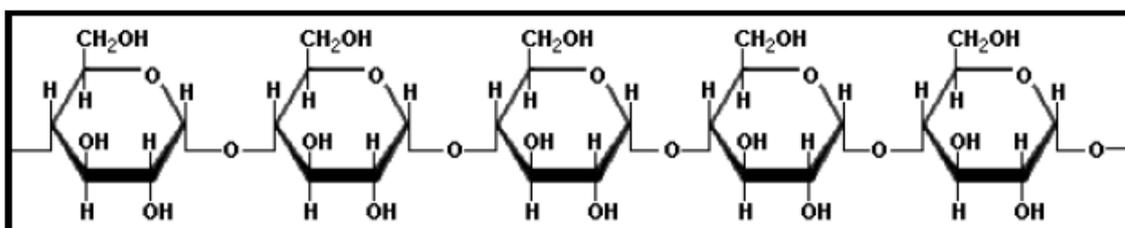


Figura 1 - Representação da Cadeia Linear da Amilose.
Fonte: ZAMORA (2012).

O teor de amilose é comumente estimado através de reação com iodo e quantificado por meio de métodos potenciométrico e amperométrico ou espectrofotométrico (MORRISON; LAIGNELET, 1983).

Amidos chamados de “cerosos” (*waxy*) contêm menos de 15% de amilose, enquanto a maioria dos amidos comumente encontrados apresenta entre 20 – 30% de amilose e amidos com mais do que 40% são considerados os de elevado conteúdo de amilose (TESTER et al., 2004; CORRADINI et al., 2005).

3.1.1.2 Amilopectina

A amilopectina apresenta uma estrutura ramificada, constituída por cadeias lineares de 20 a 25 unidades de α -D-glicoses unidas em α 1 \rightarrow 4, com um peso molecular total da ordem de 10^7 a 10^9 Dalton. Essas cadeias, por sua vez, estão unidas entre si, através de ligações glicosídicas α 1 \rightarrow 6. (BOBBIO; BOBBIO, 2001; RIBEIRO; SERAVALLI, 2007). A grande maioria dos amidos contém de 20 a 30% de amilose e 70 a 80% de amilopectina e essa razão se altera conforme a fonte botânica (CORDENUNSI et al., 2006).

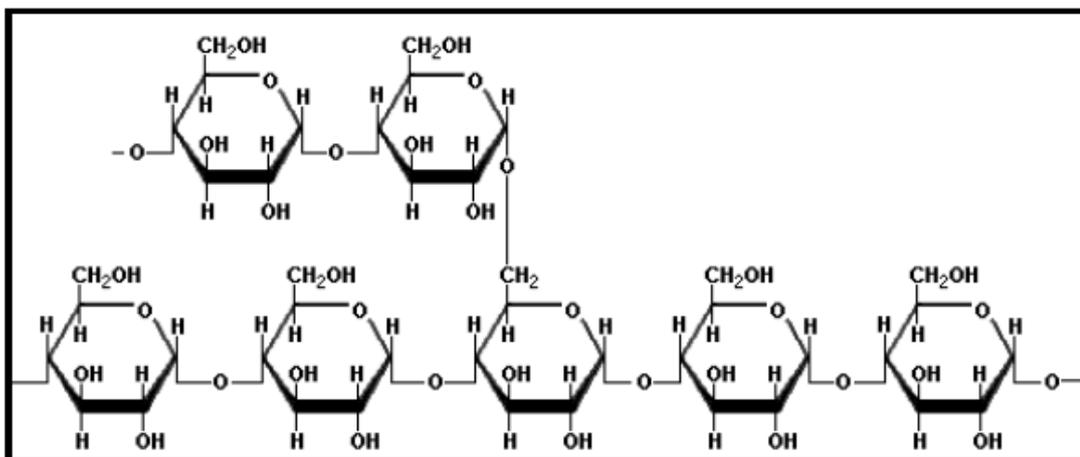


Figura 2 - Representação da Cadeia da Amilopectina.
Fonte: ZAMORA (2012).

As moléculas de amido, lineares (amilose) e ramificadas (amilopectina) estão associadas paralelamente, suas cadeias são mantidas juntas por ligações de hidrogênio, o que resulta no aparecimento de regiões alternadas amorfas e cristalinas, respectivamente. As regiões amorfas não apresentam orientação particular (definidas) e sua associação são fracas, as áreas cristalinas mantêm a estrutura do grânulo e controlam o comportamento do amido em água e sua associação é mais forte (CIACCO; CRUZ, 1982).

3.1.1.3 Outros Componentes do Amido

Além dos componentes macromoleculares do amido, a amilose e a amilopectina, podem aparecer outros constituintes em menor concentração como: lipídeos, proteínas, fibras e minerais (BULEON *et al.*, 1998). A presença desses constituintes resulta de uma deficiência no processo de purificação do amido durante a extração e, mesmo em pequenas quantidades, desempenham um importante papel nas propriedades físico-químicas e tecnológicas do amido (YONEMOTO, 2006; JAYAKODY, 2001). É importante que a matéria-prima apresente baixos teores desses componentes e alto teor de amido, pois alguns componentes, como fibras, podem interferir no processo de extração do amido, alterando o rendimento final e contaminando o produto (PERONI, 2003).

Os lipídeos representam a fração mais importante associada com grânulos de amido. Eles podem ser encontrados ligados internamente ou na superfície dos componentes do amido, na forma complexada com a amilose, ou ligado a grupos hidroxilas da amilopectina (TESTER *et al.*, 2004). Os da superfície geralmente são

triglicerídeos, com alguma quantidade de ácidos graxos livres, glicolipídeos e fosfolipídeos e os internos são predominantemente monoacil lipídeos, como lisofosfolipídeos e mistura de ácidos graxos livres (JAYAKODY, 2001). De acordo com SWINKELS (1985), citado por JAYAKODY (2001), as conseqüências causadas pela presença de lipídeos no grânulo de amido são a redução da capacidade de se ligar com a água, afetando o poder de inchamento e a solubilização do amido; possibilidade de causar sabores indesejáveis devido à oxidação de lipídeos insaturados superficiais; redução da capacidade de gelatinização, quando ligados à amilose, e formação de pastas opacas resultantes de complexos insolúveis amido-lipídeos.

Outro constituinte presente nos amidos são as proteínas, aproximadamente 10% estão presentes na superfície do grânulo e geralmente não influenciam nas propriedades tecnológicas do amido (TESTER et al., 2004).

3.2 Necessidade de novas fontes de amido

O amido apresenta características físico-químicas e qualidade nutricional superiores quando comparado com outros carboidratos. Podendo ser usado como importante ingrediente nas indústrias de alimentos, sendo estas as maiores consumidoras de amido (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004).

No desenvolvimento de novos produtos são utilizados amidos com propriedades específicas para conferir funcionalidade desejável ao alimento (ALVES et al., 1999). Os mesmos podem ser utilizados como espessantes, quando o objetivo é obter alta viscosidade, além de ser adicionado como ingrediente funcional em muitos produtos como sopas instantâneas, pudins, balas, produtos em pó a base de carnes e peixes, pode ser usado como emulsificantes em salsichas e lingüiças, e em grande variedade de produtos com baixo teor de gorduras, além de ter aplicações em um grande número de processos industriais destacando-se seu uso nas indústrias de papel e têxtil. O emprego de amidos em geral pode variar de produto para produto de acordo com sua funcionalidade específica (HERMANSSON; SVEGMARK, 1996; SLATTERY et al., 2000; FRANCO et al., 2001; LEONEL; CEREDA, 2002).

Os países tropicais, como o Brasil, possuem cinco principais fontes comerciais de amido milho, mandioca, batata, trigo e arroz, esses nem sempre atingem as características desejadas pela indústria. Despertando-se o interesse em

novas fontes deste polissacarídeo, cujas características poderiam atender a determinados usos alimentares. Grandes quantidades de espécies amiláceas (araruta, inhame, biri, mandioquinha-salsa, banana verde, grão de bico e outros) são estudadas como fonte alternativa (TORRUCO-UCO; BETANCUR-ANCONA, 2007). Uma fonte alternativa de amido que vem sendo estudado é a semente de jaca que, segundo Madrigal-Aldana *et al.* (2011), possui um teor de amido de 81,16 %.

A jaca (*Artocarpus integrifolia* L) é originária da Ásia, tendo se aclimatado muito bem no Brasil. É muito rica em carboidratos, vitaminas do complexo B e em sais minerais. Os bagos são consumidos frescos, e quando processados apresentam-se na forma de doces, compotas, polpas congeladas, refrescos, sucos e outros. Já a semente pode ser consumida assada ou utilizada na culinária para a elaboração de diversos pratos. Atualmente estuda-se a adição da farinha da semente de jaca no preparo de biscoitos, doces e pães, como fonte alternativa de proteína e carboidratos (RODRIGUES *et al.*, 2004).

3.3 Misturas proteína-polissacarídeo

Os sistemas mistos de proteínas e de polissacarídeos encontram-se em muitas formulações alimentares, pois melhoram as propriedades tecnológicas do amido (OLSSON *et al.* 2002). Apesar disso, à necessidade de mais pesquisas para compreender as interações que regulam a funcionalidade destes sistemas (CONSIDINE *et al.* 2011).

Misturas de biopolímeros exibem comportamentos complexos, devido relação do equilíbrio ao estado de ordem - desordem de conformação, além de apresentarem transição e separação de fases em determinadas situações (CÈSARO *et al.*, 1999). Na maior parte dos sistemas proteína-polissacarídeo ocorrem três possíveis situações de equilíbrio (separação de fases) (Figura 3).

A separação de fases pode ser do tipo associativa se as interações entre os dois biopolímeros são favorecidas, o que leva à formação de duas fases, uma rica em solvente e outra onde se concentram os dois polímeros associados (coacervados ou complexados) (DOUBLIER *et al.* 2000; GRINBERG; TOLSTOGUZOV, 1997). Pode ocorrer a separação por segregação, ou seja, há uma repulsão mútua entre os dois polímeros (incompatibilidade termodinâmica), neste caso, cada uma das fases formadas é mais concentrada em um dos biopolímeros (DOUBLIER *et al.* 2000; SCHMITT *et al.* 1998). Também pode ocorrer o chamamos

de co-solubilidade em muitas soluções diluídas, onde o sistema é estável. Com o aumento da concentração dos biopolímeros o sistema pode tornar-se instável, o que vai depender dependendo do tipo de interação (DOUBLIER *et al.* 2000; SCHMITT *et al.* 1998).

Os sistemas mistos de proteínas e de polissacarídeos tendem a separação de fase por segregação, devido a incompatibilidade termodinâmica entre eles, influenciados por fatores como pH, força iônica, temperatura, concentração ou cisalhamento (DELBEN; STEFANCICH, 1997).

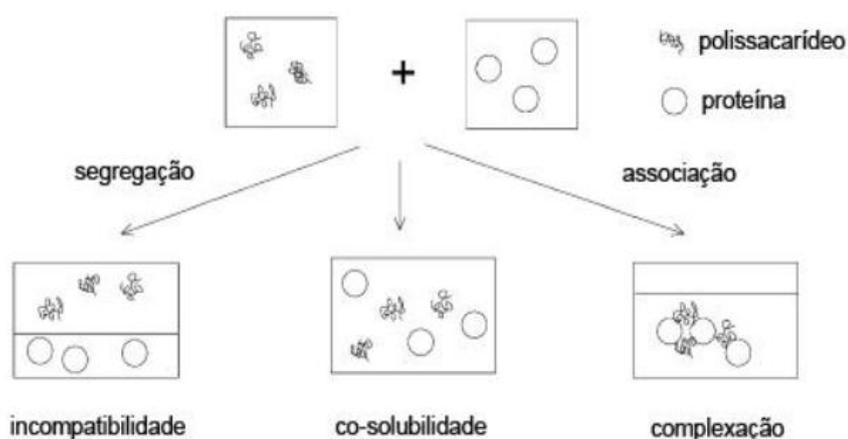


Figura 3 - Principais tendências no comportamento de misturas de proteínas e polissacarídeos.
 FONTE: KRUIF; TUINIER (2001).

3.4 Propriedades Tecnológicas do Amido

As propriedades tecnológicas do amido como poder de inchamento e solubilidade dos grânulos, gelatinização e retrogradação, textura e o comportamento reológico, podem ser afetadas pela razão amilose/amilopectina, relação água/amido, taxa de aquecimento, morfologia, cisalhamento e adição de outros componentes como o açúcar, sal e proteína (LIMBERGER *et al.*, 2008).

3.4.1 Poder de Inchamento e Índice de Solubilização

O amido puro possui coloração branca, é insípido e se adicionado à água fria quando mantido sob agitação forma uma suspensão de aspecto leitoso, separando se após repouso. Embora uma pequena fração torne-se solúvel quando agitado em água, é tido como praticamente insolúvel (CEREDA; VILPOUX, 2003).

Quando ocorre o aquecimento desses grânulos de amidos, em excesso de água, a estrutura cristalina é rompida e as moléculas de água se unem por ligações

de hidrogênio aos grupos hidroxila expostos da amilose e da amilopectina, o que causa um aumento do inchaço e da solubilidade dos grânulos (KOKINI et al., 1995).

A proporção amilose e amilopectina, as características de cada fração em termos de distribuição da massa molecular, o grau e extensão de ramificações e conformação são alguns dos fatores que afetam o poder de inchamento e a solubilidade. (FRANCO et al., 2001; HOOVER, 2001). A diferença entre poder de inchamento e índice de solubilidade dos amidos de diferentes fontes pode ser devido às diferenças na estrutura morfológica dos grânulos de amidos e a presença de outros componentes do amido, como lipídios, pode restringir a expansão e a solubilização do amido (SWINKELS, 1985). O amido de milho, por exemplo, apresenta intumescimento limitado, que ocorre em dois estágios. Isto sugere dois tipos de forças envolvidas nas interações entre as cadeias poliméricas que relaxam a diferentes temperaturas. Féculas como as de mandioca e de batata apresentam grande inchamento a temperaturas mais baixas, o que indica interações mais fracas e uniformes. De maneira geral a solubilidade e o poder de inchamento apresentam se correlacionados (LEACH et al. 1959; SINGH et al., 2003).

3.4.2 Gelatinização

As suspensões de amido, quando são aquecidas na sua faixa de temperatura de gelatinização, ou acima desta, perdem a orientação das moléculas devido à quebra da estrutura cristalina do grânulo, esse fenômeno é denominado gelatinização (PARKER; RING, 2001).

Com o rompimento da estrutura cristalina e perda da integridade granular, a água penetra no grânulo e se liga aos grupos de hidroxilas das moléculas, provocando perda de amilose para solução, aumento da viscosidade, perda da birrefringência, dissociação das duplas hélices e solubilização do amido. Essas alterações resultam em um sistema formado por uma fase rica em amilose (dispersa na solução) e grânulos inchados de amido (parcialmente desintegrados), constituídos principalmente de cadeias de amilopectina (SRICHUWONG et al., 2005).

A Figura 4 representa esquematicamente as mudanças que sofrem os grânulos de amido durante a gelatinização e posterior geleificação de uma suspensão de amido.

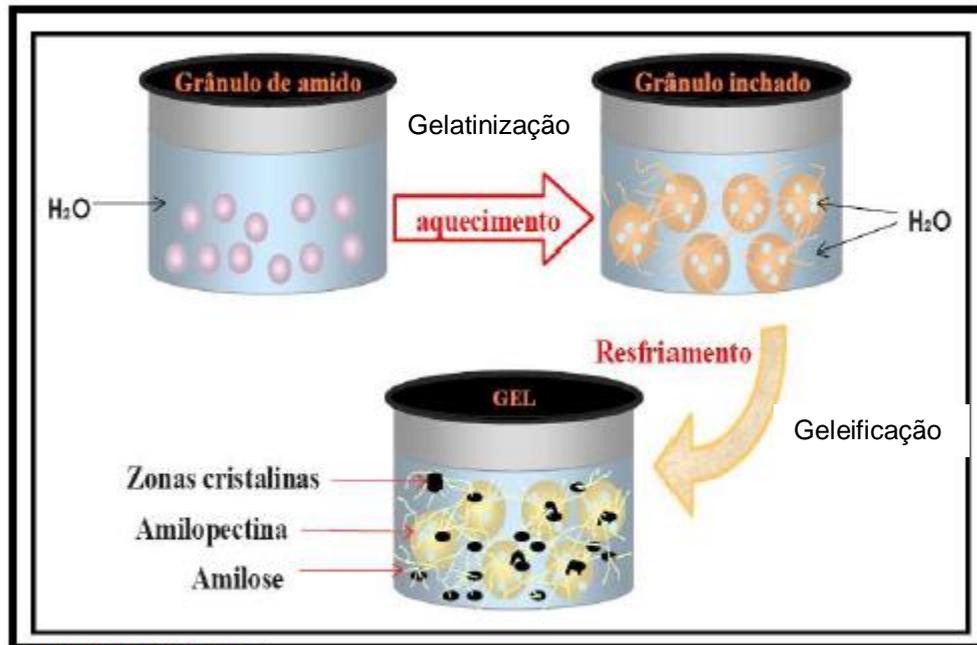


Figura 4 - Alterações dos grânulos de amido em suspensão submetidos à processos térmicos.
Fonte: PEREIRA (2004).

Os grânulos de amido irão intumescer até que a pressão osmótica gerada pelos grânulos (dependente diretamente da afinidade do solvente com o amido) se iguale à firmeza da rede de gel gerada pelo inchamento dos mesmos. Torna-se claro, portanto, que se as características da solução forem alteradas, por exemplo, pelo aumento da temperatura, aplicação de um cisalhamento ou a adição de outros componentes com elevada afinidade com as cadeias de amido, poderá ocorrer um aumento ou redução do inchamento dos grânulos (PARKER; RING, 2001).

Para cada amido, tem-se um intervalo de temperatura de gelatinização característico, sendo esse intervalo de temperatura medido a partir do início do desaparecimento das zonas cristalinas do grânulo até seu fim, e é visível em microscópio com luz polarizada (BOBBIO; BOBBIO, 2001; MESTRES, 1996). Na indústria alimentícia a temperatura de gelatinização, poder de inchamento, viscosidade e propriedade de pasta são de grande importância e determinam a utilização de um amido (CIACCO; CRUZ, 1982).

3.4.3 Geleificação

Quando uma suspensão gelatinizada (pasta) de amido é resfriada a energia cinética diminui, o que permite que as moléculas se associem novamente formando zonas cristalinas (mais ordenadas), fenômeno este denominado geleificação

(retrogradação) que resulta na formação de gel de amido (SRICHUWONG et al., 2005).

A geleificação é um processo que ocorre quando as moléculas de amido gelatinizadas vão perdendo energia e as ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila das moléculas de amilose adjacentes ficam mais fortes, favorecendo a formação de uma estrutura mais ordenada e menos solúvel (processo de cristalização), proporcionando firmeza do gel e aumento da opacidade do mesmo (AMANTE, 1986; FRANCO *et al.*, 2001). Com a formação de microcristais, em consequência da progressiva associação das moléculas em partículas maiores, ocorre a precipitação do amido da solução, voltando à condição de insolubilidade em água fria, característica típica do grânulo (AMANTE, 1986; FRANCO *et al.*, 2001).

A retrogradação da amilose é rápida, ocorrendo em poucas horas, enquanto a amilopectina requer tempos mais longos (dias ou semanas) e formam cristais menos estáveis (ponto de fusão = 60°C) que os da amilose (ponto de fusão = 150°C). Além disso, a taxa de retrogradação é afetada pela relação de amilose e amilopectina, tamanho molecular, tempo e temperatura de armazenamento, pH, lipídeos, hidrocolóides, sacarose, proteínas e outras fontes orgânicas (KOHYAMA *et al.* 2004).

Durante o processo de retrogradação, ocorre a liberação de água do gel, o que é denominado sinerese. Essa propriedade é indesejável para alguns produtos, como aqueles que passam por congelamento e descongelamento durante o período de comercialização, pois resulta em alterações na textura, acelerando a perda de qualidade (MATSUGUMA, 2006). Para produtos como molhos de salada, cremes e mostarda a sinerese torna-se uma propriedade desejável (LIU; THOMPSON, 1998).

3.5 Estrutura Microscópica do Grânulo de Amido

Os grânulos de amido têm sido submetidos a investigações estruturais desde o surgimento do microscópio. A escolha da técnica e do microscópio para uma visualização de alta resolução da estrutura dos grânulos depende do tipo de informação requerida, ou seja, superfície, ou estrutura interna. Informações sobre a superfície dos grânulos podem ser conseguidas, tanto com a microscopia eletrônica de varredura (M.E.V), como por microscopia de força atômica (M.F.A). Informações sobre a estrutura interna requerem o uso de microscopia eletrônica de transmissão (M.E.T) (GALLANT et al., 1997).

Em relação ao amido a microscopia eletrônica de varredura é utilizada para definir a estrutura dos grânulos, contribuindo para sua caracterização, principalmente quando se estuda amidos de diferentes fontes botânicas, com diferentes tratamentos de modificações (MARTINEZ-BUSTOS et al., 2007).

3.6 Reologia

O termo reologia vem do grego *rheo* (fluxo) e *logos* (ciência) e foi sugerido por Bingham e Crawford para descrever as deformações de sólidos e a fluidez de líquidos (LABA, 1993). A reologia é uma ciência que surgiu no início do século XX, tem por finalidade prever a relação que existe entre as forças externas que atuam sobre um corpo e a deformação ou escoamento que as mesmas produzem (STEFFE, 1996). A importância do estudo desta relação se justifica pelo fato de que diferentes materiais respondem de forma diferente às forças externas a que são submetidos.

A determinação das propriedades reológicas de alimentos é de suma importância para o controle de qualidade, o desenvolvimento de novos produtos, a correlação com a textura do produto e o projeto de tubulações e equipamentos (STEFFE, 1996).

Determinados materiais, quando submetidos a esforços mecânicos, exibem características físicas que permitem classificá-los como sólidos elásticos ou fluidos viscosos. Entretanto, substâncias como os polímeros comportam-se de um modo intermediário entre o elástico e o viscoso. Neste caso, a diferenciação não é possível e o comportamento é definido como viscoelástico. Uma característica importante dos materiais viscoelásticos é a dependência com a temperatura e a taxa de deformação. A relação entre as respostas viscosa e elástica podem alterar significativamente em função dos valores dessas variáveis (GANDUR, 2001).

A caracterização reológica de polímeros (como o amido) pode ser realizada através de ensaios estacionários ou oscilatórios. Cada um deles fornece um tipo de informação específica.

3.6.1 Reologia em Estado Estacionário

Ensaio estacionários são realizados a altas taxas de deformação sendo, portanto, ensaios destrutíveis, úteis em cálculos de tubulações, dimensionamento de equipamentos, ou desenvolvimento e otimização de processos (MORESI; SPINOSE,

1980), ou seja, adequados quando se deseja entender o comportamento de fluidos durante aplicações industriais do mesmo.

O comportamento de um fluido nesse ensaio se determina através das curvas de escoamento, gráficos de tensão de cisalhamento em função da deformação e a da viscosidade em função da taxa de deformação (STEFFE, 1996). Normalmente essas curvas são utilizadas para classificar os fluidos como Newtoniano ou não Newtoniano e as subclasses desse grupo. Esses ensaios também avaliam a influência de diversos fatores tais como: temperatura, concentração, presença e tamanho de partículas em suspensão (HOLDSWORTH, 1993; RAO; RIZVI, 1986).

3.6.1.1 Classificação reológica dos fluidos

Um fluido define-se como uma substância que se deforma continuamente quando submetido a um esforço constante, não importando o quão pequeno seja este esforço (STREETER, 1996).

A viscosidade é considerada um dos principais parâmetros reológicos e mede a resistência do fluido ao escoamento, quando uma taxa de deformação é aplicada. O comportamento de um alimento durante o seu processo pode variar significativamente, pois a consistência e a composição do material podem ser alteradas devido a etapas de mistura, aquecimento, resfriamento, homogeneização, aeração, fermentação, cristalização, contribuindo, portanto, na modificação da viscosidade (BHATTACHARYA, 1997).

De acordo com Castro *et al.* (2003), os fluidos newtonianos são aqueles que apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, e são dependentes somente da composição e temperatura. A viscosidade não varia com o aumento da taxa de deformação ou tensão de cisalhamento, sendo esta denominada como viscosidade absoluta (μ) (SHARMA *et al.*, 2000).

Muitos alimentos, como leite, suco de maçã, suco de laranja, vinho e cerveja exibem um comportamento newtoniano (SHARMA *et al.*, 2000). A Equação 1 é a representação matemática do comportamento reológico dos fluidos newtonianos.

$$\tau = \mu (\dot{\gamma}) \quad (1)$$

Onde:

τ – tensão de cisalhamento (Pa)

μ – viscosidade absoluta (Pa.s)

γ – taxa de deformação (s^{-1}).

Fluidos não newtonianos são caracterizados como todo o fluido cuja relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada não é linear e/ou não passa pela origem, e podem apresentar dependência ou independência com o tempo ou ainda serem viscoelásticos. Na Figura 5 é apresentado um esquema da classificação dos diferentes tipos de fluidos

Para fluidos não-newtonianos o termo viscosidade absoluta (μ) é substituído por viscosidade aparente (η_{ap}), a qual depende somente da magnitude da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento, sendo função do gradiente de velocidade (VIDAL *et al.*, 2000), representada pela Equação 2.

$$\eta_{ap} = \mu (\gamma)^n \quad (2)$$

Onde:

η_{ap} - viscosidade aparente (Pa.s)

μ – viscosidade absoluta (Pa.s)

γ – taxa de deformação (s^{-1})

n – índice de comportamento ($n \neq 1$).

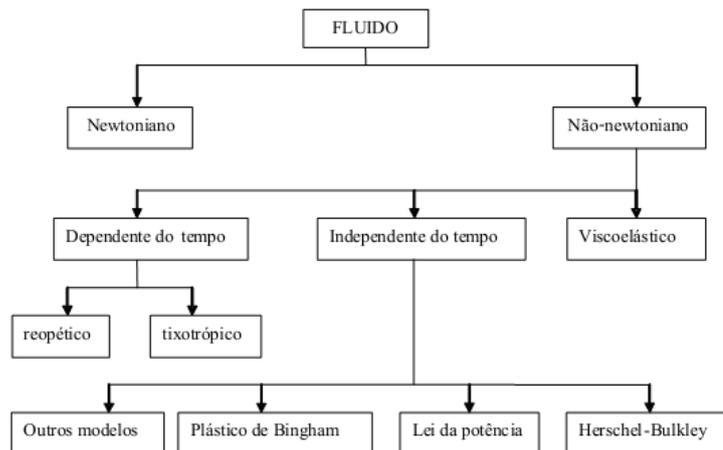


Figura 5 - Classificação do comportamento reológico de fluidos.
Fonte: STEFFE (1996).

Os fluidos não newtonianos independentes do tempo são classificados em: pseudoplásticos, dilatantes e plástico de Bingham. Os fluidos pseudoplásticos são que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais (VIDAL, 2000). Para este tipo de fluido ocorre um decréscimo na viscosidade com um aumento na tensão de cisalhamento (MCCLEMENTS, 2010), sendo que a taxa

de deformação versus a tensão de cisalhamento forma uma linha convexa (SHARMA *et al.*, 2000). Esses fluidos em repouso apresentam um estado desordenado, e quando submetidos a uma tensão de cisalhamento, suas moléculas tendem a se orientar na direção da força aplicada. Quanto maior a tensão aplicada, maior será a ordenação, conseqüentemente, a viscosidade aparente será menor (HOLDSWORTH, 1971). Alguns exemplos de fluidos pseudoplásticos são: sucos de frutas concentrados, purês de frutas e vegetais, pasta de amido e proteínas (RHA, 1978).

Os fluidos dilatantes apresentam o comportamento inverso ao fenômeno da pseudoplasticidade, ou seja, a viscosidade do fluido aumenta à medida que aumenta a taxa de deformação. Esse tipo de fluido somente é encontrado em líquidos que contém uma alta proporção de partículas rígidas insolúveis em suspensão (BOURNE, 1982). Alguns tipos de mel e suspensões de amido se enquadram nessa categoria (SHARMA *et al.*, 2000; STREETER, 1996).

Os plásticos de Bingham requerem uma tensão inicial para começar a escoar. Esses materiais possuem uma estrutura interna capaz de impedir o escoamento para valores de tensão de cisalhamento inferiores a um valor limite (τ_0). Quando a tensão de cisalhamento é maior que o valor limite, a estrutura interna colapsa, favorecendo o escoamento do material como um fluido (SKELLAND, 1967). Alguns exemplos de fluidos alimentícios que representam esse comportamento são maionese, margarina, catchup, molho de tomate e substâncias de cobertura, onde o fluxo não é desejado sob condições estáticas (COSTA, 2006). Na Figura 6 são apresentados os reogramas para os fluidos independentes do tempo.

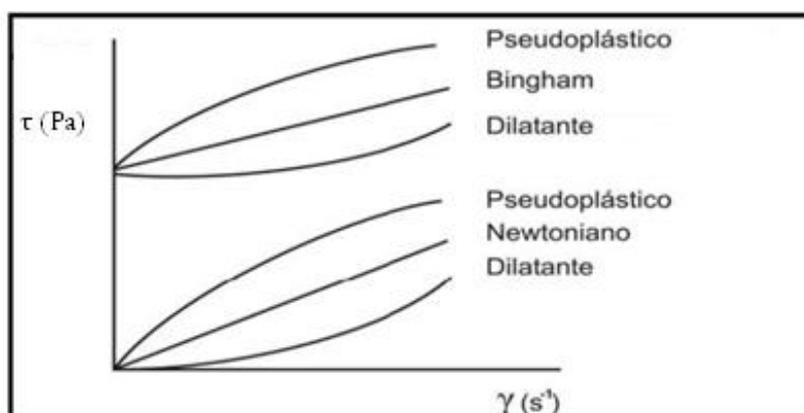


Figura 6 - Reograma para fluidos independentes do tempo.
Fonte: SHARMA *et al.*, 2000.

Os fluidos dependentes do tempo são classificados como tixotrópicos e reopéticos (Figura 7). Um fluido tixotrópico é aquele no qual a viscosidade aparente diminui com o tempo quando o fluido é submetido a uma taxa de deformação constante. Quando o fluido fica em repouso, retorna à condição original. Fluidos desse tipo são conhecidos por conter pequenas partículas (cristais ou biopolímeros) que são mantidos juntos por forças fracas. O cisalhamento do material separa as partículas agregadas e então ocorre uma menor resistência ao escoamento e a viscosidade decresce com o tempo até um valor constante ser alcançado (MCCLEMENTS, 2010). Têm-se como exemplos desse fluido as tintas e muitas argilas, particularmente a bentonita, que se “liquefaz” por agitação e se “solidifica” quando em repouso, além de pastas de frutas, gelatinas, manteigas, dispersões de hidrocolóides e goma xantana (POSSA; LIMA, 2000).

Os fluidos reopéticos caracterizam-se por apresentar aumento no valor da viscosidade aparente com o tempo, quando sujeitos a uma taxa constante de deformação. Há diferentes razões para este comportamento. A mais importante é que o cisalhamento aumenta a frequência das colisões entre as moléculas ou partículas dos fluidos, que pode levar a um aumento de agregados e conseqüentemente um aumento na viscosidade aparente (MCCLEMENTS, 2010). Este tipo de comportamento não é comum em alimentos, mas pode ocorrer em soluções de amido altamente concentradas (POSSA; LIMA, 2000; COSTA, 2006).

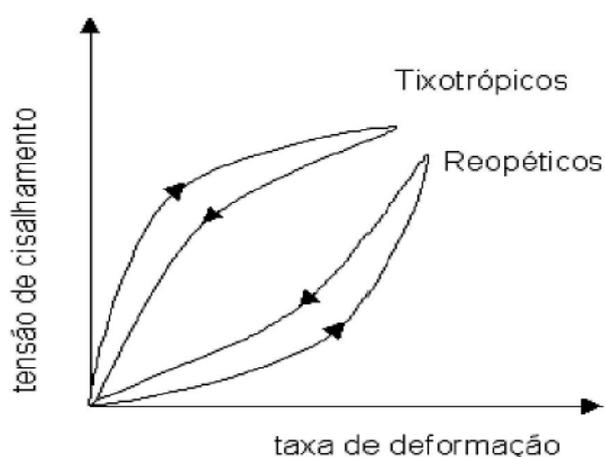


Figura 7 - Reograma para fluidos dependentes do tempo.
Fonte: SHARMA et al., 2000.

Muitos produtos alimentícios não são líquidos puros ou sólidos puros, mas possuem propriedades reológicas que são parcialmente viscosas e parcialmente

elásticas, ou seja, apresentam o comportamento de sólido elástico e de líquido viscoso simultaneamente, esses materiais são denominados viscoelásticos. (MCCLEMENTS, 2010). As dispersões de polímeros, os sistemas multifásicos, materiais com tecidos estruturais e semi-sólidos tais como pastas e géis são viscoelásticos (VIDAL, 2000).

3.6.2 Reologia em Estado Dinâmico

Ensaio dinâmico ou oscilatório é o mais comum para estudo do comportamento viscoelástico de alimentos (STEFFE, 1996). Pois, são realizados geralmente dentro da faixa de viscoelasticidade linear do fluido, ou seja, intervalo onde a resposta do material a uma tensão ou deformação aplicada ocorre de forma linear sendo, portanto realizados, na maioria das vezes, a baixas taxas de deformação permitindo o estudo a caracterização da conformação macromolecular e interações intermoleculares de soluções poliméricas, além de ser útil na determinação de temperaturas e tempos de gelificação (RAO, 2007; STEFFE, 1996).

Em um experimento dinâmico ou oscilatório, uma tensão ou deformação oscilatória senoidal a uma frequência (ω) é aplicada no material e a diferença de fase entre a tensão e deformação oscilatórias, bem como a taxa de amplitude são medidas (MA; BARBOSA-CÁNOVAS, 1995) (Figura 8).

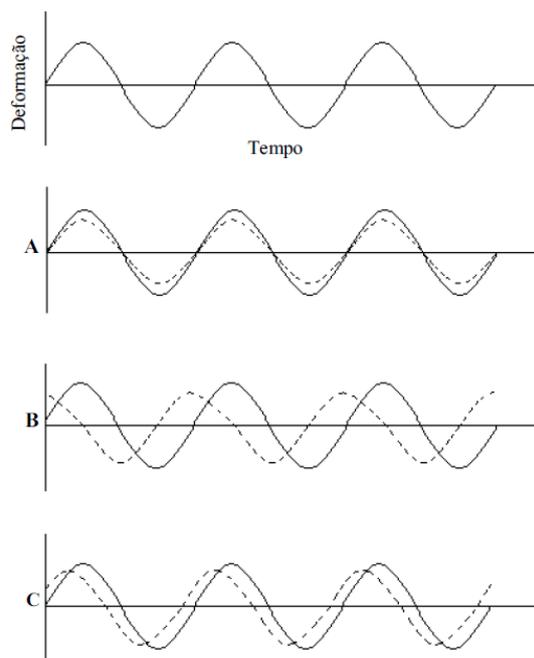


Figura 8 - Resposta da tensão e deformação de um líquido Newtoniano e de um sólido perfeitamente elástico em testes dinâmicos. Linhas sólidas = deformação. Linhas pontilhadas = tensão. A = Sólido elástico, tensão e deformação em fase. B = Líquido Newtoniano, tensão e deformação defasados em 90°. C = Material viscoelástico, tensão e deformação com defasagens menores que 90°.

De acordo com Rao (1999), em um teste oscilatório, a amostra de alimento é submetida a uma pequena força oscilatória ou deformação $\gamma(t)$ que varia senoidalmente com o tempo t , de acordo com a Equação (3).

$$\gamma(t) = \gamma_0 \sin(\omega t) \quad (3)$$

Onde: γ_0 é a amplitude máxima da deformação e ω é a frequência angular.

A deformação aplicada resulta em duas componentes de tensão na viscoelasticidade do material: uma componente elástica alinhada com a deformação e outra defasada em 90° referente à componente viscosa. A diferenciação da Equação (3) resulta na Equação (4), a qual mostra a taxa de deformação $\dot{\gamma}(t)$ relacionada com a componente viscosa que é $\pi/2$ radianos defasada com a deformação.

$$\dot{\gamma}(t) = \gamma_0 \omega \cos(\omega t) \quad (4)$$

Para deformação dentro da faixa de viscoelasticidade linear, a Equação (5) expressa a tensão produzida em termos de um módulo elástico ou de armazenamento (G') e um módulo viscoso ou de dissipação (G'').

$$\sigma_0 = G' \gamma_0 \sin(\omega t) + G'' \gamma_0 \cos(\omega t) \quad (5)$$

Para um material viscoelástico, a tensão resultante é também senoidal, mas mostra um ângulo de fase atrasado de δ radianos quando comparado com a deformação. O ângulo de fase, δ , varia em uma faixa de 0 a $\pi/2$ à medida em que o componente viscoso aumenta. A Equação (6) também expressa a variação senoidal da tensão resultante.

$$\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (6)$$

As expressões seguintes, derivadas das equações (5) e (6), definem o comportamento viscoelástico.

$$G' = \left[\frac{\sigma_0}{\gamma_0} \right] \cos \delta \quad (7)$$

$$G'' = \left[\frac{\sigma_0}{\gamma_0} \right] \sin \delta \quad (8)$$

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (9)$$

Onde: G' (Pa) é o módulo de armazenamento, G'' (Pa) o módulo de dissipação e $\tan \delta$ é a tangente da razão entre o módulo de dissipação e o módulo de armazenamento.

O módulo de armazenamento, G' , expressa a magnitude da energia que é armazenada no material ou recuperada por ciclo de deformação. Portanto, para um sólido perfeitamente elástico, toda a energia é armazenada, ou seja, G'' é zero e a deformação e a tensão estarão em fase como (Figura 8(A)). Por outro lado, para um fluido com propriedades não elásticas, toda a energia é dissipada na forma de calor, ou seja, neste caso, G' é zero e a tensão e a deformação estarão defasadas em 90° (Figura 8(B)).

É comum usar a notação complexa para representar ambas as componentes viscosas e elásticas em um só módulo, o módulo complexo. Para isso, as componentes viscosas são representadas no eixo dos números reais (R) e as componentes elásticas são representadas no eixo dos números imaginários (I) (Figura 9).

De acordo com a notação complexa, o módulo de cisalhamento complexo ($|G^*|$) fica definido numericamente como (RAO, 1992):

$$G^* = G' - iG'' \quad (10)$$

$$|G^*| = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \quad (11)$$

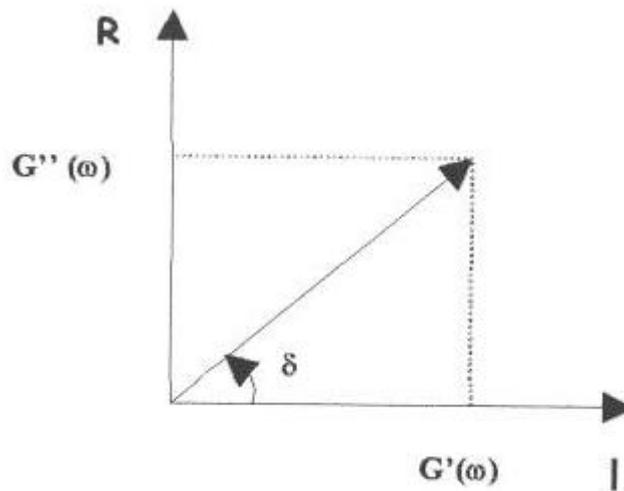


Figura 9 - Representação gráfica dos módulos de armazenamento (G') e dissipação (G'').

Outro modo de se apresentar resultados experimentais dinâmicos é através do uso da viscosidade complexa em cisalhamento η^* , que esta relacionada com suas componentes elástica (η') e viscosa (η'') (Equação 11).

$$\eta^* = \frac{G^*}{\omega} = (\eta' - i\eta'') = ((\eta')^2 + (\eta'')^2)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

A parte real da viscosidade complexa, η' , é chamada de viscosidade dinâmica e é igual a G''/ω . A parte imaginária, $\eta'' = G'/\omega$.

Além disso, pode-se escrever a tangente do ângulo de perda em termos das componentes da viscosidade complexa em cisalhamento (FERRY, 1980):

$$\tan \delta (\omega) = \frac{\eta''}{\eta'} \quad (13)$$

Os ensaios oscilatórios mais usados para obter propriedades úteis de materiais viscoelásticos, como géis, no processo de gelatinização e gelificação são: varredura de deformação (ou tensão), varredura de frequência, varredura de temperatura e o de varredura de tempo (FARIA, 2011).

Nos ensaios de varredura de deformação (ou tensão) os módulos de armazenamento (G') e dissipação (G'') são medidos em função do aumento da deformação (ou tensão), enquanto a frequência é mantida fixa. Esse ensaio é o mais usado na determinação da região de viscoelasticidade linear do material já que as

equações para análise oscilatória dinâmica só são válidas nessa região de viscoelasticidade. Além disso, nesse ensaio a temperatura tem que ser definida, pois os resultados normalmente variam com a temperatura (QUEIROZ NETO, 2006).

A varredura de frequência é certamente o teste reológico mais versátil para a caracterização da viscoelasticidade de um material (GUNASEKARAN; AK, 2003). É um teste bastante útil para a comparação entre produtos alimentícios diferentes ou para estudar os efeitos da adição de vários ingredientes e métodos de processamento. Com ele também é possível fazer caracterizações de suspensões poliméricas e de géis (RAO; TATTYYACUL, 1998). Neste ensaio, a frequência varia enquanto a deformação (ou tensão) e a temperatura são mantidas constantes. É empregado em estudos onde se deseja avaliar a estrutura do sistema com base nas curvas dos módulos de armazenamento (G') e de dissipação (G'') (STEFFE, 1996), obtendo-se o denominado “Espectro mecânico” (GIBOREAU et al., 1994). Com base nos dados obtidos neste teste é possível classificar os géis como verdadeiros ou fracos. Géis verdadeiros são aqueles cujas redes apresentam rearranjo molecular muito reduzido na escala de tempo analisada, tal que G' é maior que G'' ao longo da faixa de frequência varrida e esses módulos são quase independentes da frequência. Géis fracos, por sua vez, também apresentam G' mais alto que G'' , no entanto, G' tem uma inclinação aproximadamente nula e G'' exibe uma inclinação mínima à frequências intermediárias (CLARK; ROSS-MURPLY, 1987).

O ensaio de varredura de temperatura envolve a medição dos módulos G' e G'' em um determinado intervalo de temperatura e a uma frequência e amplitude de deformações (ou tensão) fixadas. Esse tipo de ensaio permite determinar a transição de fases, tais como ponto de gelificação durante o resfriamento de dispersões aquecidas, a gelatinização de dispersão de amido durante aquecimento. (RAO, 2007; STEFFE, 1996).

O ensaio de varredura de tempo é normalmente realizado com valores de temperatura, amplitude de deformação (ou tensão) e frequência constantes, enquanto G' e G'' são determinados em função do tempo. Esse ensaio também é conhecido como teste de cura do material e objetiva detectar variações na reologia do material devido ao efeito combinado do tempo e temperatura. (RAO, 2007; STEFFE, 1996).

3.7 Perfil de Textura de Gel

A avaliação de textura é um importante passo no desenvolvimento de novos produtos ou na otimização de processos industriais. Tanto técnicas de avaliação sensorial quanto medidas instrumentais são usadas na determinação de parâmetros de textura nos alimentos (MEULLENET et al., 1997).

A Organização Internacional de Padronização define textura de um alimento como, “todos os atributos reológicos e estruturais (geométrica e superficial) perceptíveis de um produto por meio mecânico, tátil, e, onde apropriado, recepção visual e auditiva” (ISO, 1992).

As propriedades de textura e mecânicas dos géis dependem dos constituintes do amido, da amilose, do volume e deformação dos grânulos e da interação entre as fases contínuas e dispersas (CHOI; KERR, 2003).

Apesar da textura ser uma propriedade sensorial, pode ser estudada também por métodos objetivos instrumentais. A forma mais comum de se avaliar a textura de alimentos por métodos instrumentais, é submeter a amostra a uma força e avaliar a extensão da deformação ou resistência da amostra a essa força. Embora existam várias metodologias de avaliação instrumental de textura, a força exercida sobre a amostra, pode ser aplicada basicamente de cinco formas diferentes através da compressão, do cisalhamento, do corte e da tração (BOURNE, 1982).

A classificação dos termos de textura para alimentos sólidos e semi-sólidos deu origem ao método de Análise Instrumental do Perfil de Textura (TPA) (PONS; FISZMAN, 1996; TUNICK, 2000). A TPA foi proposta como uma alternativa de superar os principais inconvenientes e limitações da avaliação sensorial relacionadas às dificuldades de interpretação e variação dos resultados (ANZALDÚA-MORALES, 1994). De acordo com o método do TPA, a amostra deve ser submetida a dois ciclos de compressão, simulando os movimentos mecânicos da mastigação. Essa simulação é convertida em um gráfico de força x tempo (Figura 10), dessa forma são determinados os seguintes parâmetros, conforme descrito abaixo (BOURNE, 2002; GUNASEKARAN; AK, 2003):

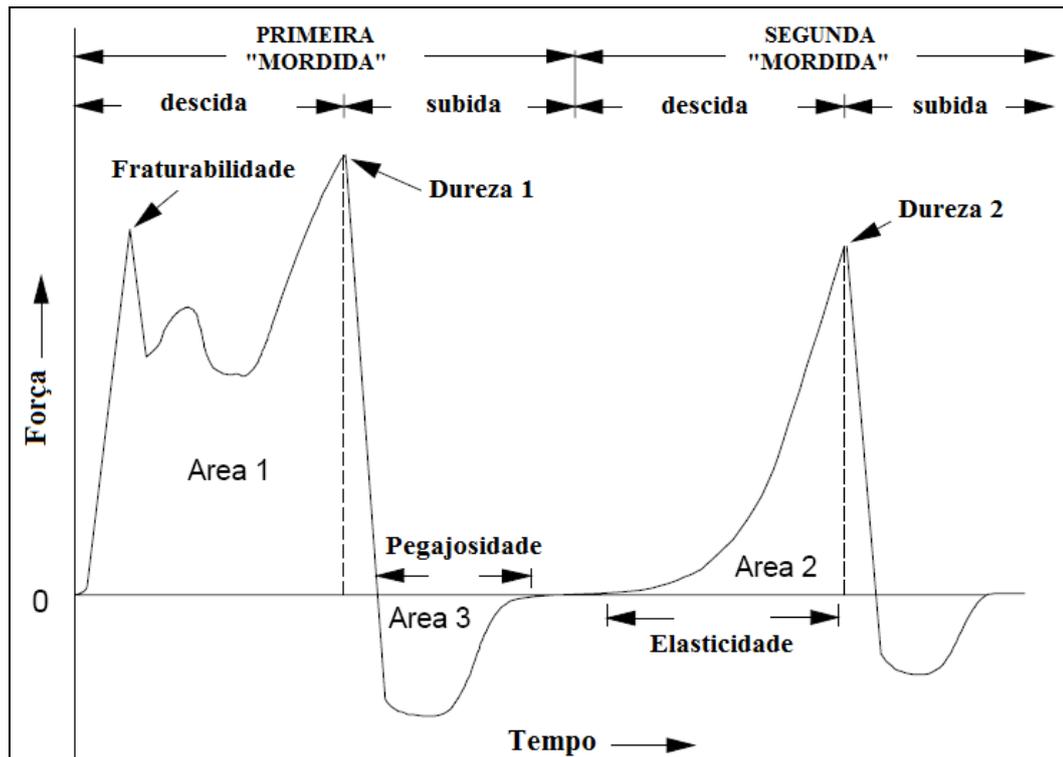


Figura 10 - Curva característica do perfil de textura (STEFFE, 1996).

- Fraturabilidade é a força necessária para o material fraturar, ou seja, é a força na ruptura observada no primeiro ciclo (produto com alto grau de dureza e baixo grau de coesividade);
- Dureza é a força dentro da boca requerida para comprimir uma substância entre os dentes molares ou entre a língua e o palato, ou seja, é a força necessária para atingir uma dada deformação. Popularmente chamada de maciez, firmeza ou dureza.
- Coesividade é a resistência das ligações internas que compõem o corpo do produto, ou seja, é a extensão até a qual o material pode ser distendido antes de romper irreversivelmente;
- Adesividade é a quantidade de força requerida para simular o trabalho necessário que sobreponha as forças de atração entre a superfície do alimento e a superfície em contato com este.
- Elasticidade é a dimensão que a amostra recupera após a primeira compressão antes da segunda, ou a velocidade na qual um material deformado volta à condição não deformada depois que a força de deformação é removida. É a extensão em que o alimento recobra a sua altura durante o tempo entre o fim da primeira mordida e o início da segunda;

- Gomosidade é a densidade que persiste quando se mastiga para desintegrar um alimento semi-sólido para um estado a ser deglutido.
- Mastigabilidade é o espaço de tempo requerido para mastigar uma amostra a uma taxa constante de força, reduzindo-a para uma consistência adequada a deglutição.

Uma amostra de um produto não pode exibir mastigabilidade e gomosidade pois a mastigabilidade se refere a alimentos sólidos e a gomosidade a alimentos semi-sólidos (MARFIL, 2010).

Segundo Brennan (1984) o texturômetro tem sido extensivamente utilizado para géis, pastas de proteínas de plantas e géis de derivados de soja.

Charoenrein et al. (2011), estudaram o efeito da adição do hidrocolóides nos géis de amido de arroz congelado nas propriedades texturais, utilizando a análise do perfil de textura (TPA).

|

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Obtenção da semente de jaca

As jacas foram adquiridas na feira livre da cidade de Itapetinga-Ba, sendo abertas para retirada dos bagos e separação das sementes. Em seguida as sementes foram lavadas em água corrente, para remoção de resíduos da polpa.

4.2 Extração do amido

Com o objetivo de facilitar o descascamento manual, as sementes de jaca foram colocadas em uma solução de hidróxido de sódio (6 % m/m) por 30 minutos. Após esse processo as sementes foram lavadas em água corrente e deixadas em uma solução de ácido cítrico (3% m/m) por 30 segundos. A extração do amido foi realizada segundo o método de Schoch e Maywald (1968), com modificações. As sementes foram colocadas em solução de bissulfito de sódio (0,2% m/m) por 30 minutos e trituradas em liquidificador industrial na velocidade máxima, por cinco minutos. A massa triturada foi então prensada em tecido de algodão, sendo o resíduo fibroso retornado ao liquidificador e reprocessado por mais três minutos. A “suspensão de amido” obtido foi decantado e centrifugado a 900 g por 5 minutos, a temperatura ambiente, em centrífuga de marca Med. Instruments (MPW- 550). O sobrenadante foi eliminado e da massa decantada foi retirada a “mucilagem” e o restante (amido) foi submetido à secagem em estufa BOD da marca Tecnal (TE-391) à temperatura 45 °C até atingir a umidade desejada, menor que 13 %.

4.3 Determinação do Rendimento do Processo de Extração

O rendimento do amido da semente de jaca foi calculado de acordo com a Equação 14.

$$\text{Rendimento em amido (\%)} = \frac{m_a \cdot x_a}{m_s} \cdot 100\% \quad (14)$$

Onde: m_a = massa amido extraído (g)

x_a = teor de amido

m_s = massa da semente de jaca (g).

4.4 Caracterização físico- química do amido

4.4.1 Umidade

A determinação de umidade foi realizada por método gravimétrico em estufa regulada a 105 °C, até peso constante, conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985), as mesmas foram feitas em triplicata.

Pesou-se cerca de 3,0 g de amostra em cadinho (previamente pesado) que foi colocado em estufa (Tecnal TE-393/I) a 105 °C por 24 h. Após este período, as amostras foram colocadas em dessecador e pesadas até peso constante.

O teor de umidade foi calculado pela Equação 15.

$$\% \text{ Umidade} = \frac{\text{massa de amostra seca}}{\text{massa de amostra úmida}} \times 100 \quad (15)$$

4.4.2 Cinzas

A determinação de cinzas foi realizada por método gravimétrico em forno tipo mufla (Quimis - Q318M21), até peso constante, conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985) as mesmas foram feitas em triplicata

Pesou-se cerca de 3,0 g de amido em cadinho (previamente pesado) que foi colocado na mufla (Quimis - Q318M21) à 555°C até completa incineração. Após esse período, as amostras foram colocadas em dessecador e pesadas até peso constante.

O teor de cinzas foi calculado pela Equação 16.

$$\% \text{ Cinzas} = \frac{\text{massa de cinzas}}{\text{massa de amostra}} \times 100 \quad (16)$$

4.4.3 Proteínas

O teor de proteína total foi determinado pelo método de Semi-micro Kjeldahl, conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985), as mesmas foram realizadas em triplicata.

Pesou-se cerca de 0,2 g da amostra seca e transferiu-se para um tubo de digestão, onde se adicionou 2 gramas da mistura catalítica e 5 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄)PA. Em seguida, iniciou-se a digestão em temperatura moderada para evitar a formação de espuma até atingir 400°C por um período de 3 horas. Deixou-se esfriar por 10 minutos e adicionou-se 10 mL de água destilada. Adicionou-se à

amostra 20 mL de hidróxido de sódio (NaOH) à 50% e 10 mL de ácido bórico à 4% (onde foi adicionado a solução indicadora de vermelho de metila a 0,1%). A destilação se deu por arraste, mantendo o terminal do condensador mergulhado na solução receptora até que toda a amônia fosse liberada. O volume final do destilado foi de aproximadamente 75 mL. Após à titulação do borato de amônio com solução de ácido clorídrico 0,1N. O fator de conversão nitrogênio/ proteína foi de 5,7.

O teor de proteína foi calculado pela Equação 17.

$$\% \text{ de Proteína} = \frac{V \times N \times 1,40}{P} \times 5,7 \quad (17)$$

Onde: V = volume de HCl gasto na titulação

N = normalidade do HCl usado

1,40 = equivalente miligrama do N (14)

P = peso da amostra

4.4.4 Fibra Bruta

A determinação de fibra bruta foi realizada de acordo com a AACC (1975), através de digestão ácida e básica da amostra desumidificada e desengordurada. Juntou-se 3 g de amido com 200 ml de ácido sulfúrico (1,25 % m/v), submetido a ebulição por 30 minutos (digestão ácida). Após, filtrou-se em papel filtro com 500 ml de água quente. Transferiu-se o material, que ficou retido no papel, com ajuda de 200 ml de hidróxido de sódio (NaOH) (1,25 % m/v) e deixou-se em ebulição por 30 minutos (digestão básica). Em seguida, filtrou-se em papel filtro com 500 ml de água quente. Colocou-se o papel mais a amostra em estufa (Tecnal TE-393/I) a 100°C até a secagem e pesou-se. Análise foi realizada em triplicata.

O teor de fibra bruta foi calculado pela Equação 18.

$$\% \text{ Fibra bruta} = \frac{\text{massa papel com resíduo} - \text{massa papel sem resíduo}}{\text{massa da amostra}} \times 100 \quad (18)$$

4.4.5 Lipídeos Totais

Os lipídeos totais do amido da semente de jaca foram determinados segundo o método de Bligh & Dyer (1959). Cerca de 3 g de amido foi dissolvida em uma mistura de clorofórmio, metanol e água em uma proporção de 1:2:0,8,

respectivamente, proporção esta em que os três solventes coexistem em uma solução homogênea.

Depois de agitada (por 10 minutos), adicionou-se clorofórmio (10mL) a essa solução e o mesmo volume de solução de sulfato de sódio (1,5% m/v), causando a separação total do clorofórmio (na camada inferior). Esta solução de clorofórmio foi filtrada (para eliminar traços de água). Foi transferido 5 ml do filtrado para uma estufa (Tecnal TE-393/I) a 100°C (em uma placa de Petri previamente pesada) por cerca de 15 minutos. Obteve-se assim a massa de lipídios em 5 ml de filtrado. A análise foi realizada em triplicata.

O teor de lipídeos totais foi calculado pela Equação 19.

$$\% \text{ Lipídeos totais} = \frac{\text{massa de lipídeos} \times 4}{\text{massa da amostra}} \times 100 \quad (19)$$

4.4.6 Carboidratos

Para a determinação dos carboidratos o método utilizado foi o cálculo por diferença segundo a Equação 20.

$$\% \text{ Carboidratos} = 100 - (U + L + P + F + C) \quad (20)$$

Onde: *U* = umidade, *L* = lipídeos (%); *P* = proteína (%), *F* = fibra bruta e *C* = cinzas (%), conforme a AOAC (1990).

4.4.7 Determinação do Teor de Amido

O teor de amido foi determinado em triplicata utilizando-se a metodologia de digestão ácida, descrita por Cereda *et al.* (2004), com modificações.

Cerca de 1,0 g de amido e 50 ml de ácido clorídrico (HCl) á 1M foram homogeneizados. Os tubos tampados foram então colocados em bloco digestor (Quimis SL. 25/40) a temperatura de 120 °C por aproximadamente 3 h. Após este período o amido foi hidrolisado em açúcares e 1 mL foi retirado para realização do teste com Lugol (Iodo em iodeto de potássio). A seguir a solução foi transferida para béquer e a com auxílio de um pHmetro (Quimis) foi neutralizada com hidróxido de sódio (NaOH) (10% m/v). Após neutralização o volume foi transferido para balão volumétrico de 250 mL e o volume foi completado com água destilada, em seguida

foi realizada a titulação de açúcares por Lane-Eynon utilizando solução de Felhing A e B.

Para determinação do teor de amido utilizou-se a Equação 21.

$$\% \text{ Amido} = \frac{250 \times TL \times 90}{\text{Média de vol. gasto} \times PA} \quad (21)$$

Onde: 250 é o volume total da diluição da amostra de amido em mL;

TL é o fator de correção para as soluções A e B;

90 é o fator que transforma açúcares redutores em amido;

Leitura média é a leitura da titulação da amostra de amido;

PA é o peso da amostra de amido usada, seca.

4.4.8 Determinação do Teor de Amilose

O teor de amilose foi determinado utilizando o método colorimétrico do iodo simplificado, que se baseia na transmissão de luz através de um complexo colorido que a amilose forma ao reagir com o iodo, de acordo com a metodologia de Martinez e Cuevas (1989). O complexo formado foi medido no comprimento de onda de absorção máxima de luz 610 nm em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S70). Utilizou-se a amilose pura de batata (Sigma Chemical) como padrão e análise foram realizados em triplicata.

4.4 Poder de Inchamento (PI) e Índice de Solubilização (IS)

O poder de inchamento e índice de solubilização foram determinados conforme a metodologia de Leach *et al.* (1959), com modificações. Em tubos de centrífuga foram colocados aproximadamente 1,25 g de amido e 15 mL de água destilada. Os tubos com a suspensão foram levados para um banho termostático marca Tecnal (TE-2005) em diferentes temperaturas (30, 40, 50, 60, 70 e 80) °C ± 0,1°C, por 30 minutos, sendo homogeneizados em um agitador de tubos de marca Phoenix (AP-56) a cada 5 minutos. Em seguida, os tubos foram centrifugados a 900 g por 10 minutos. O sobrenadante foi colocado em placa de Petri. A placa com sobrenadante foi seca em estufa por 3 horas a 105 °C e pesada para determinação

do amido solubilizado. O amido sedimentado no tubo de centrífuga foi pesado. O poder de inchamento (PI) e o índice de solubilidade (IS) foram calculados de acordo com as Equações 22 e 23, respectivamente.

$$PI (g \cdot g^{-1}) = \frac{PRC}{PA-PRE} \quad (22)$$

$$IS (\%) = \frac{PRE}{PA} \times 100 \quad (23)$$

Onde: PRC = Peso do resíduo da centrifugação, g;

PA = Peso da amostra, g;

PRE = Peso do resíduo da evaporação, g.

4.5 Morfologia dos Grânulos de Amido

A observação da morfologia dos grânulos de amido foi realizada em microscópio eletrônico de varredura Marca LEO, modelo 1430 VP, no Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa - UFV. A amostra em pó foi colocada sobre uma superfície de alumínio e coberta com ouro/ paládio (40/60), com um potencial de aceleração de 20 kV. Para a determinação da distribuição dos grânulos de amido quanto ao tamanho dos grânulos, foi utilizado o Sistema de Análise de Imagem (IMAGEJ).

4.6 Planejamento Experimental

O delineamento experimental foi conduzido inteiramente casualizado, utilizando-se um esquema fatorial completo 4 x 4, com quatro níveis de amido ((3, 6, 9 e 12) %) e quatro níveis de proteína ((0, 2, 4 e 6) %), a concentração de sal (2%) foi fixa para os tratamentos. A proteína utilizada foi um Concentrado Protéico do Soro Comercial (Maxnutry, Nutryclin Alimentos, Viçosa- Brasil) com 75% de proteína e o sal utilizado foi Cloreto de Sódio (NaCl) PA.

Para a Análise de Perfil de Textura (TPA) foram realizados testes preliminares, onde foi constatado que os níveis 3% e 6 % de amido com os respectivos níveis de proteína não apresentaram os parâmetros do Perfil de Textura (TPA). Com isso, para o parâmetro dureza e coesividade o experimento foi conduzido inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 4, sendo dois níveis de amido ((9 e 12) %) e quatro níveis de proteína ((0, 2, 4 e 6) %), a concentração de sal (2%) foi fixa para os tratamentos.

4.7 Preparação das amostras gelatinizadas

As suspensões de amido e soluto (proteína e sal) foram obtidas por relação m/m em suspensões com um total de 150 g. Foram calculadas desta forma as massas de amido e soluto a ser adicionado em cada amostra e completado com água destilada até a massa total de 150 g. As amostras foram aquecidas em um banho na temperatura de gelatinização (75°C/ 8 min) sob agitação suave, de modo a evitar a formação de grumos, depois deixadas por 1 hora na temperatura ambiente (SANTOS et al., 2009).

4.8 Comportamento Reológico

4.8.1 Ensaio Estacionário

O comportamento reológico estacionário (curvas de escoamento) foi conduzido em um reômetro MARS (HAAKE MARS, Thermo Electron Corp., Alemanha) com sensor de placa/placa (PP35Ti) de 35 mm de diâmetro e *gap* de 1 mm fixado pelo equipamento. O controle da temperatura foi realizado através de banho termostático (Phoenix 2C30P, Thermo Electron Corp., Alemanha).

As amostras previamente gelatinizadas (item 4.7), foram submetidas a uma variação da taxa de deformação de 0 a 500 s⁻¹ (curva ascendente) e de 500 a 0 s⁻¹ (curva descendente), com um tempo de 10 minutos para cada curva, nas temperaturas de 30 °C. As leituras foram feitas em duas repetições. Os resultados obtidos foram curvas de escoamento (gráficos de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação).

4.8.2 Ensaio Dinâmico

As análises reológicas em regime oscilatório foram realizadas no reômetro MARS (HAAKE MARS, Thermo Electron Corp., Alemanha), acoplado a um sensor de geometria cone/placa, rotor C-60/1°Ti e abertura *gap* de 0,052 mm (fixado pelo equipamento). O controle da temperatura foi realizado através de banho termostático (Phoenix 2C30P, Thermo Electron Corp., Alemanha).

As amostras previamente gelatinizadas (item 4.7) foram submetidas à varredura de tensão, frequência e tempo.

A varredura de tensão de oscilação foi realizada na faixa de 0,01 Pa a 10 Pa para obter o intervalo de viscoelasticidade linear das amostras. A frequência e a temperatura foram mantidas constantes, 1,0 Hz e 30°C, respectivamente.

Os ensaios de varredura de frequência em deformação oscilatória de baixa amplitude, na faixa de 0,01 a 10 Hz, a uma tensão constante (contida no intervalo viscoelasticidade linear) à temperatura de 30 °C. Determinando dos espectros mecânicos (módulos G' e G'' em função da frequência), utilizados para classificar os géis (fracos ou verdadeiros).

Para o estudo da varredura de tempo, utilizou-se um intervalo de tempo de 15 minutos a frequência de 1 Hz, a uma tensão constante (contida no intervalo viscoelasticidade linear) e na temperatura de 30 °C, com o objetivo de avaliar a estabilidade das amostras em função do tempo.

Para varredura de temperatura, as suspensões de amido e soluto (proteína e sal) depois de preparadas por meio de relações m/m, homogêneos em agitadores magnéticos por 15 minutos, foram analisadas. Onde foram obtidos os valores de G' e G'' em função de rampas de temperatura de 40 °C a 85 °C (gelatinização), a uma taxa de aquecimento ou resfriamento de 1,2 °C/min e uma frequência de 1 Hz.

Para prevenir a evaporação da amostra e conseqüentemente evitar o ressecamento das amostras nas bordas de geometria, foi colocado um sistema de proteção de acrílico sobre a geometria superior e aplicado óleo mineral na superfície lateral que ficou exposta ao meio externo.

4.9 Análise do Perfil de Textura dos Géis

O preparo das amostras para análise do perfil de textura foi realizada através da metodologia escrita por Dias (1999), com modificações. As amostras já gelatinizadas foram transferidas para béqueres de 50 mL (forma cilíndrica de 4,5 cm de diâmetro interno e 5 cm de altura), ajustando-se a altura do gel para 3 cm aproximadamente, resfriada durante uma hora em temperatura ambiente e colocada sobre refrigeração (4 °C /24 horas). Após este período os géis foram deixados por uma hora em temperatura ambiente e submetidos à análise do perfil de textura.

As análises do perfil de textura (TPA) do gel de amido foram realizadas em Aparelho TA.HD/Plus (Stable Micro Systems). Utilizou-se uma probe cilíndrica de 12,7 mm de diâmetro (P/0,5) no centro da amostra nas seguintes condições:

velocidade pré-teste de 3 mm/s, velocidade de teste de 1 mm/s e velocidade pós-teste de 2 mm/s (definidos após testes preliminares). O nível de deformação foi de 25% de altura da amostra original e os géis foram comprimidos duas vezes. Os parâmetros avaliados foram à dureza (N) e coesividade. As análises foram realizadas em três repetições.

4.10 Análise Estatística

Os resultados obtidos na análise do perfil de textura (TPA) foram submetidos análise de variância (ANOVA) e testado o efeito da interação entre as diferentes porcentagens de amido e proteína para as variáveis em estudo (dureza e coesividade). As médias dos dados qualitativos (efeito da % amido) comparadas pelo teste F e os quantitativos (efeito da % proteína) com emprego de análise de regressão, a 5% de probabilidade. Para realização das análises estatísticas foi utilizado o pacote estatístico SAS ® (System for Windows versão 9.0).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Rendimento percentual do processo de extração

O rendimento percentual do processo de separação do amido a partir da semente de jaca foi de 9,64% em base seca (b.s), coincide com o relatado por Madrigal-Aldana et al. (2011) de 9,30 % (b.s). Rendimento esse baixo comparado à outras fontes amiláceas não tradicionais como biri (11,44% (b.s)) (LEONEL et al., 2002), mandioca (22 % – 27 % (b.s)) (CEREDA et al., 2002) e mandioquinha salsa (10,3% (b.s)) (MATSUGUMA, 2006). Porém, a utilização das sementes de jaca como fonte de amido torna-se viável tendo em vista que a mesma é um resíduo agroindustrial. Além disso, a farinha obtida após a extração do amido ainda pode ser utilizada como ingrediente para fabricação de pães, biscoitos e bolos (RODRIGUES et al., 2004).

5.2 Composição Química do Amido

Os resultados da caracterização química do amido da semente de jaca obtido são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química do amido da semente de jaca.

Análises	Amido
Umidade (%)	7,24 ± 0,18
Cinzas (%)	0,32 ± 0,01
Proteínas (%)	2,06 ± 0,01
Lipídios (%)	0,80 ± 0,01
Fibras (%)	0,16 ± 0,02
Carboidratos Totais (%)	89,42 ± 0,20
Teor de amido (%)	86,71 ± 0,29
Teor de amilose (%)	27,58 ± 0,28
Teor de amilopectina (%)	72,42 ± 0,00

O teor de umidade do amido obtido encontra-se dentro da faixa relatada na literatura pesquisada (entre 7,26 % e 13 %) para amido obtido a partir da semente

de jaca (MADRIGAL-ALDANA et al. 2011; BOBBIO et al. 1978). Esse valor encontra-se também dentro do limite estabelecido pela legislação, que permite no máximo de 14 % de umidade para o amido comercial (BRASIL, 1978), ou seja, o tempo e a temperatura de secagem do amido foram suficientes para se alcançar o teor de umidade satisfatório.

Em relação às cinzas, o amido da semente de jaca apresentou um teor de 0,32 %, que está dentro do limite máximo de 0,50 %, estabelecido pela legislação (BRASIL, 1978) e maior que o relatado por Rengsutthi e Charoenrein (2011) e Bobbio et al. (1978), que encontraram um teor de cinzas de 0,04 % e 0,22 %, respectivamente. Essa variação está diretamente ligada principalmente ao tipo de solo e condições climáticas durante o cultivo da jaca (CIACCO; CRUZ, 1982).

O teor de lipídios (0,8%) foi superior ao encontrado por Dutta et al. (2011) e Rengsutthi e Charoenrein (2011), de 0,2 % e 0,03 % respectivamente para o amido da semente de jaca. Porém, o mesmo é considerado baixo (menor que 1%) e desejável de acordo com Moorthy (2001), sendo indicativo de pureza do amido. Os lipídios são responsáveis pela fixação de cor e desenvolvimento de aromas em produtos (BULÉON et al., 1998) e reduzem a capacidade de gelatinização, quando ligados à amilose, e formação de pastas opacas resultantes da formação de complexos insolúveis amido-lipídeos (JAYAKODY, 2001).

O amido obtido apresenta um teor de proteína superior ao encontrado por Dutta et al. (2011) (0,4%), o que se deve provavelmente ao método de extração utilizado, onde a etapa de remoção da mucilagem por raspagem não foi totalmente eficiente (ZAVAREZE *et al.*, 2009). Embora grande parte das proteínas da farinha da semente de jaca (12%) (SANTOS, 2009), tenha sido eliminada durante o isolamento do amido, nota-se ainda que o amido da semente de jaca possui um teor de proteínas muito superior ao do amido de milho (0,05 %) segundo Staht et al. (2007). De acordo com Liu e Thompson (1998), aproximadamente 10 % das proteínas estão associadas na superfície do grânulo e geralmente elas não influenciam nas propriedades tecnológicas do amido.

O teor de fibras (0,16 %) obtido foi similar ao encontrado por Rengsutthi e Charoenrein (2011) para o amido em semente de jaca (0,19 %). Valores baixos de fibras no amido indicam que a etapa de moagem e lavagem foram eficientes, pois são nestas etapas que ocorre o rompimento da estrutura da semente de jaca para a eliminação dos elementos fibrosos (LAJOLO *et al.*, 2001).

O teor de carboidratos (89,42 %) foi alto devido às outras frações centesimais não expressivas, confirmando estudos anteriores de que o amido da semente de jaca é uma excelente fonte de carboidratos. Uma característica importante do produto obtido foi o seu elevado teor de amido (86,71%) estando dentro do valor mínimo (80%) estabelecido pela legislação brasileira para que um produto seja classificado como amido comercial (BRASIL, 1978).

O amido obtido apresentou um teor de amilose similar ao encontrado por Kittipongpatana e Kittipongpatana (2011) de 26,4% para amido da semente de jaca e superior ao teor encontrado para o amido de milho (25,96%) (PEREIRA, 2004). As quantidades relativas de amilose e amilopectina são conhecidas por influenciar as propriedades tecnológicas e nutricionais da pasta de amido, como a suscetibilidade a hidrólise enzimática, gelatinização, retrogradação, poder de intumescimento e solubilidade, entre outros (GÉRARD, et al., 2001). Assim, por exemplo, amidos com elevado conteúdo de amilose apresentam menor intumescimento, solubilidade e suscetibilidade à ação enzimática, sendo utilizados como espessante e agentes fortificantes de géis, porém apresentam o problema da retrogradação. Por outro lado, o maior teor de amilopectina favorece o inchamento do grânulo e melhora a uniformidade, a estabilidade e a textura dos amidos, além de melhorar a estabilidade ao descongelamento dos alimentos quando congelados (SASAKI et al., 2000).

5.3 Poder de Inchamento (PI) e Índice de Solubilização (IS)

Na Figura 11 são apresentados os resultados para o poder de inchamento e índice de solubilidade do amido da semente de jaca.

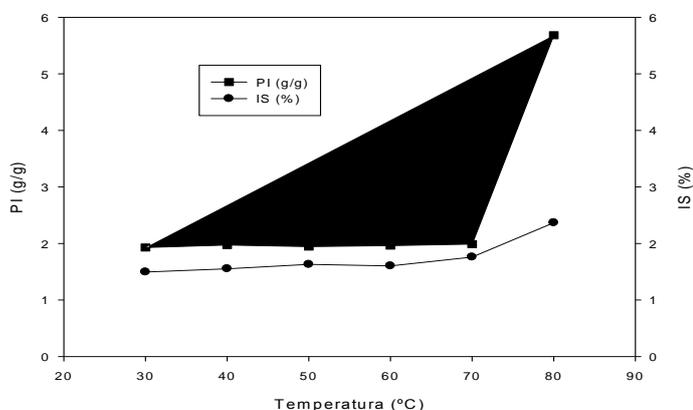


Figura 11 - Poder de Inchamento (PI) e Índice de Solubilidade (IS) do amido da semente de jaca.

O amido da semente de jaca não mostrou grande variação do PI (1,92 g/g a 1,98 g/g) e IS (1,50 % a 1,75 %) até 70 °C, porém acima desta temperatura houve um grande aumento do PI e IS, indicando ruptura das ligações internas do grânulo, ocorrendo intumescimento dos grânulos e aumento da solubilidade do amido. Esse comportamento já era esperado, pois o valor da temperatura de ruptura do grânulo está bem próximo à temperatura inicial de gelatinização (acima de 72 °C) valor encontrado por Madrigal-Aldana et al. (2011), através da análise térmica por Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) do amido de semente de jaca.

Tanto o PI quanto o IS dependem do arranjo das moléculas de amilose e amilopectina nos grânulos de amido, e por isso os dois índices mostram comportamento similar. O aumento da temperatura provoca rompimento de interações intermoleculares e a abertura das cadeias do amido permitindo a entrada de moléculas de água no grânulo de amido (AGUNBIADE; LONG, 1999) e conseqüente aumento dessas propriedades, como observado.

Na temperatura de 80 °C, o amido de semente de jaca apresentou valores de PI de 5,68 g/g e IS de 2,36%. Kittipongpatana e Kittipongpatana (2011) encontraram valores para PI de 6,8 g/g e IS de 7,2% para amido da semente de jaca, a diferença encontrada deve-se as variações genéticas, condições climáticas e de solo, idade da cultura e época de colheita (FRANCO et al., 2001).

5.4 Estrutura Microscópica do Grânulo de Amido

Na Figura 12 são apresentadas as micrografias obtidas através da microscopia eletrônica de varredura do amido da semente de jaca.

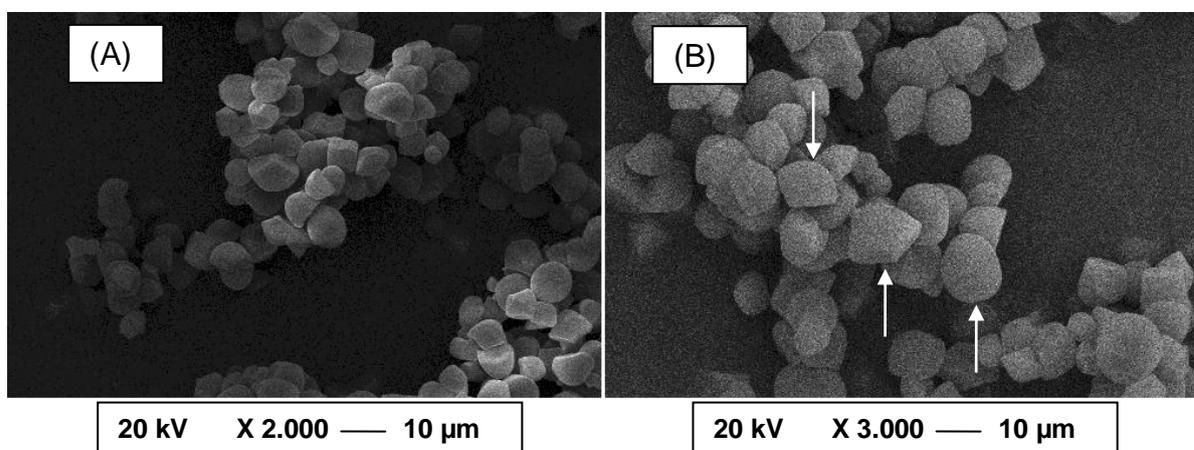


Figura 12 - Micrografias dos grânulos de amido da semente de jaca.

As micrografias dos grânulos de amido isolado evidenciaram a formação de uma matriz coesa com formas geométricas assemelhando com elipsóides, trigonal e tetragonal. Foi observada uma estrutura lisa, sem fissuras, o que demonstra grânulos íntegros e não danificado (Figura 12). O tamanho característico (diâmetro médio) se encontra na faixa de 6 μm a 12 μm e a distribuição do tamanho das partículas foi heterogêneo.

Formas e tamanhos encontrados estão coerentes com os observados por Dutta et al. (2011), Kittipongpatana e Kittipongpatana (2011) e Madrigal- Aldana et al. (2011), que também estudaram o amido da semente de jaca. Comparando com outras fontes botânicas o amido da semente de jaca, apresentou tamanho pequeno. CEREDA *et al.* (2002) encontraram os menores grânulos de amido em taioba e cará (2 μm a 5 μm) e os maiores em biri e inhame (25 μm a 50 μm). Fennema (2000) determinou o diâmetro médio do grânulo dos amidos comerciais: amido de milho está em 15 μm , da batata em 33 μm , da mandioca em 20 μm e do trigo entre 20 e 22 μm .

O tamanho do grânulo interfere na velocidade de decantação durante os processos industriais, os grânulos com tamanho menor têm sido utilizados em produtos comestíveis como molhos e sobremesas lácteas que exigem uma sensação de maciez na boca, e como substitutos de gordura devido ao tamanho semelhante aos lipídeos, como fonte de aplicação em produtos lácteos, sorvetes e molhos (DAIUTO, 2005).

Alguns autores mencionam que existe uma relação direta entre o tamanho e formato do grânulo de amido com as propriedades tecnológicas do amido (RILEY *et al.*, 2006).

5.5 Comportamento Reológico

5.5.1 Ensaio Estacionário

Os gráficos da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação obtidos na temperatura estudada (30 °C) para todos os géis preparados estão apresentados nas Figuras de 13 a 16.

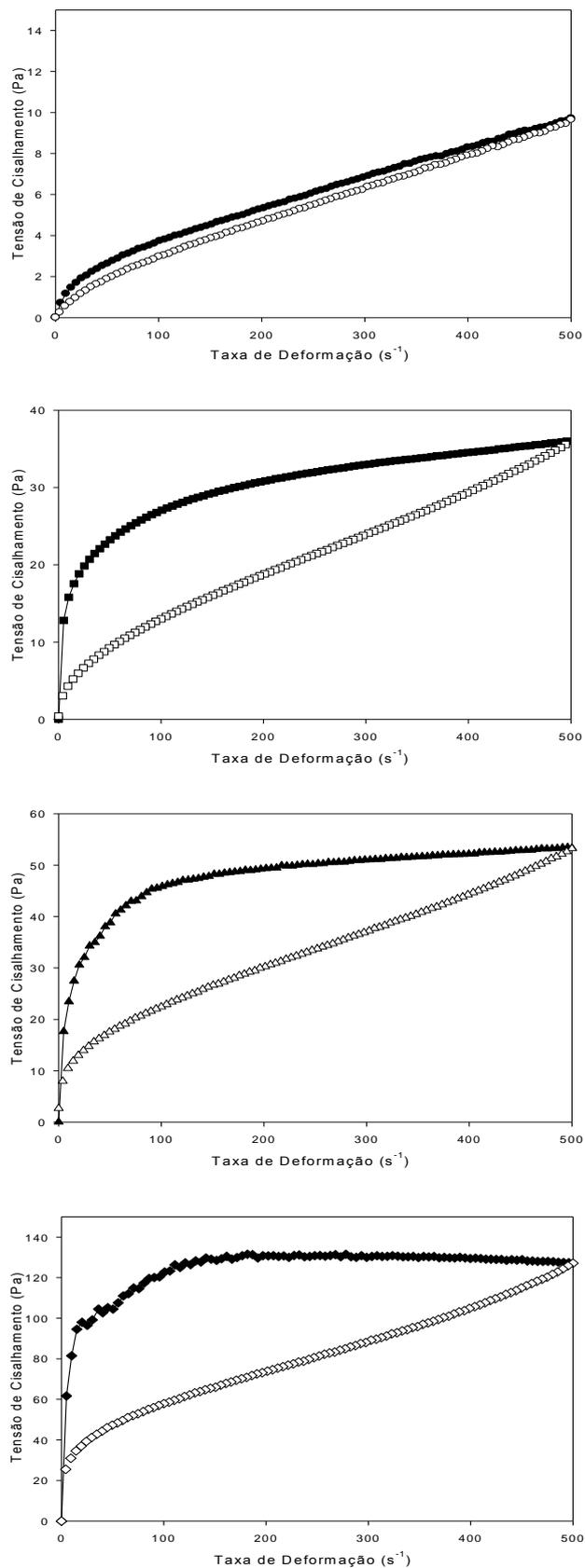


Figura 13 - Curvas de escoamento dos géis com 3% de amido da semente de jaca. —●— Curva ascendente —○— Curva descendente (0% proteína); —■— Curva ascendente —□— Curva descendente (2% proteína); —▲— Curva ascendente —△— Curva descendente (4% proteína); —◆— Curva ascendente —◇— Curva descendente (6% proteína).

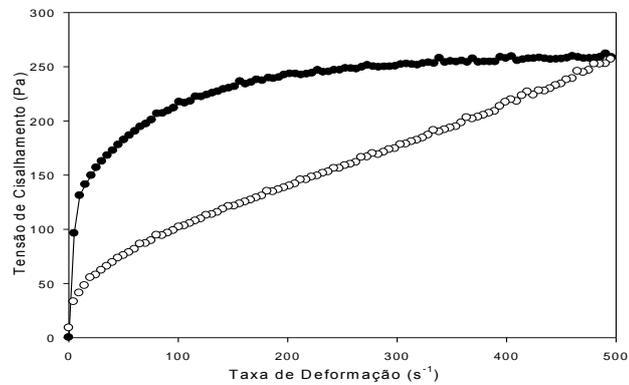
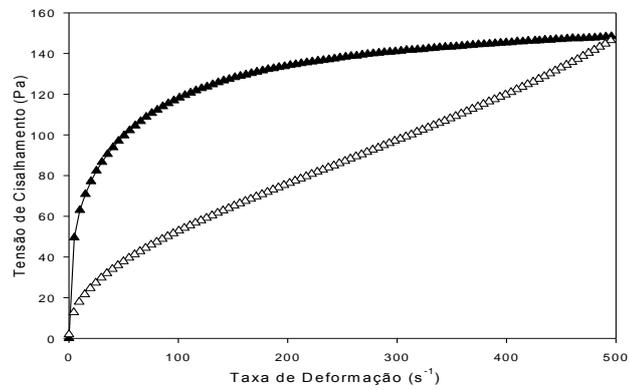
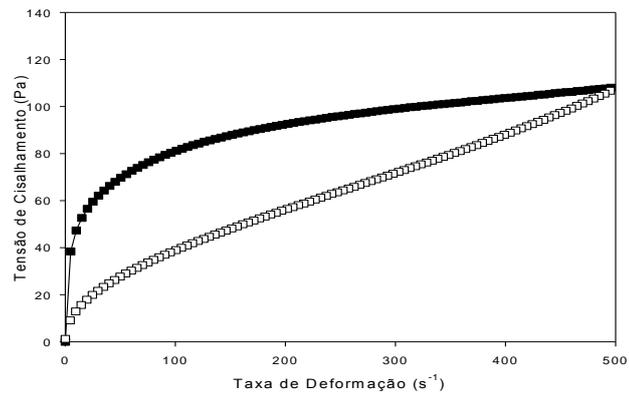
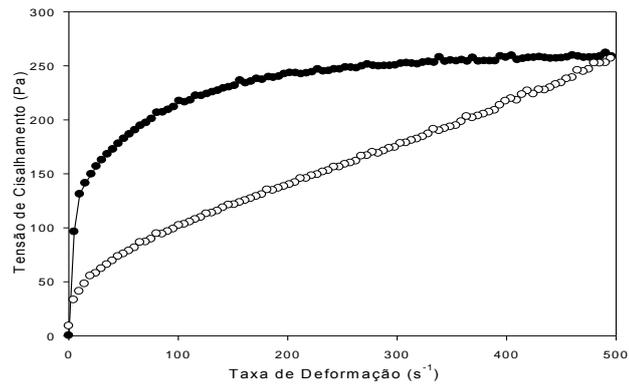


Figura 14 - Curvas de escoamento dos géis com 6 % de amido da semente de jaca. —●— Curva ascendente
 —○— Curva descendente (0% proteína); —■— Curva ascendente —□— Curva descendente (2%
 proteína) —▲— Curva ascendente —△— Curva descendente (4% proteína); —◆— Curva ascendente
 —◇— Curva descendente (6% proteína).

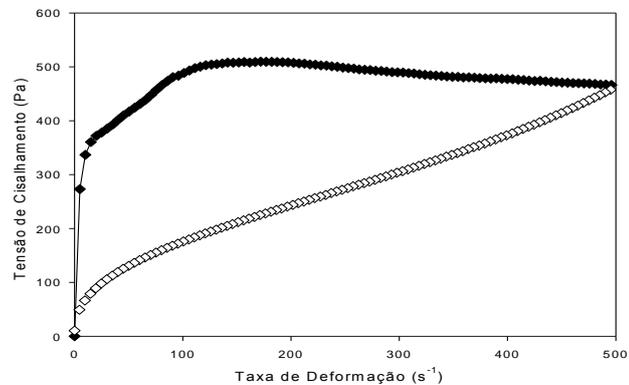
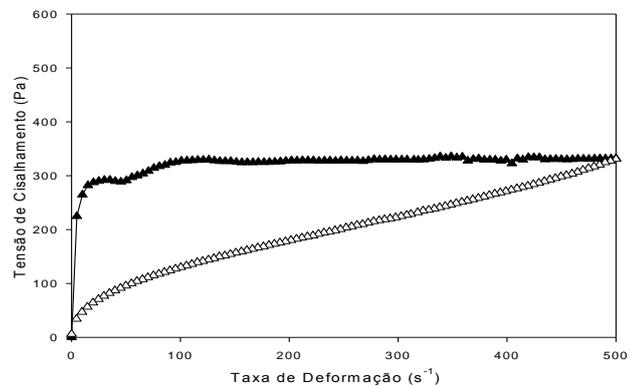
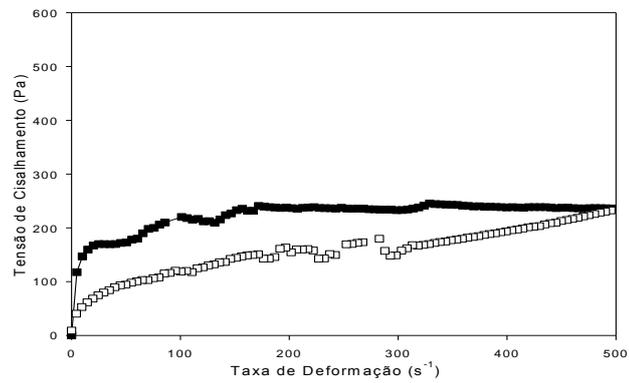


Figura 15 - Curvas de escoamento dos géis com 9% de amido da semente de jaca. —●— Curva ascendente
 —○— Curva descendente (0% proteína); —■— Curva ascendente —□— Curva descendente (2% proteína);
 —▲— Curva ascendente —△— Curva descendente (4% proteína); —◆— Curva ascendente —◇— Curva descendente (6% proteína).

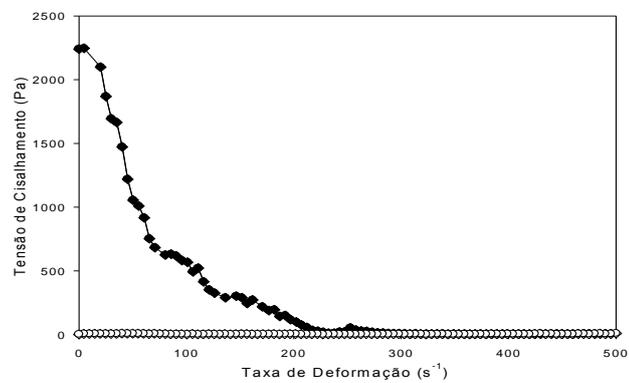
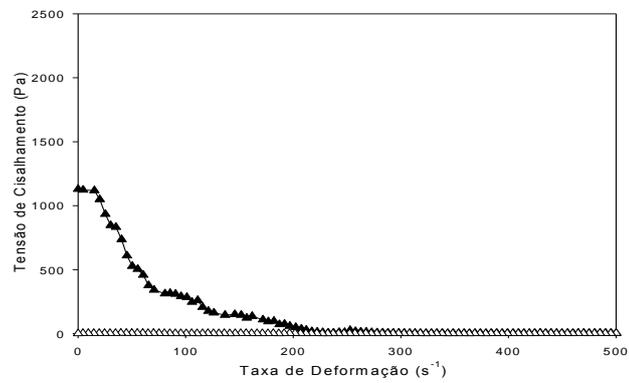
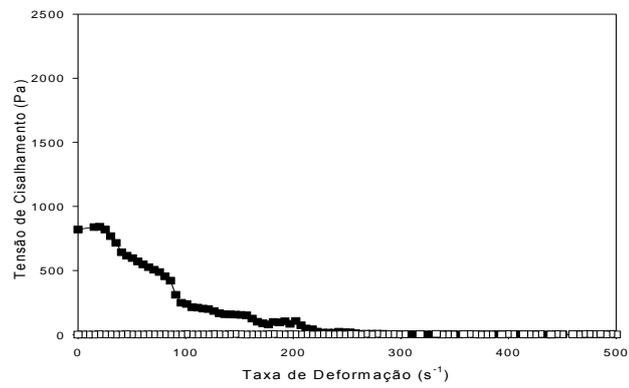
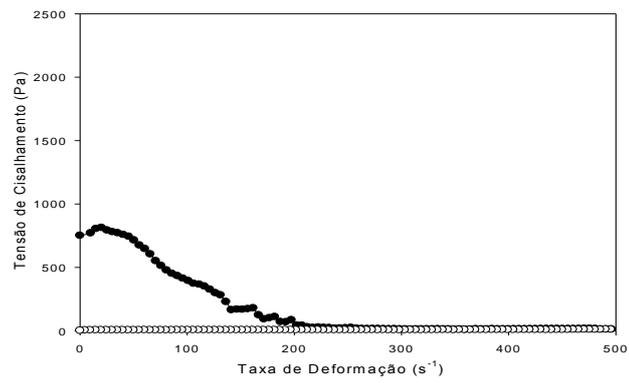


Figura 16 - Curvas de escoamento dos géis com 12% de amido da semente de jaca. —●— Curva ascendente
 —○— Curva descendente (0% proteína); —■— Curva ascendente —□— Curva descendente (2% proteína);
 —▲— Curva ascendente —△— Curva descendente (4% proteína); —◆— Curva ascendente —◇— Curva descendente (6% proteína).

Nos tratamentos com 3, 6 e 9 % de amido, houve uma diferença entre as curvas ascendentes (taxa de deformação de $0 - 500 \text{ s}^{-1}$) e descendente (taxa de deformação $500 - 0 \text{ s}^{-1}$), caracterizada pela presença de histerese, o que indica a dependência com o tempo. O comportamento observado é característico de materiais tixotrópicos (THOMAS, 2001). Para os géis com mesmo teor de amido observa-se que a histerese torna-se mais acentuada com o aumento da concentração de proteína, ou seja, a uma menor resistência ao escoamento, necessitando de uma maior energia para romper as ligações internas do material (MA; BARBOSA-CÁNOVAS, 1995).

Os géis obtidos com 12 % de amido não apresentaram um comportamento típico de um fluido. Ocorre um rompimento da estrutura no início do escoamento (taxa de deformação baixa) com uma diminuição da tensão até não mais haver deformação, comportamento similar a um sólido “quebradiço”. Essa análise não é aplicável para essa concentração, onde o comportamento dos géis é determinado em ensaios oscilatórios. De acordo com Rosalina e Bhattacharya (2001), géis fortes (verdadeiros) em condições de deformação baixa, apresentam um comportamento típico de sólidos viscoelásticos, em um valor de deformação crítica ocorre a ruptura das redes, comportando-se como um material “quebradiço”.

De forma geral, pode-se observar que com o aumento do teor de proteína é necessário aplicar uma tensão inicial maior para o gel se deformar, ou seja, os géis são mais estruturados.

A maior parte das suspensões concentradas só escoam, quando a sua estrutura, formada por uma rede que previne o escoamento, tiver sido degradada por uma tensão elevada o suficiente – a tensão residual (ZHU et. al., 2001). De acordo com Bonnecaze e Brady (1992), em uma curva de tensão *versus* taxa de deformação de um material que apresenta tensão residual, a tensão inicialmente é alta, e a curva apresenta uma inclinação decrescente observando um comportamento plástico até atingir um máximo de deformação. No presente trabalho a tensão começa a cair progressivamente até zero, onde taxa de deformação é máxima.

5.5.2 Ensaio Oscilatório

Os resultados dos ensaios oscilatórios de varredura de tensão a frequência fixa de 1 Hz, para a obtenção da região viscoelástica de cada gel, levaram a definição, exceto para os tratamentos com 3% de amido 2 % proteína, da região que abrange a tensão de 1 Pa, pois já no início da região de 10 Pa os módulos elásticos e viscoso começaram a apresentar dependência com a tensão. No sistema com 3 % amido e 2 % proteína a região linear escolhida foi a que abrange a tensão de 0,1 Pa.

Nas Figuras 17 a 20 são apresentados os gráficos da variação de G' e G'' em função da frequência (espectros mecânicos) na temperatura 30 °C e na região de viscoelasticidade linear de cada tratamento.

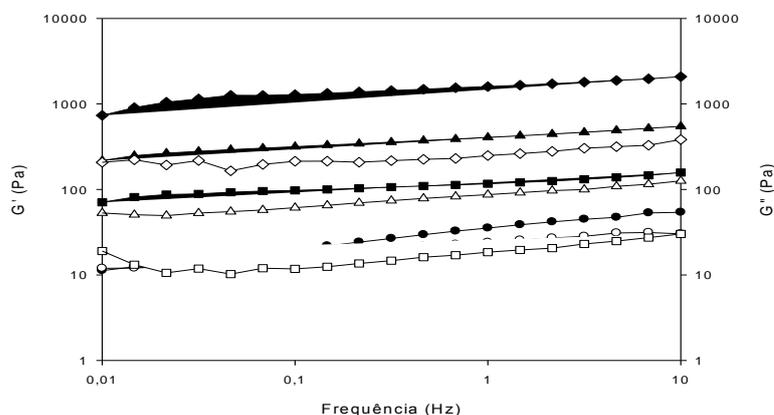


Figura 17 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 3% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).

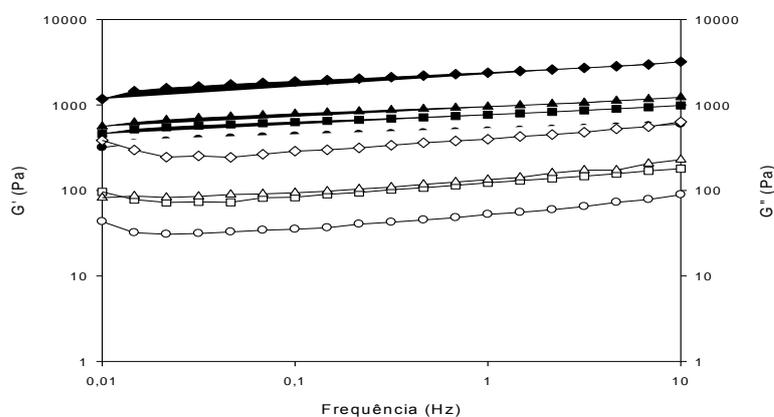


Figura 18 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 6% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).

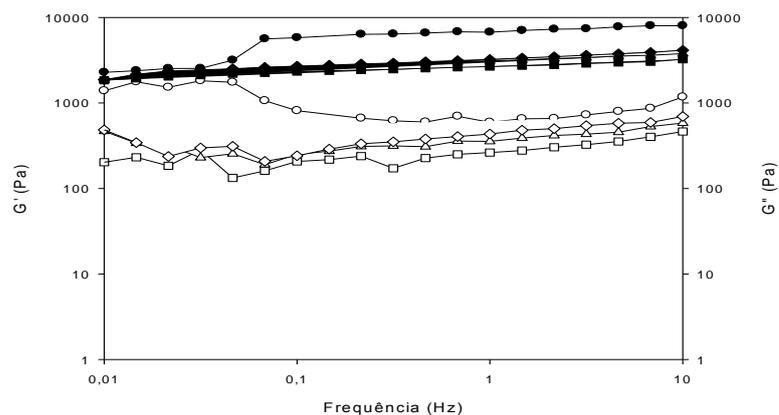


Figura 19 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 9% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).

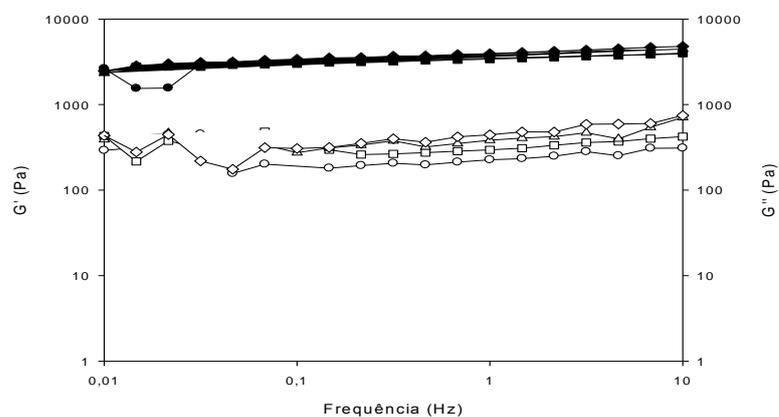


Figura 20 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 12% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).

Pode-se observar que para todos os sistemas estudados a curva de G' (módulo de armazenamento) foi maior que a curva de G'' (módulo de dissipação) em toda faixa de frequência. Desta forma, é possível afirmar que os sistemas analisados possuem um comportamento viscoelástico, com perfil característico de gel, onde a resposta elástica predomina sobre a viscosa. Podendo observar ainda que para o tratamento com menor concentração de amido (3% de amido e 0% proteína), em frequência menores que 0,1 Hz ocorreu o “fenômeno de crossover”, ou seja a interseção entre os dois módulos (G' e G''). Este fenômeno ocorre quando $G' = G''$ e é chamando de “ponto de gel”.

Nos tratamentos com 3 % e 6 % de amido pode-se observar que o componente elástico (G') e o componente viscoso (G'') apresentaram uma leve dependência com a frequência, comportamento característico de um gel fraco, nota-

se ainda um aumento de G' e G'' com a adição de proteína ao sistema, formando géis mais estruturados, como observado nos testes estáticos.

Nos tratamentos com 9 % e 12 %, o componente elástico (G') e o componente viscoso (G'') apresentaram uma relação de independência na frequência acima 0,1Hz, caracterizando o gel como forte, ou seja, a rede de gel mais estruturada.

Neste trabalho, os gráficos de $\tan(\delta)$ x frequência (Figuras 21 a 24) foram utilizados para analisar mais claramente a relação G''/G' dos géis, ou seja, a contribuição das características viscosas e elásticas no comportamento global do sistema, os valores de tangente foram considerados inversamente proporcionais a força dos géis (GRAESSLEY, 1984).

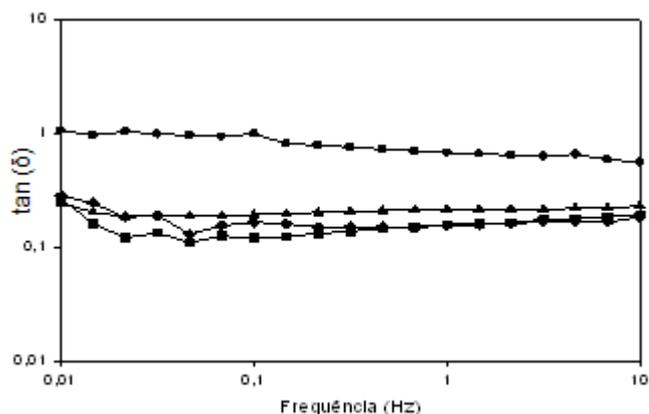


Figura 21 - Curvas de $\tan(\delta)$ em função da frequência, com 3% de amido da semente de jaca. —●— (0% proteína); —■— (2% proteína); —▲— (4% proteína) e —◆— (6% proteína).

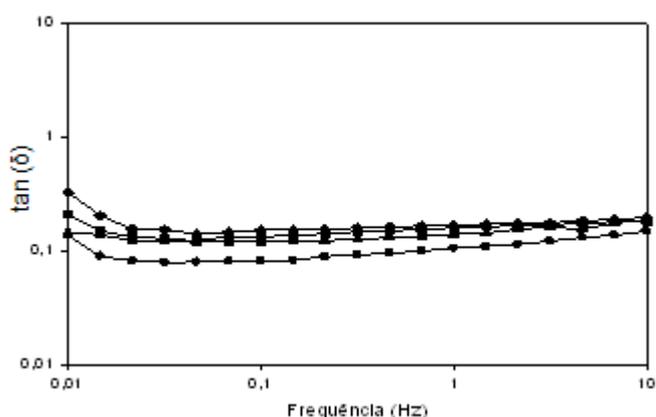


Figura 22 - Curvas de $\tan(\delta)$ em função da frequência, com 6% de amido da semente de jaca. —●— (0% proteína); —■— (2% proteína); —▲— (4% proteína) e —◆— (6% proteína).

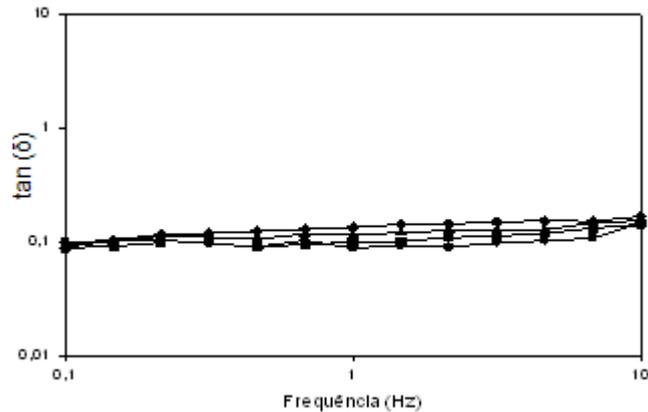


Figura 23 - Curvas de $\tan(\delta)$ em função da frequência, com 9% de amido da semente de jaca. —●— (0% proteína); —■— (2% proteína); —▲— (4% proteína) e —◆— (6% proteína).

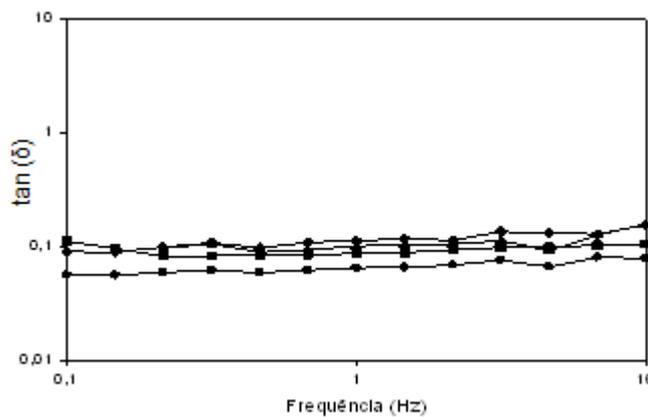


Figura 24 - Curvas de $\tan(\delta)$ em função da frequência, com 12% de amido da semente de jaca. —●— (0% proteína); —■— (2% proteína); —▲— (4% proteína) e —◆— (6% proteína).

Pode-se observar na Figura 21, que a adição de proteína provocou uma diminuição dos valores de $\tan(\delta)$, aumentando a força do gel. Comportamento contrário ao observado no tratamento com 6% de amido, onde a adição de proteína provocou um aumento dos valores de $\tan(\delta)$, ou seja, uma diminuição na força do gel. Tal fato pode ser atribuído à maior concentração de amido presente no sistema (maior teor de amilose), resultando assim em uma menor proporção de água presente na suspensão, onde pode ocorrer a competitividade do amido e proteína pela água disponível, dificultando o processo de acomodação estrutural (GOZZO et al., 2009).

As Figuras 23 e 24 foram construídos a partir da frequência, onde G' e G'' tornam-se independentes, podendo observar que a adição de proteína não provocou aumento considerável dos valores de $\tan(\delta)$, indicando que em altas concentrações de amido, no sistema ternários (amido-proteína-água) ocorre um intercâmbio dinâmico entre as moléculas de água e os biopolímeros, ou seja, a proteína limita a

hidratação do amido e como a água tem um efeito plasticizante nas regiões amorfas do polissacarídeo a mobilidade molecular fica restringida, assim, a proteína pode ter um efeito anti-plasticizante (GOZZO *et al.*, 2009).

Para melhor caracterizar as propriedades reológicas dos géis de amido da semente de jaca, proteína e sal, utilizou-se a regra de Cox-Merz. Esta regra estabelece uma correlação entre a viscosidade dinâmica e a viscosidade aparente (Equação 18).

$$\eta^*(\omega) = \eta_{ap}(\gamma) \quad \omega = \gamma \quad (18)$$

Onde, η^* é a viscosidade dinâmica complexa (Pa.s), η_{ap} é a viscosidade aparente de cisalhamento (Pa.s), ω é a frequência de oscilação (rad/s) e γ é a taxa de cisalhamento (s^{-1}).

Os resultados obtidos através da regra de Cox-Merz podem ser visualizados nas Figuras 25 a 28:

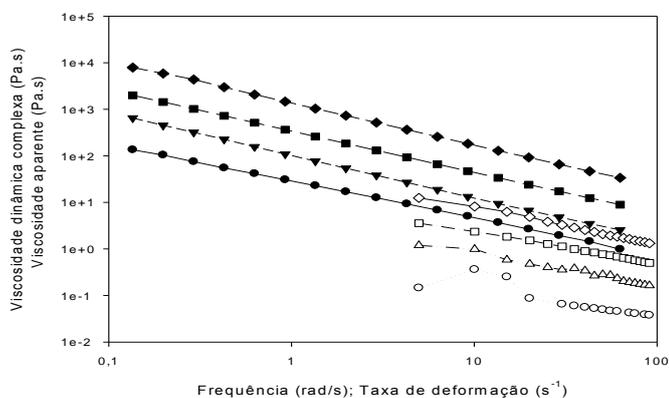


Figura 25 - Viscosidade dinâmica (η^*) e viscosidade aparente (η_{ap}) em função da frequência e taxa de deformação, com 3% de amido da semente de jaca. —●— η^* (0% proteína); —○— η_{ap} (0% proteína); —■— η^* (2% proteína); —□— η_{ap} (2% proteína); —▲— η^* (4% proteína); —△— η_{ap} (4% proteína); —◆— η^* (6% proteína) e —◇— η_{ap} (6% proteína).

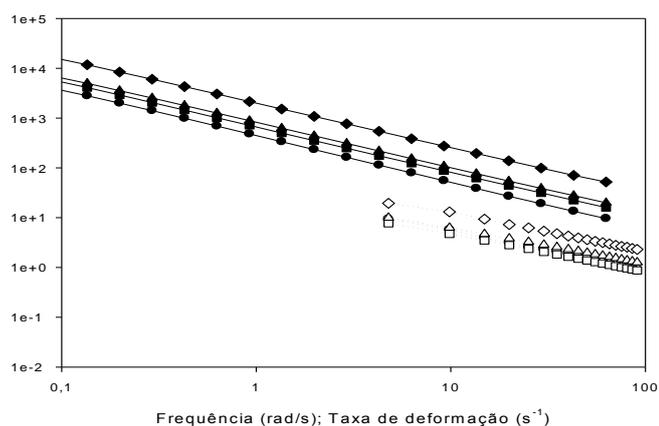


Figura 26 - Viscosidade dinâmica (η^*) e viscosidade aparente (η_{ap}) em função da frequência e taxa de deformação, com 6 % de amido da semente de jaca. —●— η^* (0% proteína); —○— η_{ap} (0% proteína); —■— η^* (2% proteína); —□— η_{ap} (2% proteína); —▲— η^* (4% proteína); —△— η_{ap} (4% proteína); —◆— η^* (6% proteína) e —◇— η_{ap} (6% proteína).

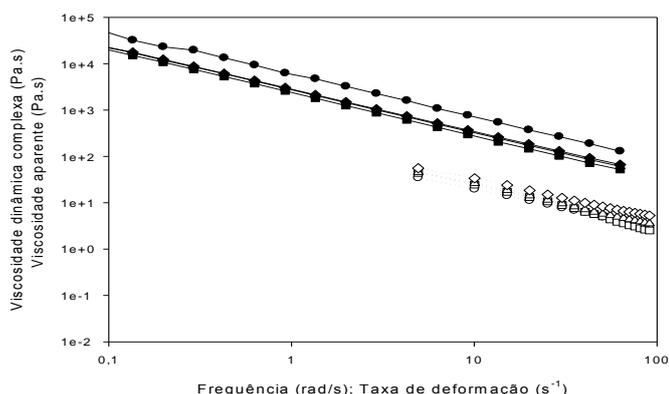


Figura 27 - Viscosidade dinâmica (η^*) e viscosidade aparente (η_{ap}) em função da frequência e taxa de deformação, com 9 % de amido da semente de jaca. —●— η^* (0% proteína); —○— η_{ap} (0% proteína); —■— η^* (2% proteína); —□— η_{ap} (2% proteína); —▲— η^* (4% proteína); —△— η_{ap} (4% proteína); —◆— η^* (6% proteína) e —◇— η_{ap} (6% proteína).

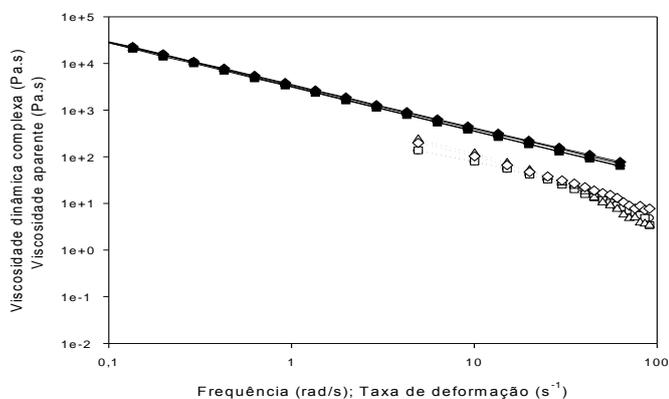


Figura 28 - Viscosidade dinâmica (η^*) e viscosidade aparente (η_{ap}) em função da frequência e taxa de deformação, com 12 % de amido da semente de jaca. —●— η^* (0% proteína); —○— η_{ap} (0% proteína); —■— η^* (2% proteína); —□— η_{ap} (2% proteína); —▲— η^* (4% proteína); —△— η_{ap} (4% proteína); —◆— η^* (6% proteína) e —◇— η_{ap} (6% proteína).

Analisando os resultados obtidos pode-se observar que para todos os tratamentos, a viscosidade dinâmica complexa em função da frequência foi consideravelmente maior que a viscosidade aparente em relação à taxa de deformação, podendo afirmar que existe uma estrutura de gel (HAN et al. 2002; ROBERTS; CAMERON, 2002), confirmando os resultados apresentado nos espectros mecânicos dos géis. A adição de proteína aos géis com 9 % e 12 % de amido (Figuras 27 e 28) não afetou de maneira significativa a viscosidade (dinâmica e aparente), o que pode ser atribuído a proporção de água: amido: proteína do sistema, a qual proporcionou a formação de estruturas estáveis, ou seja, os géis atingiram uma viscosidade máxima que não foi alterada com adição de soluto (PEREIRA, 2004).

O efeito do tempo de cisalhamento em regime oscilatório em todos os tratamentos estudados está apresentado nas Figuras 29 a 32.

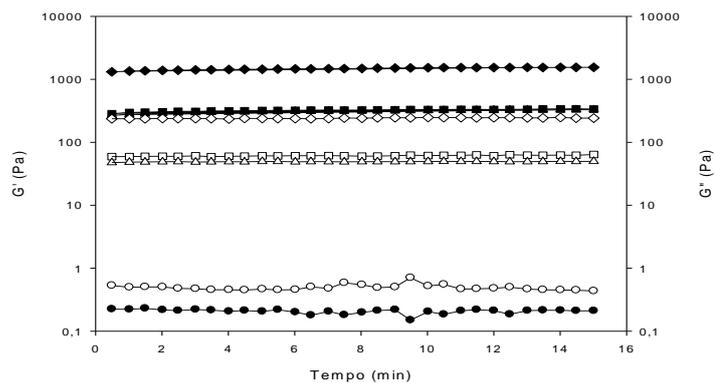


Figura 29 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função do tempo de cisalhamento, com 3% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).

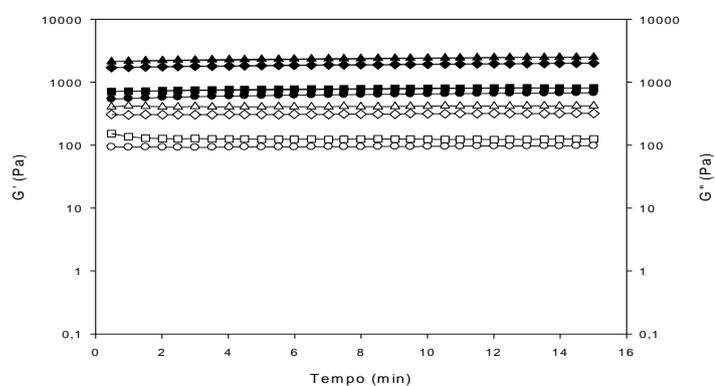


Figura 30 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 6% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).

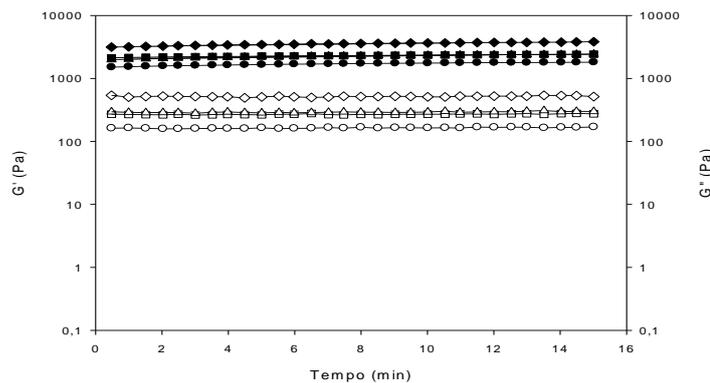


Figura 31 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 9% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).

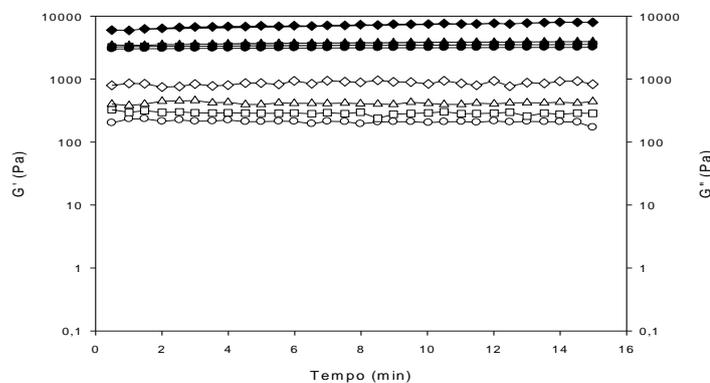


Figura 32 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da frequência, com 12% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).

De forma geral, o tempo teve pouca influência no comportamento reológico dos géis. Pela análise dos módulos de armazenamento e de dissipação verifica-se que durante os 15 minutos, G' apresentou um distanciamento constante de G'' . Esta análise confirma os resultados obtidos pela análise dos módulos em função da frequência e pelo experimento de Cox-Merz, nos quais os géis apresentaram a capacidade de formar estrutura de gel, não rompendo sua estrutura quando submetidos a uma tensão em um intervalo de tempo.

Nas Figuras 33 e 36 são apresentados os resultados da variação de G' e G'' com função da temperatura, ou seja, o efeito da adição de proteína na gelatinização do amido.

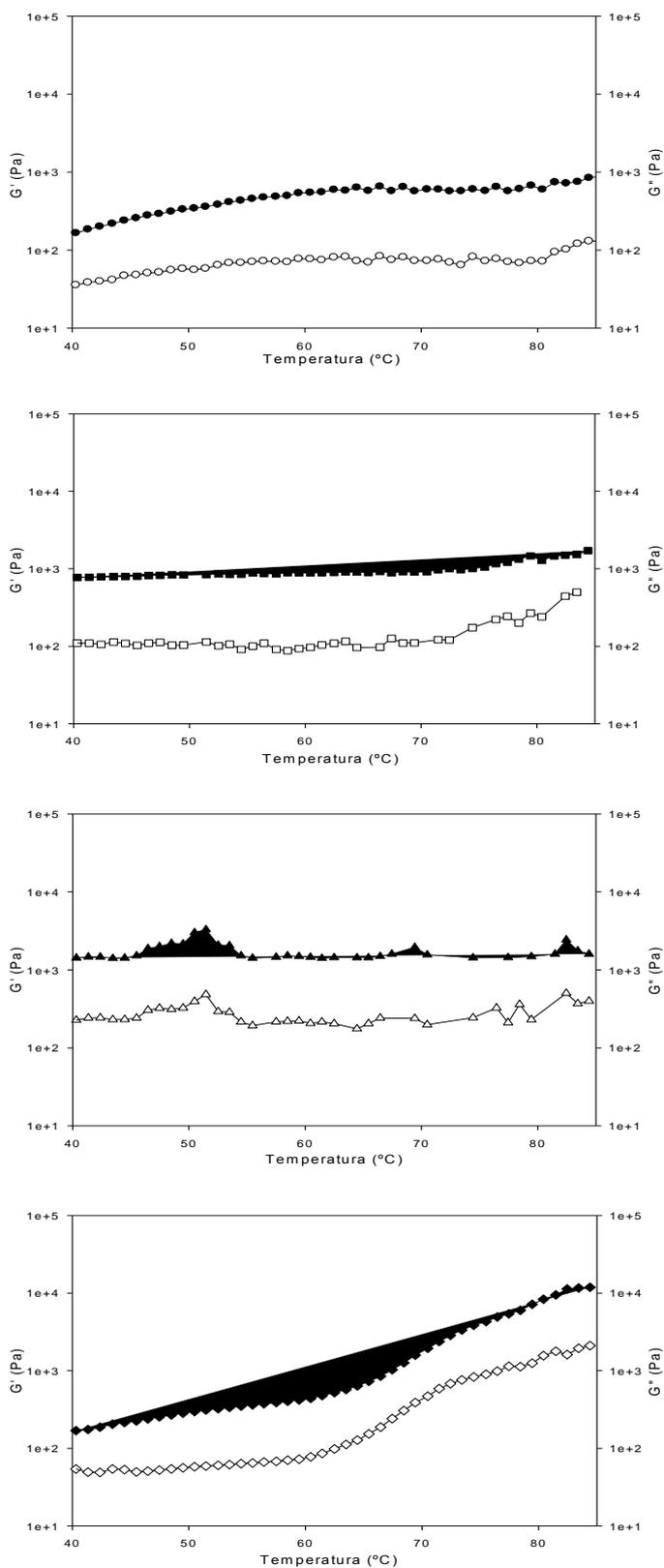


Figura 33 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da temperatura, com 3% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína) e —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).

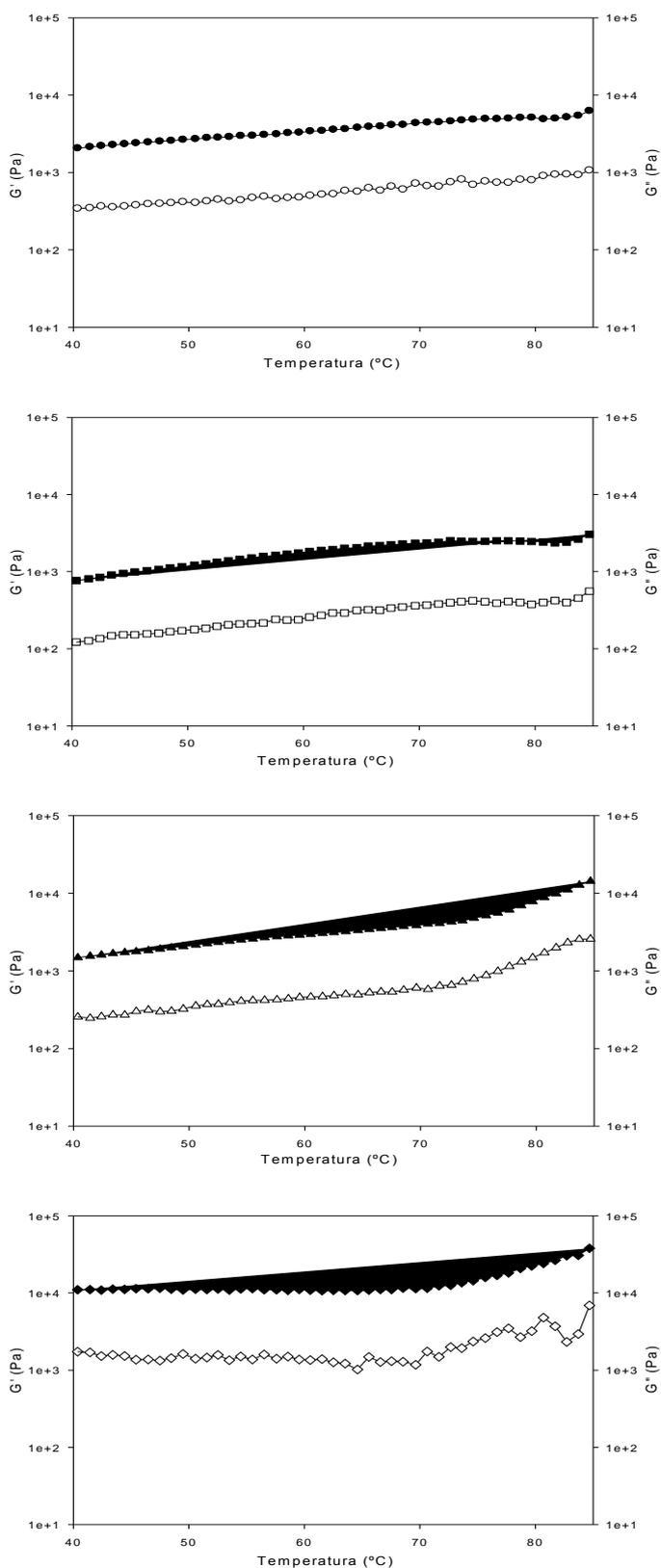


Figura 34 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da temperatura, com 6% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).

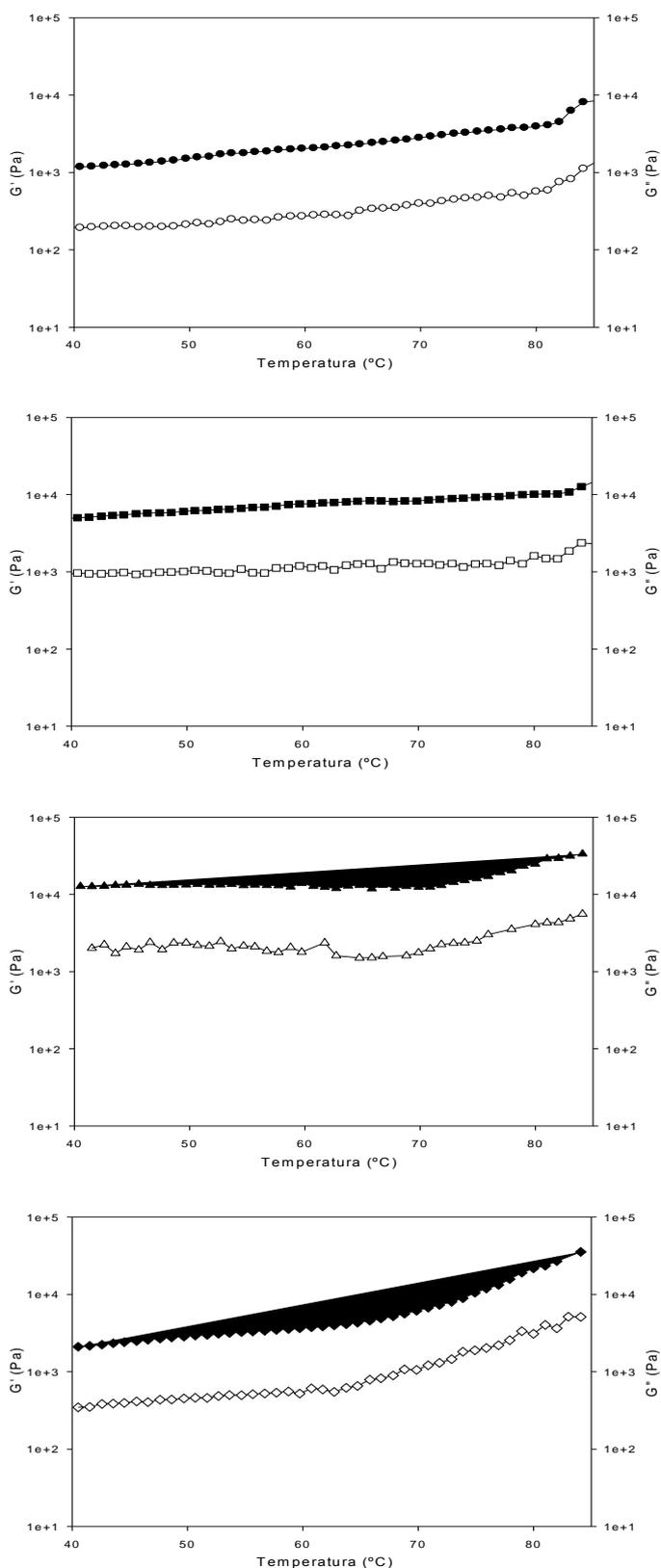


Figura 35 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da temperatura, com 9% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).

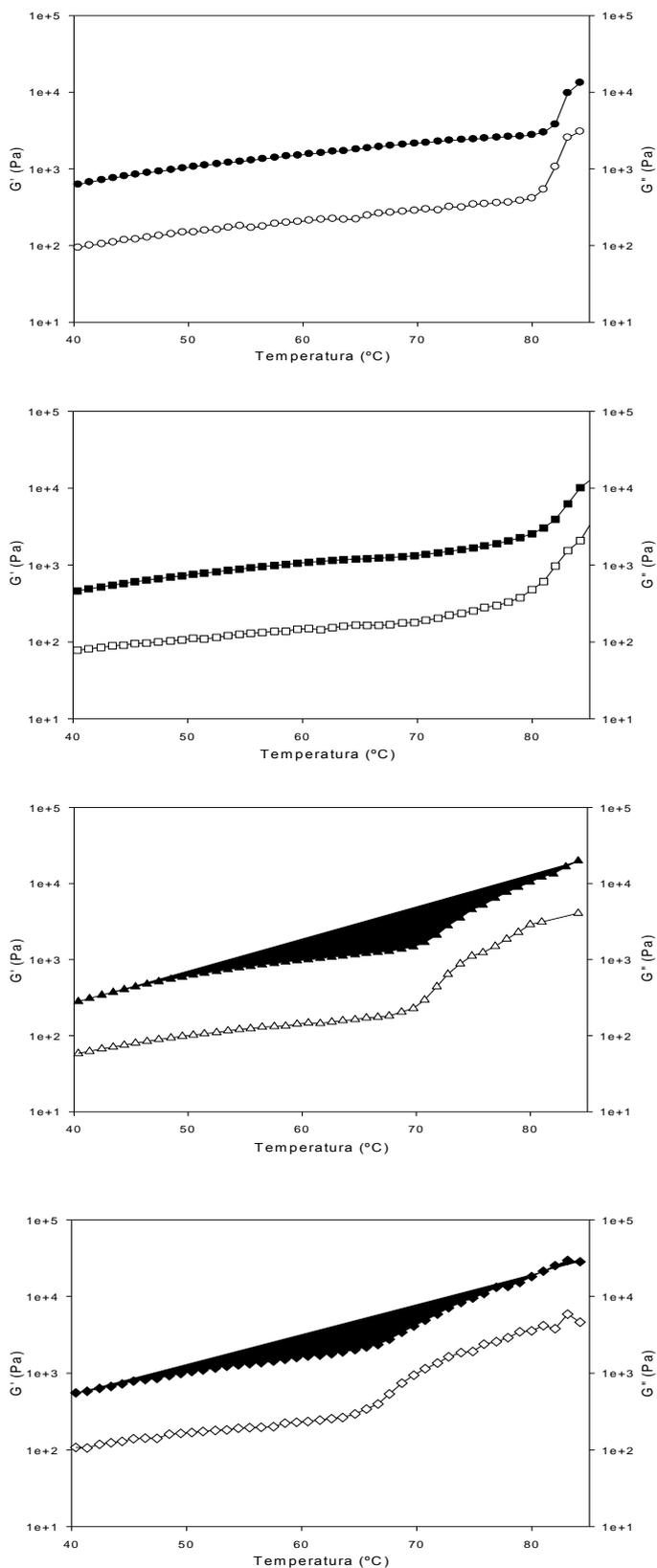


Figura 36 - Curvas de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de dissipação) em função da temperatura, com 12% de amido da semente de jaca. —●— G' (0% proteína); —○— G'' (0% proteína); —■— G' (2% proteína); —□— G'' (2% proteína); —▲— G' (4% proteína); —△— G'' (4% proteína); —◆— G' (6% proteína) e —◇— G'' (6% proteína).

Pode-se observar que para baixas concentrações de amido o aquecimento da suspensão de 40 °C a 85 °C não foi suficiente para completar a formação de gel, pois G' e G'' continuaram constante durante todo o aquecimento, sem a presença de uma curva típica de gelatinização. O gel obtido na concentração de 3% de amido e 6% proteína, foi uma exceção, pois apresentou uma curva típica de gelatinização (temperatura inicial próximo a 70 °C), ou seja, provavelmente ocorreu uma formação de gel com a matriz de proteína e não de amido.

Para géis com concentrações altas de amido (9 % e 12 %) observou-se que a adição de proteína retardou o início da gelatinização, esse comportamento pode ser atribuído à hidratação das moléculas de proteína, o que diminui a água livre do sistema, ou ainda à interação das moléculas de proteína com as cadeias da molécula de amido, estabilizando as regiões cristalinas do grânulo (ORTEGA-OJEDA; ANN-CHARLOTTE, 2001).

5.6 Análise do Perfil de Textura (TPA)

Em testes preliminares, os géis com 3 % e 6 % de amido da semente de jaca e as respectivas porcentagem de proteína (0, 2, 4 e 6) (%) não apresentaram os parâmetros na análise do perfil de textura, ou seja, para realizar o teste de dupla compressão é necessário que a amostra apresente uma resistência mínima para iniciar o teste, os géis citados não apresentaram essa resistência mínima, isso se deve principalmente a baixa porcentagem de amido, o que leva a formação de um gel “fraco”, fenômeno comprovado nos testes reológicos oscilatórios.

Os resultados obtidos para os géis com concentração de 9 % e 12 % de amido foram submetidos a análise de variância e as médias dos dados qualitativos (efeito da % amido) comparadas pelo teste F e os quantitativos (efeito da % proteína) com emprego de análise de regressão, a 5% de probabilidade. Pelo teste F ($p < 0,05$) constatou-se interação significativa entre as diferentes porcentagens de amido e proteína para as variáveis em estudo (dureza e coesividade).

O gel com 12% de amido de semente de jaca apresentou uma maior dureza em relação ao com 9 % de amido, para todos os níveis de proteína. A firmeza do gel depende de fatores como o volume e deformação dos grânulos, a retrogradação do gel em associação com a sinérese e a cristalização da amilopectina, estes fatores por sua vez dependem do conteúdo de amilose e a estrutura da amilopectina. Assim, amidos que formam géis mais duros tendem a ter maior teor de amilose e

cadeias maiores de amilopectina (SANDHU; SINGH, 2007), a dureza dos géis de amido pode ser desejável em determinados tipos de alimentos. Géis de amidos com menor dureza podem ser empregados na elaboração de sopas prontas, por exemplo, e amidos com maior dureza podem ser úteis na elaboração de recheios de tortas (PERONI, 2003).

O gel com 9% de amido de semente de jaca apresentou maior coesividade em relação ao com 12% de amido, para todos os níveis de proteína. Ou seja, a porcentagem de amido facilitou a quebra da estrutura interna do gel (FOO *et al.*, 2011), tornando-se um gel mais “quebradiço”. Resultado de acordo com o encontrado nos ensaios reológicos estacionários, na concentração de 12 % de amido os géis apresentaram um comportamento de sólido quebradiço.

O gráfico que estabelece a variação da força e da coesividade do gel em função da concentração de proteína é apresentado na Figuras 37 e 38, respectivamente, juntamente com as respectivas equações de regressão e coeficiente de determinação (R^2). O valor do R^2 aproxima da unidade e, portanto, indica um bom ajuste do modelo estabelecido aos dos dados experimentais, em todos os casos apresentados.

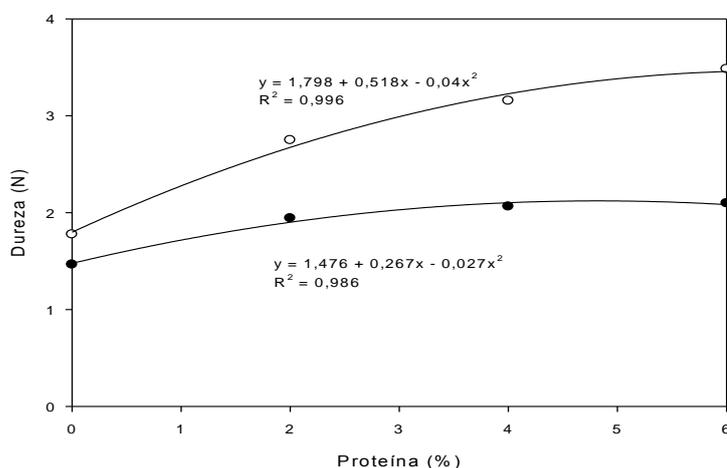


Figura 37 - Efeito da concentração de proteína na força (N) do gel, nos níveis de amido da semente de jaca estudado, respectivamente. • (9% amido) e o (12% amido).

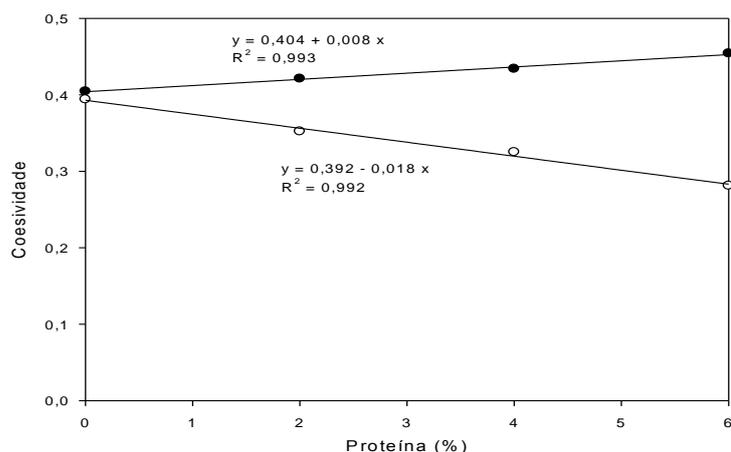


Figura 38 - Efeito da concentração de proteína na coesividade do gel, nos níveis de amido da semente de jaca estudado, respectivamente. • (9% amido) e o (12% amido).

De acordo com os resultados obtidos (Figuras 37 e 38) para concentração de 9% de amido com o aumento na concentração de proteína ocorre um ligeiro aumento na dureza e coesividade dos géis, ou seja, característica de um gel mais rígido e mais coeso, tendo um aumento proporcional nos dois parâmetros. Na concentração 12% de amido, a adição de proteína proporcionou um aumento na dureza e uma diminuição na coesividade dos géis, ou seja, um gel mais duro e quebradiço. Esse comportamento pode ser atribuído a interação entre amido e proteína, sendo polímeros diferentes termodinamicamente, podem levar à separação de fases com conseqüências significativas na textura (MORRIS, 1990). Nesse caso, a separação de fase pode ser do tipo segregativa, ou seja, onde cada fase formada é mais concentrada num dado polímero, apresentando uma repulsão entre eles (incompatibilidade termodinâmica). Para melhor avaliar o fenômeno de separação de fases é recomendado o estudo microscópico dos géis.

6. CONCLUSÕES

- A semente de jaca (*Artocarpus heterophyllus*) apresenta grande potencial para uso como fonte de carboidratos, tendo em vista ao alto teor de amido presente e um teor de amilose similar comparado com outras sementes amiláceas (milho, mandioca e arroz).
- O amido da semente de jaca mostrou variação no poder de inchamento e solubilidade na temperatura acima de 70 °C, indicando ruptura das ligações internas do grânulo;
- Os grânulos de amido puro morfologicamente apresentaram formas geométricas predominantes como elipsóides, trigonal e tetragonal e o tamanho se encontra na faixa de 6 µm a 12 µm. Podendo ser aplicados como substitutos de gordura e em produtos comestíveis como molhos e sobremesas lácteas.
- Nos ensaios reológicos estacionários, os géis apresentaram comportamento de fluido tixotrópicos. Os géis na concentração de 12 % de amido e as respectivas porcentagens de proteína apresentaram característica de um sólido “quebradiço”.
- Nos ensaios reológicos oscilatórios, todos os sistemas analisados possuem um comportamento viscoelástico, com perfil característico de gel. Nas concentrações 3 % e 6 % de amido, e a respectiva concentração de proteína, observou-se um comportamento característico de um gel fraco e nas concentrações de 9 % e 12 % de amido comportamento de um gel forte;
- Na análise do Perfil de Textura (TPA), com adição de proteína os géis na concentração de 9% de amido, apresentaram característica de um gel mais rígido e mais coeso e na concentração 12% de amido, apresentou um gel mais duro e quebradiço.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

A.O.A.C. **Official methods of analysis**. 15 ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, p. 1117, 1990.

ACQUARONE, V.M.; RAO, M.A. Influence of sucrose on the rheology and granular size of maize dispersion heated to two temperatures. **Carbohydrate Polymers**, v. 51, p. 451-458, 2003.

AGUNBIADE, S.O.; LONG, O.G. The physico-functional characteristics of starches from cowpea (*Vigna unguiculata*), pigeon pea (*Cajanus cajan*) and yambean (*Sphenostylis stenocarpa*). **Food Chemistry**, v.65, n. 4, p. 469-474, 1999.

ALVES, R.M.L.; GROSSMANN, M.V.E.; SILVA, R.S.S.F. Gelling properties of extruded yam (*Dioscorea alata*) starch. **Food Chemistry**, v.67, p.123-127, 1999.

AMANTE, E. R. **Caracterização de Amidos de Variedades de Mandioca (*Manihot esculenta*, CRANTZ) e de Batata-Doce (*Ipomoea batatas*)**. Viçosa, 1986. 109p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved Methods. AACC: Minnessotta, 1975.

ANZALDÚA-MORALES, A. **La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica**. Acribia, 1994.

ARAÚJO FARRO, P.C. **Biodegradáveis a partir de derivados do grão de quinoa (*Chenopodium quinoa Willdenow*) da variedade “Real”**. Campinas, 2008. 320p. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas.

BHATTACHARYA, S.N. Rheology: fundamentals and measurements. Australia: **Royal Melbourne Institute of Technology**. 1997.

BILIADERIS, C.G. The Structure and Interactions of Starch with Food. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, v 69, p. 60 – 78, 1991.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can. J. Physiol.**, v. 37, p. 911-917, 1959.

BOBBIO, F. O.; EL-DASH, A. A.; BOBBIO, P. A.; RODRIGUES, L. R. Isolation and characterization of the physiochemical properties of the starch of jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus*). **Cereal Chemistry**, v.55, p. 505-511, 1978.

BOBBIO, P. A., BOBBIO F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3ed. São Paulo: Varela, 143 p., 2001.

BONNECAZE, R. T.; BRADY, J. F. Yield stresses in electrorheological fluids. **Journal of Rheology**. v. 36, n.1, p. 73-115, 1992.

BOURNE, M. C., **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press, p.325, 1982.

BOURNE, M. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press, 2002.

BRASIL. Resolução 12/78 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Aprova as NORMAS TÉCNICAS ESPECIAIS, do Estado de São Paulo, revistas pela CNNPA, relativas a alimentos (e bebidas), para todo território brasileiro. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1978.

BRENNAN, J. G. Texture perception and measurement. In: PIGGOTT, J. R. (Ed) Sensory applied. **Science Publ.**, p. 59-91, 1984.

BULEON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.23, p.85-112, 1998.

CASTRO, I.; TEIXEIRA, J.A.; SALENGRE, S.; SASTRY, S.K. VICENTE, A. A. The Influence of Field strength, sugar and solid content on electrical conductivity of strawberry products. **Journal of Food Process Engineering**, v.26, p. 17-29, 2003.

CEREDA, M. P.; DAIUTO, E. R.; VILPOUX, O. Metodologia de Determinação de Amido por Digestão Ácida em Microondas. **Revista ABAM**, p. 29, 2004.

CEREDA, M. P.; FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, É. R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S. B. S. Propriedades gerais do amido. **Série Culturas de Tubérculos Amiláceas Latino Americanas**, v.1. São Paulo: Fundação Cargill, 204p, 2002.

CEREDA, M., VILPOUX, O. F. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas. **Fundação Cargill**, São Paulo, v.3, 711p. 2003.

CÈSARO, A.; CUPPO, F.; FABRI, D.; SUSSICH, F. Thermodynamic Behavior of mixed biopolymers in solution and in gel phase. **Thermochimica Acta**, v. 388, p. 143-153, 1999.

CHAROENREIN, S.; TATIRAT, O.; RENGSUTTHI, K.; THONGNGAM, M. Effect of konjac glucomannan on syneresis, textural properties and the microstructure of frozen rice starch gels. **Carbohydrate Polymers**, v.83, n.1, p. 291-296, 2011.

CHOI, S. G.; KERR, W. L. Water mobility and textural properties of native and hydroxypropylated wheat starch gels. **Carbohydrate Polymers**, v. 51, n. 1, p. 1-8, 2003.

CIACCO, C. F.; CRUZ, R. Fabricação do amido e sua utilização. São Paulo: Secretaria de Indústria e Comércio. **Ciência e Tecnologia**, p.152, 1982.

CLARK, A.; ROSS-MURPHY, S. Structural and mechanical properties of biopolymer gels. **Biopolymers**, p. 57-192, 1987.

CONSIDINE, T.; NOISUWAN, A.; HEMAR, Y.; WILKINSON, B.; BRONLUND, J.; KASAPIS, S. Rheological investigations of the interactions between starch and milk proteins in model dairy systems: A review. *Food Hydrocolloids*, v. 25, n. 8, p. 2008-2017, 2011.

CORDENUNSI, B. R.; LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. Utilização de novas técnicas de microscopia na caracterização do amido. **Carboidratos em Alimentos Regionales Iberoamericanos**. Editora da USP, São Paulo, p.646, 2006.

CORRADINI, E.; LOTTI, C.; MEDEIROS, E.S.; CARVALHO, A.J.F.; CURVELO, A.A.S.; MATTOSO, L.H.C. Estudo comparative de amido termoplástico derivados do milho com diferentes teores de amilose. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.15, n.4, p.268-273, 2005.

COSTA, L.T. **Características físicas e físico-químicas do óleo de duas cultivares de mamona**. 2006. 112p. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

COULTATE, T. P. Alimentos: a química e seus componentes./ Trad. Jeverson Frazzon. 3 ed. Porto Alegre: **Artmed**, p. 368, 2004.

DAIUTO, É R. **Características de féculas de tuberosas e suas relações com resistência dos géis sob condições de estresse aplicada na industrialização de alimentos**. 2005. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA.

DELBEN, F.; STEFANCICH, S. Interaction of Food Proteins with Polysaccharides I: properties upon Mixing. **Journal of Food Engineering**, v. 31, p. 325-346, 1997.

DIAS, N. G. **Estudo do perfil de textura instrumental e sensorial em géis de pectina de baixo teor de esterificação, alginato e gelatina**. Campinas, 1999, 165 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

DOUBLIER, J.L.; GARNIER, C; RENARD, D; SANCHEZ, C. Protein-polysaccharide interactions. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 5, p.202-214, 2000.

DUTTA, H.; PAUL, S. K., KALITA, D.; MAHANTA, C. L. Effect of acid concentration and treatment time on acid-alcohol modified jackfruit seed starch properties. **Food Chemistry**, v.128, p. 284-291, 2011.

FARIA, J.T. **Caracterização reológica e estrutural de géis ácidos das proteínas α -lactalbumina, β -lactoglobulina e glicomacropéptido**. Viçosa. 2011, p.154. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa (UFV).

FENNEMA, O.R. **Química de los alimentos**. 2.ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 1258p.

FERRY, J. D., 1980, "Viscoelastic Properties of Polymers". John Wiley & Sons, New York.

FOO, W.T.; LIONG, M.T.; EASA, A.M. Textural and structural breakdown properties of selected hydrocolloid gels. **Food Research International**, 2011.

FRANCO, C. M. L. et al. Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas: Propriedades Gerais do Amido. Campinas, Fundação Cargill, v.1, 224p, 2001.

GALLANT, D. J.; BEWA, H.; BUY, Q.H.; BOUCHET, B.; SZYLIT, O.; SEALY, L. On ultrastructural and nutritional aspects of some tropical tuber starches. **Starch/Starke**. v.34, p. 255-262, 1997.

GANDUR, M. C. **Comportamento Dinâmico Complexo em Despelamento de Fitas Adesivas**. 2001. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, Unicamp.

GERÁRD, C.; BARRON, C.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V. Amylose determination in genetically modified starches. **Carbohydrate polymers**, v.44, n.1, p.19-27, 2001.

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

GOZZO, A. M.; CUNHA, R. L.; MENEGALLI, F. C. Extensional and shear viscosity of acidified amaranth starch-sodium caseinate suspensions. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 587-596, 2009.

GRAESSLEY, W. W. Viscoelasticity and flow in polymer melt and concentrated solutions. In: MARK, J.E., ed.; EISENBERG,; GRAESSLEY, W.W.; MADELKERN, L. KOENIG, J.L. Physical properties of polymers. Washington, D.C.: **American Chemical Society**, p.97- 153, 1984.

GRINBERG, V.Y; TOLSTOGUZOV, V. Thermodynamic incompatibility of proteins and polysaccharides in solutions. **Food Hydrocolloids**, v.11, p.145-158, 1997.

GUNASEKARAN, S.; AK, M. M. 2003, "Cheese Rheology and Texture", CRC PRESS, Boca Raton,Florida, EUA.

HAN, X. Z. et al. Influence of maize starch granule-associated protein on the rheological properties of starch pastes. Part II. Dynamic measurements of viscoelastic properties of starch pastes. **Carbohydrate Polymers**, v. 49, n. 3, p. 323-330, 2002.

HERMANSSON, A.M.; SVEGMARK, K. Developments in the understanding of starch functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v.7, p.345-353, 1996.

HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, v.2, n.4, p.393-418, 1971.

HOLDSWORTH, S. D. Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review. **Food and Bioproducts Processing**, v. 71, n. 3, p. 139-179, 1993.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v.45, n.3, p.253-267, 2001.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos de análises de alimentos**. 3 ed. São Paulo-SP: Guanabara Dois, 1985.

ISO. Sensory Analysis–Vocabulary. **International Organization for Standardization**, ISO5492:1992, 1992.

JAYAKODY, J. A. L. P. **The effect acid hydrolysis on granular morphology and physicochemical properties of native cereal starch granules**. Newfoundland, Canada, 2001. 141p. (Máster of Science). Department of Biochemistry. Memorial University of Newfoundland.

KITTIPONGPATANA, O. S.; KITTIPONGPATANA, N. Preparation and physicochemical properties of modified jackfruit starches. **LWT – Food Science and Technology**, v. 44, p. 1766-1773, 2011.

KOHYAMA, K.; MATSUKI, J.; YASUI, T.; SASAKI, T. A differential thermal analysis of the gelatinization and retrogradation of wheat starches with different amylopectin chain lengths. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, p. 71-77, 2004.

KOKINI, J.L.; WANG, C.F.; HUANG, H.; SHRIMAKER, S. Constitutive models of food. **Journal of Textures Studies**, Trumbull, v.26, p.441 – 445, 1995.

KRUIF, C. G.; TUINIER, R. Polysaccharide protein interactions. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v.15, n.4/6, p.555-563, 2001.

LABA, D. Rheological properties of cosmetics and toiletries. New York: **Marcel Dekker**, p. 09-33, 1993.

LACERDA, L. G. **Uso de técnicas termo-analíticas na caracterização da hidrólise enzimática parcial de amido de matérias-primas tropicais**. 2006, p.81. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Dissertação de mestrado.

LAJOLO, F. M., SAURA-CALIXTO, F., PENNA, E. W. D., MENEZES, E. W. D. Fibra dietética en iberoamérica: tecnología y salud: obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos; **Dietary fiber iberoamerica**: technology and health: obtention, characterization, physiological effect and feed application. Varela, 2001.

LEACH, H. W.; MCCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v.36, p.534–538, 1959.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n.1, p. 65-69, 2002.

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; CEREDA, M. P.; GUERREIRO, L. M. R. Extração e Caracterização do Amido de Biri (*Canna edulis*). **Braz. J. Food Technol.**, v. 5, p. 27-32, 2002.

LIMBERGER, V. M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C. G.; PATIAS, L. D. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, v. 31, n. 1, p. 84, 2008.

LIU, Q.; THOMPSON, D.B. Effects of moisture content and different gelatinization heating temperatures on retrogradation of waxy-type maize starches. **Carbohydrate Research**, v. 314, n. 3, p. 221-235, 1998.

MA, L.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Rheological characterization of mayonnaise. part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. **Journal of food engineering**, v. 25, n. 3, p. 409-425, 1995.

MADRIGAL-ALDANA, D.L.; GÓMEZ-TOVAR, B.; OCA, M.M.M.; SÁYAGO-AYERDI, S.G.; GUTIERREZ-MERAZ, F.; BELLO-PÉREZ, L.A.; Isolation and characterization of Mexican jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L) seeds starch in two mature stages. **Starch/Starke**, v.63, p. 364-372, 2011.

MARFIL, P. H. M. **Estudo reológico de sistemas gelatina/colágeno/amido para obtenção de géis e aplicação em gomas dietéticas de gelatina**. São José do Rio Preto. 2010, p.127. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”.

MARTINEZ, C.; CUEVAS, F. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz. **Guia de estudo**, CIAT, 1989.

MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; LÓPEZ-SOTO, M.; SAN MARTÍN-MARTÍNEZ, E.; ZAZUETA-MORALES, J. J.; VELEZ-MEDINA, J. J. Effects of high energy milling on some functional properties of jicama starch (*Pachyrrhizus erosus* L. Urban) and cassava starch (*Manihot esculenta* Crantz). **Journal of food engineering**, v. 78, n. 4, p. 1212-1220, 2007.

MATSUGUMA, L.S. **Caracterização do amido de mandioquinha salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) nativo e modificado por oxidação**. Ponta Grossa, 2006. 112p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa.

MCCLEMENTS, D. J. Emulsion design to improve the delivery of functional lipophilic components. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, p. 241-269, 2010.

MESTRES, C. Los estados físicos del almidón. In: Conferencia Internacional del Almidón, Quito. **Anais Quito** 1996. p.2, 1996.

MEULLENET, J. F. C.; CARPENTER, J. A.; LYON, C. E. Relationship between sensory and instrumental texture profile attributes. **Journal Sensory Studies**. Trumbull. v.13, p. 77-93, 1997.

MOORTHY S. N. Tuber Crop Starches, Thiruvananthapuram: **Central Tuber Crops Research Institute**, p. 4–52, 2001.

MORESI, M.; SPINOSE, M. Engineering factors in the production of concentrates fruit juices. **Journal of Food Technology**, v. 15, n. 3, p. 265-276, 1980.

MORRIS, E. R. Mixed polymer gels: Phase separation. In: HARRIS, P. Food gels. London: **Elsevier Science**, p.305-308, 1990.

MORRISON, W.R.; LAIGNELET, B. An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylase in cereal and other starches. **Journal of Cereal Science**, v.1, n.1, p.9-20, 1983.

OLSSON, C.; LANGTON, M.; HERMANSSON, A.M. Dynamic measurements of β - lactoglobulin structures during aggregation, gel deformation and gel break-up in mixed biopolymer systems. **Food Hydrocolloids**, v.16, p.477-488, 2002.

ORTEGA-OJEDA, F.E.; ANN-CHARLOTTE, E. Gelatinisation and retrogradation behaviour of some starch mixtures. **Starch/Stärke**, v. 53, p. 520-529, 2001.

PARKER, R.; RING, S.G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v.34, p.1-17, 2001.

PEREIRA, L. B. **Caracterização de suspensões e géis de amido de amaranto: efeito da adição de sacarose e NaCl nas propriedades reológicas e térmicas**. 2004. p.167. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP, Campinas, SP.

PERONI, F.H.G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003, 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, SP.

PONS, M.; FISZMAN, S.M. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. **Journal of Texture Studies**, v.27, p.597-624, 1996.

POSSA, M.V.; de LIMA, J.R.B. Comportamento reológico de polpas de minério, Rio de Janeiro: **CETEM/MCT**, 37 p. 2000. (Série Tecnologia Mineral, 77).

QUEIROZ NETO, J.C. **Redução na pressão de rompimento da torta de filtração através de melhorias na composição do fluido de perfuração à base de polímeros**. 2006, 227p. Tese (Doutorado – Programa de Engenharia Química) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro.

RAO, M. A. Measurements of viscoelastic properties. In: RAO, M. A.; STEFFE, J. F., eds. *Viscoelastic Properties of Foods*. London: **Elsevier Applied Science**, p. 207 – 321, 1992.

RAO, M. A. *Rheology of fluid and semisolid foods : principles and applications* . **New York**: Springer, 2007.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. *Engineering properties of foods*, **New York**, Marcel Dekker, 1986.

RAO, M.A. “Rheology of Fluid and Semisolid Food.” ASPEN PUBLISHERS, Gaithersburg, Maryland, EUA, 1999.

RAO, M.A.; TATTYYACUL, J. Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions, Department of **Food Science and Technology**, p.123-132, 1998.

RENGSUTTHI, K.; CHAROENREIN, S. Physico-chemical properties of jackfruit seed starch (*Artocarpus heterophyllus*) and its application as a thickener and stabilizer in chilli sauce. *LWT – Food Science and Technology*, v.44, p. 1309-1313, 2011.

RHA, C. Rheology of fluid food. **Food technology**. v.32, 77-82p., 1978.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 2 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2007. 184 p.

RIBEIRO, E.P.; SERAVALLI, E.A.G. **Química de alimentos**. Instituto Mauá de Tecnologia, 2004.

RILEY, C.K.; WHEATLEY, A.O.; ASEMOTA, H.N. Isolation and characterization of starches from eight *Dioscorea alata* cultivars grown in Jamaica. **African Journal of Biotechnology**, v.5, n.17, p. 1528–1536, 2006.

ROBERTS, S. A.; CAMERON, R. E. The effects of concentration and sodium hydroxide on the rheological properties of potato starch gelatinisation. **Carbohydrate Polymers**, v. 50, n. 2, p. 133-143, 2002.

RODRIGUES, R.M.; OLIVEIRA, R.B.; REGES, C.M. - Determinação do Teor Protéico da Polpa e Caroço de Jaca (*Artocarpus integrifolia*) in natura e desidratado. 2004. XI **Jornada De Iniciação X Científica**, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Tocantins.

ROSALINA, I.; BHATTACHARYA, M. Flow curves, stress relaxation and creep measurements of starch gels. **Journal of texture studies**, v. 32, n. 4, p. 247-269, 2001.

SANDHU, K.S.; SINGH, N. Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. **Food Chemistry**, v. 101, n. 4, p. 1499-1507, 2007.

SANTACRUZ, S. **Characterization of starches isolated from Arracacha xanthorrhiza, Canna edulis and Oxalis tuberosa and extracted from potato leaf**. Uppsala, 2004. 55p. Tese de Doutorado – Department of Food Science – Swedish University of Agricultural Sciences.

SANTOS, C. T. **Farinha da Semente de Jaca. Caracterização físico-química e propriedades funcionais.** Itapetinga-BA: UESB, 2009, 73p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia de Processos de Alimentos).

SANTOS, L. S.; BONOMO, R. C. F.; FONTAN, R. C. I.; SANTOS, W. O.; SILVA, A. A. L. Gelatinization temperature and acid resistance of jackfruit seed starch. **CyTA Journal of Food**, v.7, p.1-5, 2009.

SASAKI, T.; YASUI, T.; MATSUKI, J. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation, and pasting properties of starch from waxy and nonwaxy wheat and their F1 seeds. **Cereal Chemistry**, v.77, n.1, p.58-63, 2000.

SCHMITT, C.; SANCHEZ, C.; DESORBY-BANON. S.; HARDY, J. Structure and technofunctional properties of protein-polysaccharide complexes: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.38, p.689-753, 1998.

SCHOCH, T.J.; MAYWALD, E.C. Preparation and properties of various legume starches. **Cereal Chemistry**, v.45, n.6, p. 564-573, 1968.

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

SING, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N.S; GILL, B.S. Review: morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v.81, p.219-231, 2003.

SINGH, J.; McCARTHY, O.J.; SINGH, H. Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. **Carbohydrate Polymers**, v.64, p.569-581, 2006.

SKELLAND, A.H. Asymptotic rates of heat or mass transfer in non-newtonian laminar flow. **Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals**, v.6 p.148, 1967.

SLATTERY, C. J.; KAVAKLI, I. H.; OKITA, T. W. Engineering starch for increased quantity and quality. **Trends in Plant Science**, v.5, n.7, p.291-297, 2000.

SRICHUWONG, S.; SUNARTI, T. C.; MISHIMA, T.; ISONO, N.; HISAMATSU, M. Starches from different botanical sources II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. **Carbohydrate polymers**, v. 62, n. 1, p. 25-34, 2005.

STAHL, J.A.; LOBATO, L.P.; BOCHI, V.C.; KUBOTA, E.H.; GUTKOSKI, L.C.; EMANUELLI, T. Physicochemical properties of Pinhão (*Araucaria angustifolia* Bert, O. Ktze) starch phosphates. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v.40, p.1206-1214, 2007.

STEFFE, J. F. Rheological Methods in Food Process Engineering, 2ª Ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan State, USA. 418p. 1996.

STREETER, V.L. Mecánica de fluidos. México: **McGraw Hill**. 594p. 1996.

SWINKELS, J. J. M. Composition and properties of commercial native starches. **Starke/Starch**, v.37, n.1, p.1-5, 1985.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, nº 39(1), p.151-165, 2004.

THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. 1. ed. Rio de Janeiro. Interciência. 2001.

TORRUCO-UCO, J.; BETANCUR-ANCONA, D. Physicochemical and functional properties of makal (*Xanthosoma yucatanensis*) starch. **Food Chemistry**, v. 101, p. 1319–1326, 2007.

TUNICK, M. H. Rheology of dairy foods that gel, stretch, and fracture. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 8, p. 1892-1898, 2000.

VIDAL, J.R.M.B. **Comportamento reológico da polpa de manga (Mangífera LKeitt)**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP).

VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.1, n.2, p.69-76, 2000.

WANG, L.Z.; WHITE, P.J. Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid content. **Cereal Chemistry**, v.71, n.5, p.443-450, 1994a.

WANG, L.Z.; WHITE, P.J.; Structure and properties of amylose, amilopectin and intermediate materials of oat starches. **Cereal Chemistry**, v.71, p.263-460, 1994b.

YAMANI, B. V. **Caracterização físico-química e funcional de amido de tuberosas originárias da América do Sul: oca (Oxalis tuberosas Molina), olluco (Ullucus tuberosus Caldas) e mashua (Tropaeolum tuberosum)**. São Paulo, 2010. 120p. Dissertação (Mestrado em Bromatologia) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo.

YONEMOTO, P. G. **Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo**. São José do Rio Preto (SP). 2006. 101p. (Dissertação Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos). Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”.

ZAMORA, A. Carbohydrates – Chemical Structure. Disponível em: <<http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>> Acesso em: 29 de dezembro de 2012.

ZAVAREZE, E.R.; EL HALAL, S.L.M.; PEREIRA, J.M.; RADÜNZ, A.L.; ELIAS, M.C.; DIAS, A.R.G. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Brazil Journal of Food Technology**, II SSA, janeiro 2009.

ZHU, L.; SUN, N.; PAPADOPOULOS, K.; KEE, D. A slotted plate device for measuring static yield stress. **Journal of Rheology**. v. 45. n. 5. p. 1105-1122, 2001.