UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

CARLA GIOVANA LUCIANO

**Caracterização da farinha e do amido isolado da semente de jaca
e comportamento reológico de dispersões de amido**

PIRASSUNUNGA

2016

CARLA GIOVANA LUCIANO

**Caracterização da farinha e do amido isolado da semente de jaca
e comportamento reológico de dispersões de amido**

(Versão Corrigida)

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais.

Área de Concentração: Desenvolvimento, caracterização e aplicação de materiais voltados à agroindústria.

Orientadora: Profa. Dra. Izabel Cristina Freitas Moraes

PIRASSUNUNGA

2016

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L937c Luciano, Carla Giovana
Caracterização da farinha e do amido isolado da
semente de jaca e comportamento reológico de
dispersões de amido / Carla Giovana Luciano ;
orientadora Izabel Cristina Freitas Moraes. --
Pirassununga, 2016.
142 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia e Ciência de Materiais) -- Faculdade
de Zootecnia e Engenharia de Alimentos,
Universidade de São Paulo.

1. Amido nativo. 2. Reologia. 3. Propriedades de
pasta. 4. Comportamento térmico. 5. Cristalinidade.
I. Moraes, Izabel Cristina Freitas, orient. II.
Titulo.

CARLA GIOVANA LUCIANO

Caracterização da farinha e do amido isolado da semente de jaca e comportamento reológico de dispersões de amido

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção de título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais.

Aprovado em: 18 de fevereiro de 2016.

Banca Examinadora

Profa. Dra. Célia Maria Landi Franco

Instituição: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Unesp

Assinatura: _____

Prof. Dr. Pedro Esteves Duarte Augusto

Instituição: Universidade de São Paulo – USP/ESALQ

Assinatura: _____

Prof. Dr. Paulo José do Amaral Sobral

Instituição: Universidade de São Paulo – USP/FZEA

Assinatura: _____

*Dedico à minha família, em especial aos meus avós
Sebastião Eleodoro Rosa e Luzia Cerutti
Eleodoro Rosa, por todo o incentivo.*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por colocar no meu caminho pessoas de bem.

Agradeço à minha mãe, Neca, por toda a paciência e carinho que sempre teve comigo, e por me ajudar em tudo o que eu precisei. Agradeço por me ensinar a ver sempre o lado bom das coisas. Aos meus avós, Sebastião e Luzia e aos meus tios Ângela e Mauro, por compreenderem minha ausência e sempre apoiarem minhas decisões.

À professora Izabel Cristina Freitas Moraes por toda a orientação, essencial na minha vida, e pela amizade e confiança, que fizeram desses anos de trabalho um tempo de alegrias e aprendizados.

Ao professor Paulo José do Amaral Sobral, que permitiu que eu realizasse os experimentos em seu laboratório, e que desde sempre ajudou e incentivou minha vida na pesquisa científica.

Ao Germán, que foi um anjo na minha vida, e me ajudou ao longo de todo projeto, mesmo estando bem longe.

Aos técnicos de laboratório Rodrigo Lourenço, Carla Lourenço, Camila Molina e Fábio Gallo por toda ajuda, e principalmente agradeço à técnica Ana Mônica, que me ajudou muito nesse projeto com suas ideias fantásticas, e por quem tenho uma profunda admiração.

Aos meus amigos e colegas do LTA – Laboratório de tecnologia de alimentos, que me acolheram com grande carinho e aos meus amigos e colegas dos laboratórios do ZEA, pelos momentos de descontração e amizade. Vocês são os meus essenciais!

Agradeço à Gisele Makishi, Josiane Borges, Thaís Prado, Carol Andreucetti, e Monique Mi, grandes amigas, que estiveram sempre perto para ajudar quando precisei. Não tenho palavras para dizer o quanto são importantes na minha vida.

Às minhas estagiárias Daniela e Niara, que trabalharam duro nesse projeto.

Aos meus amigos Michael, Raphael, Beatriz, Alcides, Bruno (Reis), Samara, Luciano, Felipe, Lygia, Boo e Val, por todo o apoio que sempre deram em vários

aspectos da minha vida, pelas risadas, pela companhia e por todos esses anos de amizade.

Ao Gilles Maag, por todas as risadas.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) Processo N° 2013/19194-0 pela concessão da bolsa de mestrado e apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Ao projeto CAPES-PVE Processo N° 88881.062173/2014-01/Capes pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

A CIÊNCIA NÃO PRODUZ VERDADES, PRODUZ HIPÓTESES.

Paulo Saldiva

Índice

1.	INTRODUÇÃO	19
2.	OBJETIVOS	21
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1	AMIDO.....	22
3.1.1	Extração do amido	25
3.1.2	Gelatinização e retrogradação do amido.....	26
3.1.3	Importância do amido na indústria de alimentos	29
3.1.4	Amidos de fontes não-convencionais.....	30
3.1.5	Amido de semente de jaca.....	31
3.2	FARINHAS	33
3.3	REOLOGIA.....	34
3.3.1	Cisalhamento em estado estacionário	36
3.3.2	Efeito da temperatura sobre a viscosidade	39
3.3.3	Cisalhamento oscilatório	40
3.3.4	Comportamento reológico das dispersões de amido.....	45
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	48
4.1	MATERIAL.....	48
4.2	METODOLOGIA	48
4.2.1	Extração do amido de sementes de jaca.....	48
4.2.2	Produção da farinha de semente de jaca	50
4.2.3	Composição química e teor de amilose	50
4.2.4	Determinação dos parâmetros de cor	51
4.2.5	Microscopia Eletrônica e Varredura (MEV)	51
4.2.6	Distribuição do tamanho de partículas	52
4.2.7	Difração de Raios-X (DRX)	52
4.2.8	Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)	53
4.2.9	Propriedades de pasta (RVA)	54
4.2.10	Poder de inchamento e índice de solubilidade	55
4.2.11	Capacidade de absorção de água e óleo	56
4.2.12	Análises reológicas das dispersões e/ou géis de amido.....	57
4.2.13	Análises estatísticas.....	59
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE SEMENTES DE JACA	60
5.1.1	Composição Química.....	60
5.1.2	Determinação dos parâmetros de cor	62

5.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	63
5.1.4 Distribuição do tamanho de partículas	65
5.1.5 Difração de Raios-X.....	67
5.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E TÉRMICAS DAS DISPERSÕES DE AMIDO DE SEMENTES DE JACA.....	70
5.2.1 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)	70
5.2.2 Propriedades de pasta (RVA)	75
5.2.3 Poder de inchamento e índice de solubilidade	78
5.3 CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DOS GÉIS/DISPERSÕES DOS AMIDOS	80
5.3.1 Estado Estacionário	80
5.3.2 Estado Oscilatório.....	92
5.3.2.1 Varredura de deformação	92
5.3.2.2 Varredura de frequência	94
5.3.2.3 Varredura de temperatura	97
5.3.2.4 Cinética de gelatinização	99
5.4 CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE SEMENTES DE JACA	103
5.4.1 Composição química e análise de minerais	103
5.4.2 Determinação dos parâmetros de cor	105
5.4.3 Microscopia Eletrônica de varredura	106
5.4.4 Distribuição do tamanho de partículas	107
5.4.5 Difração de Raios-X (DRX)	108
5.4.6 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)	109
5.4.7 Propriedades de pasta (RVA)	111
5.4.8 Poder de Inchamento e índice de solubilidade	113
5.4.9 Capacidade de absorção da farinha em água e óleo	114
6. CONCLUSÕES.....	117
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
APÊNDICES.....	137

Índice de Figuras

Figura 1: Molécula de (a) Amilose e de (b) Amilopectina.	23
Figura 2: Jaqueira com frutas de diferentes tamanhos (a), casca da jaca (b); interior da jaca madura com a semente (c); polpa comestível (d) e semente (e).	32
Figura 3: Esquema de classificação dos fluidos de acordo com seu comportamento reológico.	37
Figura 4: Resposta da tensão e deformação de um fluido Newtoniano e de um sólido perfeitamente elástico em testes oscilatórios, onde linhas contínuas representam a deformação e linhas pontilhadas representam a tensão. (A) = sólido elástico, (B) = fluido Newtoniano, (C) = material viscoelástico	42
Figura 5: Variação do ângulo de fase (δ) com a frequência (ω) para materiais típicos.....	45
Figura 6: Fluxograma de obtenção da farinha e extração de amido de sementes de jaca das variedades dura e mole.....	49
Figura 7: Difratoograma de raios-X descritivo do método de índice de cristalinidade relativa adaptado à razão das intensidades difratadas.	53
Figura 8: Curva viscoamilográfica obtida pelo RVA, com identificação dos parâmetros avaliados.	55
Figura 9: Micrografias de amidos de sementes de jaca das variedades mole (a, b, c) e dura (d, e, f) extraídos com água (a, d), NaOH 0,05 M (b, e) e NaOH 0,1 M (c, f).....	64
Figura 10: Distribuição do tamanho de partículas dos amidos de sementes de jaca das variedades mole (a) e jaca dura (b) para diferentes métodos de extração: Água (----); NaOH 0,05 M (—) e NaOH 0,1 M (— —).	66
Figura 11: Difratoogramas de raios-X de amidos de sementes de jaca das variedades mole (a) e dura (b), para diferentes métodos de extração : água e solução NaOH (0,05 M e 0,1 M).	68
Figura 12: Cristalinidade do tipo A e B da amilopectina.	69
Figura 13: Curvas de fluxo de calor obtidas das análises de calorimetria diferencial de varredura (DSC) para os amidos de sementes de jaca das variedades mole (a) e dura (b).	71
Figura 14: Poder de inchamento dos amidos de semente de jaca das variedades: (a) mole e (b) dura, extraídos com diferentes solventes: água (), NaOH 0,05 M () e NaOH 0,1 M ().	79
Figura 15: Índice de solubilidade dos amidos de semente de jaca das variedades: (a) mole e (b) dura, extraídos com diferentes solventes: água (), NaOH 0,05 M () e NaOH 0,1 M ().	79

Figura 16 : Curvas de fluxo das rampas de taxa de deformação ascendente (símbolos fechados) e descendente (símbolos abertos) para ASJM (esquerda) e ASJD (direita) nas concentrações de 2% (a, b); 5% (c, d); 6% (e, f), respectivamente, para as extrações com água () e com NaOH 0,1 M (■), para as temperaturas: 10 °C (preto) e 40 °C (laranja).	82
Figura 17: Curvas de escoamento descendentes das dispersões e/ou géis de ASJM à esquerda e ASJD à direita, nas concentrações de 2% (a, b), 5% (c, d) e 6% (e, f). Símbolos fechados representam a extração com água e símbolos abertos representam a extração com NaOH 0,1 M, para as temperaturas: 10 °C (preto), 20 °C (roxo), 30 °C (azul) e 40 °C (laranja).	84
Figura 18: Curvas de viscosidade aparente das dispersões e/ou géis das dispersões e/ou géis de ASJM à esquerda e ASJD à direita, nas concentrações de 2% (a, b), 5% (c, d) e 6% (e, f). Símbolos fechados representam a extração com água e símbolos abertos representam a extração com NaOH 0,1 M, para as temperaturas: 10 °C (preto) e 40 °C (laranja).	86
Figura 19: Energia de ativação do amido de semente de jaca das variedades mole (), e dura () e dura extraídos com diferentes solventes: Água (a); NaOH 0,05 M (b) e NaOH 0,1 M (c).	91
Figura 20: Módulo de armazenamento (G') em função da deformação para amido de semente de jaca obtido pela extração com água (a, b); NaOH 0,05 M (c, d) e NaOH 0,1 M (e, f) para as variedades mole (gráficos a esquerda) e dura (gráficos a direita), nas concentrações de 2% (), 5% () e 6% ().	93
Figura 21: Módulo de armazenamento, G' (símbolos fechados) e módulo de perda, G'' (símbolos abertos) em função da frequência para amido de semente de jaca das variedades: mole (a, c, e) e dura (b, d, f), extraídos com diferentes solventes: água (a, b); NaOH 0,05 M (c, d) e NaOH 0,1 M (e, f), para as concentrações: 2% (), 5% () e 6% ().	95
Figura 22: Módulo de armazenamento, G' (símbolos fechados) e módulo de perda, G'' (símbolos abertos) em função da temperatura para géis de amido de semente de jaca das variedades: mole (a, c) e dura (b, d), isolados com: água, NaOH 0,05 M e NaOH 0,1 M. Rampas de aquecimento (a, b) e resfriamento (c, d).	98
Figura 23: Cinética de gelatinização a 77,5°C na concentração de 6% de amido de semente de jaca mole () e dura (). Símbolos fechados representam G' e símbolos abertos representam G'' para os solventes: a) água; b) NaOH 0,05 M e c) NaOH 0,1 M.	100

Figura 24: Cinética de gelatinização a 80°C na concentração de 6% de amido de semente de jaca mole () e dura (). Símbolos fechados representam G' e símbolos abertos representam G'' para os solventes: a) água; b) NaOH 0,05 M e c) NaOH 0,1 M.....	101
Figura 25: Farinha de sementes de jaca das variedades a) mole e b) dura, com aumento de 1000 x.....	107
Figura 26: Distribuição do tamanho de partículas das farinhas de sementes de jaca das variedades mole e dura.	108
Figura 27: Difrátograma de raios-X de FSJM e FSJD.	109
Figura 28: Curvas de fluxo de calor obtidas das análises de calorimetria diferencial de varredura (DSC) para a farinha de sementes de jaca das variedades mole e dura.....	110
Figura 29: Poder de inchamento e índice de solubilidade das farinhas de semente de jaca das variedade mole (FSJM) e dura (FSJD).....	113

Índice de Tabelas

Tabela 1: Temperatura de gelatinização, teor de amilose e amilopectina de alguns amidos encontrados na literatura.	27
Tabela 2: Fluido newtoniano, pseudoplástico, dilatante e plástico de Bingham como casos especiais do modelo de Hershel-Bulkley.....	38
Tabela 3: Estudos sobre a caracterização reológica de dispersões/géis de amido de diferentes fontes botânicas.	46
Tabela 4: Composição química (g/ 100 g b. s.) do amido isolado de semente de jaca para variedades mole e dura, com diferentes solventes.	61
Tabela 5: Parâmetros de cor instrumental (L^* e ΔE^*) para o amido isolado de semente de jaca das variedades mole e dura, isolado com diferentes solventes.	63
Tabela 6: Distribuição do tamanho e diâmetro médio dos grânulos de amido da semente de jaca das variedades mole e dura em diferentes condições de extração.....	66
Tabela 7: Índice de cristalinidade dos amidos de sementes de jaca (ASJM e ASJD).....	69
Tabela 8: Propriedades térmicas de gelatinização e retrogradação dos amidos de semente de jaca das variedades dura e mole, isolados com diferentes solventes.	72
Tabela 9: Propriedades de pasta do ASJM e ASJD, extraído com água ou solvente alcalino.	76
Tabela 10: Tensão inicial (σ_0), índice de consistência (k), índice de fluidez (n) e coeficiente de determinação do modelo Hershel-Bulkley (R^2) para as dispersões de ASJM.....	89
Tabela 11: Tensão inicial (σ_0), índice de consistência (k), índice de fluidez (n) e coeficiente de determinação do modelo Hershel-Bulkley (R^2) para as dispersões de ASJD.	90
Tabela 12: Temperaturas obtidas nas análises reológicas ($T_{G' \text{ máx.}}$) e $T_{\text{derivada } G'}$ para o amido isolado de sementes de jaca.....	99
Tabela 13: Composição química da farinha isolada de semente de jaca das variedades mole e dura (g/ 100 g b. s.).	103
Tabela 14: Análise de minerais para a farinha isolada de jaca das variedades mole e dura – macro e micronutrientes.....	104
Tabela 15: Parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*) da farinha isolada de semente de jaca.....	106
Tabela 16: Propriedades de gelatinização da farinha de semente de jaca das variedades dura e mole.....	110

Tabela 17: Propriedades de pasta da farinha isolada de semente de jaca das variedades mole e dura..... **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 18: Capacidade de absorção de água e óleo (g/ 100g amostra) da farinha isolada de semente de jaca das variedades mole e dura.115

RESUMO

LUCIANO, C. G. **Caracterização da farinha e do amido isolado da semente de jaca e comportamento reológico de dispersões de amido**. 2016. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

O amido é um ingrediente com grande versatilidade de aplicação, e as sementes de jaca, fruto bem difundido, porém pouco aproveitado no Brasil, contêm uma quantidade considerável de amido, sendo ainda fonte de ferro e proteínas. Dessa maneira, os objetivos desse projeto foram a obtenção da farinha de sementes de jaca das variedades mole e dura, a extração do amido utilizando diferentes solventes, e a caracterização de suas propriedades físico-químicas, estruturais e funcionais, bem como a caracterização reológica de dispersões/géis de amido em cisalhamento estacionário e oscilatório. A extração alcalina do amido, além de reduzir significativamente o conteúdo de lipídeos e proteínas, deixando o amido mais puro, promoveu um aumento no teor de amilose e influenciou diretamente as características de inchamento e solubilidade, que apresentaram aumento significativo a partir da temperatura de 70 °C. O aumento da temperatura ocasionou aumento no poder de inchamento e solubilidade, que foi mais pronunciado para a variedade dura, porém esses valores ainda foram considerados baixos (< 17%). Os amidos de sementes de jaca apresentaram grânulos lisos, arredondados e em forma de sino, com formato mais truncado para o amido extraído com hidróxido de sódio. O diâmetro médio dos grânulos de amido foi menor para a extração alcalina, mas sempre com comportamento monomodal. Foi observado um padrão de difração de Raios-X do tipo A para todas as amostras estudadas, e o índice de cristalinidade foi maior para os amidos de sementes de jaca dura, com uma redução estimada em 70% para os amidos obtidos por extração alcalina. A temperatura de

gelatinização dos amidos de semente de jaca foi considerada alta (70–100 °C). Os amidos de sementes de jaca dura obtidos na extração com água apresentaram maiores valores de viscosidade de pico e de *Breakdown*, que representa menor resistência mecânica. A extração com solução de NaOH 0,1 M aumentou a tendência a retrogradação de ~36% (extração aquosa) para 64% e 45% dos amidos de sementes de jaca das variedades mole e dura, respectivamente. Todas as amostras apresentaram comportamento pseudoplástico ($n < 1$) nas concentrações e temperaturas estudadas, e as dispersões e/ou géis de amido obtidos pela extração alcalina com NaOH apresentaram menor tixotropia e maiores valores de viscosidade. Os modelos Lei da Potência e Herschel Bulkley apresentaram ótimos ajustes aos pontos experimentais ($R^2 \sim 0,998$) para as amostras com 2 e 6 % de amido, respectivamente, porém para a concentração de 5%, o melhor modelo foi função da variedade do fruto usado na obtenção do amido. A dependência das propriedades reológicas com a temperatura foi analisada pela equação de Arrhenius e a energia de ativação foi baixa (15-25 kJ/mol). Quanto ao comportamento viscoelástico, as amostras com 5 e 6% de amido apresentaram comportamento de gel fraco e o aumento da concentração desse polissacarídeo produziu um aumento na elasticidade do material. Os módulos de armazenamento (G') associados à elasticidade do gel de amido aumentaram durante o seu resfriamento nos ensaios de varredura de temperatura, o que pode ser relacionado à recristalização da amilose durante esse processo e mantiveram-se praticamente constantes no aquecimento isotérmico a 80 °C, sugerindo boa estabilidade térmica do gel. A farinha isolada da semente de jaca pode ser considerada fonte de fibras e apresentou elevados teores de proteínas (~14-16%) e ferro (~85-150 mg/kg). A distribuição do tamanho de partículas da farinha apresentou comportamento bimodal, com grânulos arredondados, presença de fibras e uma matriz proteica envolvendo os grânulos de amido. As propriedades de pasta revelaram maior pico de viscosidade para a farinha de semente de jaca mole. As características encontradas sugerem que os amidos

de semente de jaca poderiam ser aplicados na produção de filmes biodegradáveis, e a farinha da semente de jaca poderia ser utilizada em substituição parcial à farinha convencional na fabricação de bolos e biscoitos.

Palavras-chave: amido nativo, reologia, propriedades de pasta, comportamento térmico, cristalinidade.

ABSTRACT

LUCIANO, C. G. **Characterization of flour and isolated starch from seeds of jackfruit and rheological behavior of starch dispersions.** 2016. 142 f. M.Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

Starch is an ingredient with great versatility of application, and the seeds of jackfruit, a well spread fruit but little exploited in Brazil, contain a considerable amount of starch, being a source of iron and proteins. Thus, the aims of this project were to obtain the jackfruit seed flour of hard and soft varieties, extraction of starch using different solvents and characterization of its physicochemical, structural and functional properties, as the rheological characterization of dispersion/gels starch under steady and oscillatory shear. Alkaline extraction of starch significantly reduced the content of lipids and proteins, leaving to a purest starch, and promoted an increase in amylose content, besides, directly influenced the swelling and solubility characteristics, which showed a significant increase from the temperature of 70 ° C. The increase in temperature caused an increase in the power of swelling and solubility, which was more pronounced for the hard variety, but these values are still considered low (<17%). Jackfruit seeds starch granules showed smooth, rounded, bell-shaped, and they had more truncated form when starch was extracted with sodium hydroxide. The average diameter of the starch granules was lower for alkaline extraction, but always with monomodal behavior. It was observed diffraction pattern of X-rays of type A for all samples, and the crystallinity index was higher for the starches of hard jackfruit seeds with an estimated reduction of 70% to starches obtained by alkaline extraction. The gelatinization temperature of starches jackfruit seed was considered high (70-100 °C). The hard jackfruit seed starches obtained in the aqueous extraction had higher peak viscosities and Breakdown, what means lower mechanical

strength. Extraction with 0.1 M NaOH solution increased the retrogradation of ~ 36% (aqueous extraction) to 64% and 45% of jackfruit seed starch varieties of soft and hard, respectively. All samples exhibited pseudoplastic behavior ($n < 1$) at the concentrations and temperatures studied, and starch dispersions and /or gels obtained by alkaline extraction with NaOH showed lower thixotropy and higher viscosities. Power Law and Herschel Bulkley models showed great adjustments to the experimental points ($R^2 \sim 0.998$) for samples with 2 and 6% starch, respectively, but for the concentration of 5%, the best model was a function of the fruit variety used on starch extraction. The dependence of the rheological properties with temperature was examined by the Arrhenius equation and activation energy was low (15-25 kJ / mol). In concern to the viscoelastic behavior, samples of 5 and 6% of starch showed a behavior of weak gel and the increase in concentration of this polysaccharide produced an increase in the elasticity of the material. The storage modulus (G') associated with the elasticity of the starch gel increased during its cooling in the temperature sweep tests, which may be related to the recrystallization of amylose during this process and remained practically constant in the isothermal heating at 80 °C, suggesting good thermal stability of the gel. The isolated jackfruit seed flour may be considered source of fiber and showed high levels of proteins (~ 14-16%) and iron (~ 85-150 mg / kg). Particle size distribution of the flour showed bimodal behavior with rounded beads, fibers and the presence of a protein matrix surrounding the starch granules. Pasting properties revealed higher peak viscosity for the soft jackfruit seeds flour. The characteristics found suggest that jackfruit seed starch could be applied in the production of biodegradable films, and jackfruit seed flour could be used in partial replacement of conventional flour in the manufacture of cakes and cookies.

Keywords: native starch, rheology, pasting properties, thermal behavior, crystallinity.

1. INTRODUÇÃO

A jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), fruto tropical muito consumido em países como a Tailândia, Indonésia, Índia, Filipinas e Malásia (MADRIGAL-ALDANA *et al.*, 2011), foi introduzida no Brasil no século XIX. A jaqueira está presente em diversas regiões do país, sendo encontrada na Amazônia, no estado do Pará até o Rio de Janeiro (MADRUGA *et al.*, 2014), com maior incidência no sul da Bahia (PEREIRA *et al.*, 2007). Dependendo da consistência da fruta, são conhecidas diversas variedades de jaca, sendo que as mais populares são as variedades mole e dura. A jaca mole apresenta polpa mais doce e completamente macia e a jaca dura, polpa ligeiramente dura (SHYAMALAMMA *et al.*, 2008). A parte comestível dessa fruta pode ser considerada uma boa fonte de nutrientes essenciais como proteínas, cálcio, ferro e tiamina quando comparadas a outras frutas tropicais (BALIGA *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2007).

A polpa, além de ser consumida *in natura*, pode ser utilizada na produção de compotas, geleias, sorvetes e sucos; e as sementes podem ser consumidas assadas ou cozidas (MADRUGA *et al.*, 2014). Além disso, as sementes contêm grande quantidade de carboidratos e proteínas e a sua farinha vem sendo investigada para aplicação em biscoitos, doces e bolos (MADRIGAL-ALDANA *et al.*, 2011, PRAKASH *et al.*, 2009, MUKPRASIT; SAJJANANTASUL, 2004).

O conteúdo de amido na semente de jaca foi estimado em 24% (base seca) e esse material tem despertado o interesse de pesquisadores para o seu isolamento e caracterização (KITTIPONGPATANA; KITTIPONGPATANA, 2011, RENGSUTTHI; CHAROENREIN, 2011).

O uso do amido vai muito além da indústria de alimentos, esse material também tem aplicação nas indústrias farmacêutica, biotecnológica, têxtil, química, e de papel. A seleção do amido para o uso industrial é função da sua disponibilidade, custo e de suas características físico-químicas, que dependem muito da fonte botânica (PASCOAL *et al.*,

2013). Assim, pesquisas para a obtenção de novas fontes de amidos estão em constante crescimento, visando amidos que apresentam propriedades diferentes dos materiais já conhecidos devido à necessidade de melhorar a qualidade de processo e produto, bem como o desenvolvimento de novos produtos (HENRIQUEZ *et al.*, 2008, SINGH *et al.*, 2007, KITTIPONGPATANA; KITTIPONGPATANA, 2011, NWOKOCHA; WILLIAMS, 2011).

Independente da aplicação, o uso do amido envolve uma série de processos onde os grânulos de amido gelatinizam para formar soluções, dispersões, géis ou pastas. O comportamento reológico e térmico desses sistemas é influenciado primeiramente pelo tipo de amido (fonte botânica, tamanho do grânulo, relação amilose/amilopectina, dentre outros) e pode ser fortemente influenciado pelos parâmetros da formulação e condições de processamento. (BARBOSA, 2013; ALBANO, 2012).

No caso de fluidos não-Newtonianos, comportamento típico de géis de amido, a determinação da elasticidade dos sistemas formulados também é muito importante. Nesse contexto, a reologia se apresenta como uma ferramenta eficiente para explorar as propriedades estruturais e interações moleculares de diferentes materiais, a fim de promover a caracterização macroscópica, fornecendo um caminho acessível para correlacionar a microestrutura de um sistema, com suas respostas reológicas particulares (BIRD, 2005; GALINDO-ROSALES, 2010).

Foi encontrado um número muito reduzido de trabalhos sobre a caracterização reológica de dispersões de amido de semente de jaca por reometria rotacional através de ensaios oscilatórios (CORREIA *et al.*, 2012; MADRIGAL-ALDANA *et al.*, 2011). Dessa maneira, nesse trabalho foram obtidos a farinha e o amido das sementes de jaca e foi feita a caracterização física, química e estrutural desses materiais, assim como a caracterização reológica das dispersões de amido em estado estacionário e oscilatório.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi avaliar as propriedades físico-químicas, estruturais e funcionais da farinha e do amido de semente de jaca de duas variedades (mole e dura). Os solventes usados na extração do amido foram água e solução alcalina de hidróxido de sódio (NaOH) em duas concentrações (0,05 e 0,1 mol/L). Foram realizadas as caracterizações reológicas das dispersões e/ou géis de amido em cisalhamento estacionário e oscilatório para avaliar a influência da variedade e do método de extração no comportamento viscoelástico desses sistemas.

Os objetivos específicos do projeto foram:

- Determinar a composição centesimal e a cor da farinha e dos amidos de sementes de jacas e o conteúdo de amilose aparente desses amidos;
- Avaliar as características morfológicas e estruturais do amido e da farinha, através das análises de microscopia eletrônica de varredura, difração de raios-X, tamanho médio e distribuição de tamanho de partículas (difração a laser);
- Determinar as propriedades térmicas, por calorimetria diferencial de varredura (DSC), e de pasta, pelo RVA (*Rapid Visco Analyser*), da farinha e do amido;
- Estudar o comportamento reológico de suspensão e/ou géis de amidos de sementes de jaca nas concentrações de 2, 5 e 6% (m/m), no intervalo de temperaturas de 10 a 40 °C, através da determinação das curvas de escoamento desses sistemas;
- Determinar o espectro mecânico de frequência de suspensão e/ou géis de amidos de sementes de jaca nas concentrações de 2, 5 e 6% (m/m) a 25 °C, através de ensaios reológicos em cisalhamento de estado oscilatório, no intervalo de viscoelasticidade linear;
- Avaliar o comportamento reológico dos géis de amido, em ensaios oscilatórios de varreduras de temperatura e tempo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 AMIDO

O amido é um dos polissacarídeos naturais mais abundantes, sintetizado pelos vegetais para ser usado como reserva energética das plantas e sendo, portanto, produzido a baixo custo. De acordo com Matsuguma (2006), a principal fonte de carboidratos na alimentação humana é o amido, pelo fato de ser facilmente hidrolisado e digerido. O amido é considerado como um carboidrato de estrutura complexa, formado a partir de polímeros de glicose, por desidratação (a cada ligação de duas glicoses, há liberação de uma molécula de água) (YAMANI, 2010). Morfologicamente, o amido é composto de grânulos com diferentes geometrias e diâmetros que variam entre 1 a 150 μm , dependendo da sua origem botânica (IMAM *et al.*, 2012). Quimicamente, o amido é o único carboidrato composto por uma mistura de dois polímeros: amilose e amilopectina em proporções que variam entre as diferentes espécies de vegetais e grau de maturação das plantas (KIM *et al.*, 2012).

As moléculas de amilose e amilopectina não estão livres na natureza, aparecem apenas como agregados semicristalinos organizados em grânulos de amido. A amilose é composta principalmente por unidades lineares de glicose unidas em ligações α -(1 $\rightarrow$ 4) (Figura 1a), enquanto a amilopectina é altamente ramificada e as unidades são unidas em ligações α -(1 $\rightarrow$ 4) e α -(1 $\rightarrow$ 6) nos pontos de ramificação (Figura 1b). A amilose, entretanto, pode apresentar algumas poucas ramificações, com ligações α -(1 $\rightarrow$ 6), as quais estão localizadas próximas à extremidade redutora (TAKEDA *et al.*, 1987) e seu comportamento se aproxima a de polímero linear (KARIM *et al.*, 2000). As moléculas de amilose possuem conformação helicoidal e compreendem cerca de 30% do amido, variando de acordo com a sua fonte, com massas moleculares de 200.000 – 700.000 Da, enquanto as moléculas de amilopectina apresentam massa molecular mais elevada, de 10^8 – 2×10^8 Da (IMAM *et al.*, 2012).

Figura 1: Molécula de (a) Amilose e de (b) Amilopectina.

Fonte: IMAM *et al.*, 2012.

A amilose tem facilidade em adquirir formação helicoidal, pois as cadeias α -D-glicose costumam enrolar-se em espiral, formando uma estrutura na qual a hélice é formada por ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas. O interior da α -hélice contém somente átomos de hidrogênio (lipofílico) enquanto os grupos de hidroxilas se posicionam no lado externo da mesma (HOOVER, 2001).

As proporções de amilose e amilopectina exercem grande influência na viscosidade e no poder de gelatinização do amido (BARBOSA, 2013). A amilose possui conformação estendida que promove valores de viscosidade mais altos, quando solubilizada em água, em comparação com a amilopectina. As cadeias helicoidais livremente estendidas possuem uma superfície interna relativamente hidrofóbica dificultando interações estáveis com a água (IMAM *et al.*, 2012).

Dependendo da fonte botânica, o conteúdo de amilose pode ser menor que 1% ou alcançar valores de até 70%, sendo classificado como amido ceroso, com pequena quantidade de amilose (~1%), ou amidos com alta amilose, aqueles que contêm mais de 50% desse componente. Amidos com diferentes conteúdos de amilose apresentam propriedades reológicas, térmicas e de processamento totalmente diferentes (XIE *et al.*, 2012).

As moléculas de amilose e amilopectina estão associadas dentro dos grânulos por ligações de hidrogênio, o que resulta no aparecimento de regiões que se alternam entre

amorphas e cristalinas. As regiões amorfas não apresentam orientação definida e suas associações são fracas, enquanto as regiões cristalinas mantêm a estrutura do grânulo e controlam o comportamento do amido em água (CIACCO; CRUZ, 1982). As cadeias ramificadas da amilopectina estão arranjadas em forma de *clusters* e podem ser relacionadas com a estrutura cristalina do amido (JANE, 1999), enquanto a amilose é associada principalmente as regiões amorfas (ZOBEL, 1988).

Os grânulos de amido são hidrofílicos, uma vez que cada unidade monomérica de amido contém três grupos hidroxila livres. Os grânulos secos absorvem umidade quando imersos em água, mas conservam a sua estrutura de base devido à sua cristalinidade e à ligação de hidrogênio no interior dos grânulos (IMAN *et al.*, 2012).

Em solução aquosa, o grânulo de amido é birrefringente quando visto microscopicamente sob luz polarizada, ou seja, quando moléculas de amilose e amilopectina estão associadas paralelamente e são observadas através de luz polarizada, os grânulos de amido aparecem claros e exibem uma cruz escura, conhecida como “Cruz de Malta”, que caracteriza a orientação radial das macromoléculas (BENINCA, 2008; ELIASSON; GUDMUNSON, 2006).

O amido pode formar complexos de inclusão com diversas moléculas pequenas como álcoois, lipídeos, fenóis e compostos aromatizantes. A amilose é o principal responsável pela formação do complexo, enquanto a amilopectina forma complexos apenas com alguns tipos de moléculas. Dentre outros fatores, a formação do complexo de amido com moléculas de inclusão durante o processamento de alimentos, sobretudo o complexo amilose-lipídeo, normalmente descrito como tendo seis resíduos de glicose por giro, e que inclui dois ou três giros por complexo, pode influenciar consideravelmente as propriedades funcionais dos alimentos, ocasionando redução na solubilidade, retardando a retrogradação e inibindo a degradação do amido-amido por enzimas como fosforilase, α -amilase e β -amilase (ZHU; WANG, 2013). Os complexos formados com amilose são

facilmente detectados por calorimetria diferencial de varredura (DSC), onde a fusão de complexos representa um pico endotérmico (ELIASSON; WAHLGREN, 2000).

Segundo Buléon *et al.* (1998), além da amilose e amilopectina, outros constituintes podem aparecer no amido em menor concentração, como lipídeos, proteínas, fibras e alguns minerais. A presença desses constituintes resulta em uma menor pureza do amido e, mesmo que em pequenas quantidades, esses constituintes conseguem influenciar algumas propriedades físico-químicas e tecnológicas (YONEMOTO, 2006).

3.1.1 Extração do amido

A extração do amido pode ser realizada de diversas maneiras. O método mais comum de extração desse polímero é com a utilização de água como solvente, uma vez que não há alteração das características estruturais do grânulo de amido, no entanto, a quantidade de proteínas e lipídios residuais nos grânulos é alta. Métodos de extração que utilizam solvente alcalino têm sido vastamente explorados, apesar do fato de que esse tratamento pode alterar a estrutura dos grânulos de amido (CARDOSO *et al.*, 2006; LIM *et al.*, 1999).

Durante a extração com solução alcalina o amido pode sofrer mudanças na sua microestrutura e nas suas propriedades físico-químicas (GOMEZ *et al.*, 1992). Essas mudanças são variadas e dependem do tipo de agente alcalino, da concentração usada, do tipo de amido e do tempo de contato da matéria-prima com o solvente (NADIHA *et al.*, 2010). Algumas mudanças causadas pelo tratamento alcalino, como liberação da proteína da superfície do grânulo, e a influência desse efeito na gelatinização do amido foram estudadas por Han; Hamaker (2002), Karim *et al.* (2007) e Lee *et al.* (2008).

Correia *et al.* (2012) estudaram dois métodos de extração: com solução alcalina e enzimática, sobre as propriedades funcionais, térmicas e viscoelásticas de pastas de amido de castanha portuguesa, e concluíram que o método de isolamento do amido

afetou suas propriedades, sendo que a extração alcalina, com 0,25% de NaOH, foi a que melhor preservou a ordem molecular e, conseqüentemente, as propriedades funcionais desse amido.

3.1.2 Gelatinização e retrogradação do amido

Quando os grânulos de amido são aquecidos em excesso de água, sua natureza semicristalina e estrutura 3D são rompidas gradualmente. Ocorre perda da orientação das moléculas, devido à quebra da estrutura cristalina do grânulo, resultando em uma transição de fase de estrutura granular organizada para o estado desordenado em água, que é conhecido como gelatinização (XIE *et al.*, 2012). A gelatinização, transformação do amido granular em pasta viscoelástica, promove mudanças irreversíveis em suas propriedades: inchamento dos grânulos, perda da amilose para a solução, dissociação das duplas hélices, fusão de cristais iniciais, perda de birrefringência e solubilização do amido (XIE *et al.*, 2012; SRICHUWONG *et al.*, 2005). O empastamento é o fenômeno seguinte à gelatinização, quando há solubilização dos grânulos de amido.

A temperatura na qual os grânulos de amido estão completamente gelatinizados é conhecida como a temperatura de gelatinização, exemplificada na Tabela 1, que pode ser definida como uma faixa de temperatura, medida a partir do início da perda de birrefringência, até o ponto onde menos de 10% da birrefringência ainda existe (ROCHA *et al.*, 2008). A energia requerida para a separação das moléculas difere entre os grânulos de amido de uma mesma fonte botânica, assim, a gelatinização ocorre em uma faixa de temperatura (CEREDA, 2001).

O grau de gelatinização é dependente da temperatura, do teor de umidade e da relação amilose/amilopectina do amido (RODRÍGUEZ *et al.*, 2009). Quando o amido é aquecido em presença de pequenas quantidades de água, o fenômeno que indica o rompimento de seus grânulos é conhecido como fusão (XIE *et al.*, 2012).

Tabela 1: Temperatura de gelatinização e teores de amilose e amilopectina de amidos tradicionais e de fontes não convencionais.

Fonte Botânica	Teor (%)		Temperatura de gelatinização (°C)	Referências
	amilose	amilopectina		
Milho	24	76	62 – 72	Rengsutthi ; Charoenrein, 2011; Bobbio <i>et al.</i> , 1978.
Batata	28	72	56 – 66	Rengsutthi ; Charoenrein, 2011, Bobbio <i>et al.</i> , 1978.
Mandioca	17	83	58 – 70	Weber <i>et al.</i> , 2009; Bobbio <i>et al.</i> , 1978.
Trigo	26	74	52 – 63	Weber <i>et al.</i> , 2009; Bobbio <i>et al.</i> , 1978.
Jaca	32	68	60 – 76	Rengsutthi ; Charoenrein, 2011; Mukprasirt ; Sajjaanantakul, 2004.
Pupunha	19	81	56 – 68	Valencia <i>et al.</i> , 2014
Lobeira	34	66	61 – 68	Pascoal <i>et al.</i> , 2013
Inhame	27	73	80 – 85	Himeda <i>et al.</i> , 2012
Painço	21	79	69 – 81	Chao <i>et al.</i> , 2014
Tubérculo de lírio	29	71	58 – 67	Correa <i>et al.</i> , 2013
Cevada	25	75	60 – 67	Schirmer <i>et al.</i> , 2013
Mandioquinha-salsa	22	78	57 – 64	Rocha <i>et al.</i> , 2008

Quando as dispersões de amido, após serem gelatinizadas, são resfriadas a temperatura ambiente ou inferiores, há uma reassociação das moléculas podendo haver formação de gel, dependendo da concentração de amido e da velocidade de

resfriamento, sendo que as soluções mais concentradas e resfriadas rapidamente são capazes de formar géis, enquanto as soluções mais diluídas, deixadas em repouso, tendem a precipitar (HIZUKURI *et al.*, 1981). Esses precipitados são formados devido à tendência para formação de ligações intermoleculares da fração linear, o que não acontece tão rapidamente na amilopectina, por causa de suas ramificações, que dificultam essas associações. Este fenômeno é conhecido como retrogradação, processo no qual pode haver liberação de água, conhecido como sinérese (XU *et al.*, 2013; HENRY, 1985).

A retrogradação da amilopectina é considerada por vários autores como um processo lento e contínuo que pode durar vários dias ou semanas e que envolve a cristalização das cadeias laterais, principalmente com grau de polimerização 14-18. Devido às dimensões limitadas das cadeias de amilopectina, a estabilidade desses cristais é menor do que a dos cristais de amilose. Enquanto, a amilopectina recristalizada funde em uma faixa de temperatura de 40 – 100 °C, os cristais de amilose somente o fazem em temperaturas muito mais altas (120 – 170 °C) (KARIM *et al.*, 2000). Em géis ou pasta de amido, a proporção de amilose e a estrutura da amilopectina desempenham um papel significativo na taxa e no grau de retrogradação (GUDMUNDSON, 1994).

O amido, quando retrogradado, é insolúvel em água fria e esse fenômeno é frequentemente encontrado em pastas de amido envelhecidas e/ou congeladas e refrigeradas (ATWELL *et al.*, 1988).

A retrogradação é mais intensa em temperaturas de refrigeração e congelamento (BOBBIO *et al.*, 1978). A susceptibilidade do amido à retrogradação é controlada pela sua estrutura molecular, concentração de amilose presente, tamanho das cadeias de amilopectina, tamanho das moléculas de amilose, temperatura e presença de componentes não amiláceos (SANDHU *et al.*, 2007).

3.1.3 Importância do amido na indústria de alimentos

Nenhum outro ingrediente alimentar se compara ao amido em termos de versatilidade de aplicação. O amido é utilizado em diversos produtos, quer como matéria-prima ou como um aditivo alimentar, podendo desempenhar diferentes papéis em diversos setores industriais. Algumas de suas aplicações na indústria de alimentos são: como ingredientes, espessantes, adesivos, estabilizantes, agentes gelificantes, agentes ligantes e formadores de filmes, absorvedores/retentores de água, fonte de energia em fermentação ou agentes de volume (KIM *et al.*, 2012; ELIASSON; GUDMUNDSSON, 2006; SING *et al.*, 2003). O amido pode ainda ser adicionado como ingrediente funcional em vários produtos como molhos, pudins, doces, pescados e uma variedade de alimentos com pouca gordura (BARBOSA, 2013). Geralmente, em produtos líquidos, o amido é adicionado com a finalidade de aumentar a viscosidade e a estabilidade, e em produtos semi-sólidos, o amido contribui para a estrutura e intensifica a interação de moléculas de gordura e água (SINGH *et al.*, 2006).

As necessidades das indústrias que utilizam amido estão cada vez mais complexas, fazendo com que o setor produtivo esteja sempre em busca de novas tecnologias, bem como de amidos naturais com características físico-químicas diferenciadas. Amidos nativos, que não sofreram modificações de nenhum tipo, apresentam características distintas quanto às propriedades físico-químicas e tecnológicas que devem ser consideradas no momento de determinar sua aplicabilidade em alimentos e outros produtos, e essas propriedades encontram-se influenciadas principalmente pela estrutura granular e molecular dos grânulos de amido (BARBOSA, 2013). Esses amidos isolados de fontes não convencionais poderiam substituir amidos quimicamente modificados ou abrir novos mercados para essas macromoléculas (KIM *et al.*, 1995).

3.1.4 Amidos de fontes não-convencionais

Em busca de produtos mais naturais, diversas fontes de amido estão sendo estudadas para se obter amidos nativos com características específicas, como já ocorre na produção de amido de milho obtido de plantas híbridas (LANDIN, 2011). Na América do Sul, as numerosas fontes de amido ainda são pouco estudadas, e podem apresentar características físico-químicas desejadas e diferenciadas dos amidos comercializados (FONTAN, 2008).

Milho, batata, trigo, arroz, mandioca (tapioca) e sorgo são as principais fontes botânicas para a maioria dos amidos comerciais, no entanto, atualmente, amidos de diversas fontes vegetais vêm sendo caracterizados, como amido de inhame (SIT *et al.*, 2014), painço (CHAO *et al.*, 2014), mandioquinha-salsa (ALBANO *et al.*, 2014; ROCHA *et al.*, 2011), amaranto (SINGH *et al.*, 2014) e pupunha (VALENCIA *et al.*, 2014), dentre outros.

Propriedades morfológicas e térmicas de amidos nativos andinos foram estudadas para avaliar seu potencial como matéria-prima de plásticos biodegradáveis. Os resultados da análise térmica mostraram picos endotérmicos associados à gelatinização para todas as variedades estudadas, na faixa de 54 a 74 °C sugerindo que esses materiais poderiam ser processados como termoplásticos para fabricação de embalagens (TORRES *et al.*, 2011).

As propriedades físico-químicas, térmicas e funcionais do amido de sagu também foram analisadas para verificar sua utilização em indústrias. O teor de amilose encontrado nesse amido foi alto (cerca de 39%), o que promove a formação de matrizes poliméricas fortes e viabiliza seu uso na obtenção de filmes biodegradáveis (ANDRADE-MAHECHA *et al.*, 2012).

Pelissari *et al.* (2012) estudaram as características do amido isolado de banana-da-terra para investigar suas propriedades funcionais, físico-químicas e estruturais e encontraram numerosas possibilidades de aplicação desse como ingrediente em

sistemas alimentícios e outras aplicações industriais. Além disso, o alto conteúdo de amilose encontrado (em torno de 35%) sugere que esse amido possui propriedades apropriadas para ser usado como material de recobrimento em alimentos e/ou filmes biodegradáveis.

Alguns estudos foram realizados para investigar o efeito do teor de amilose nas propriedades funcionais de produtos contendo amido (XIE *et al.*, 2009), e os autores sugeriram que os amidos com maior teor de amilose exibiram maior estrutura e firmeza no preparo de materiais a base de amido, com relação a amidos que apresentam baixos valores de amilose (ANDRADE-MAHECHA *et al.*, 2012; CORREIA *et al.*, 2012; DEAN *et al.*, 2007).

Outra importante fonte não convencional de amido que vem sendo cada vez mais estudada para aplicação em sistemas alimentícios é a semente de jaca (MADRUGA *et al.*, 2014; MADRIGAL-ALDANA *et al.*, 2011; BOBBIO *et al.*, 1978).

3.1.5 Amido de semente de jaca

As jacas (Figura 2) são frutas grandes e pesadas, podendo ter de 2 a 25 kg em seu estágio maduro. A polpa, parte comestível da jaca, é cremosa e viscosa (LANDIM, 2011). É originária da Ásia, sendo sua safra de dezembro a abril, e cerca de 15 - 25% da massa do fruto é representada pelas sementes, que algumas vezes são consumidas assadas ou cozidas, de onde se extrai o amido e se obtém a farinha (MADRIGAL-ALDANA *et al.*, 2011). Uma única árvore pode produzir mais de cem frutos, que alcançam a maturação entre 180 e 200 dias (SEAGRI, 2013). Encontram-se duas variedades consideradas mais comuns de jaca: a dura, cujos frutos são maiores, com gomos mais consistentes; e a mole, cujos frutos são menores, com gomos mais macios e doces (MADRUGA *et al.*, 2014).

A semente de jaca contém uma quantidade de amido consideravelmente alta (~ 24% b.s.), o que a qualifica como uma fonte sustentável de amido para a indústria de

alimentos e farmacêutica (KITIPONGPATANA; KITIPONGPATANA, 2011). No entanto, o teor de amido é bastante variável, considerando que esse valor depende, dentre outros fatores, da composição estrutural das sementes, das condições de crescimento e do clima (TULYATHAN *et al.*, 2002). A quantidade de trabalhos publicados sobre as características do amido de sementes de jaca ainda é relativamente escassa quando comparada à de outros amidos como mandioca e milho. Diferenças entre variedades, teor de amido e algumas propriedades físico-químicas tem sido estudadas (MADRIGAL-ALDANA *et al.*, 2011), e são importantes para que a aplicação desse amido seja possível como ingrediente ou aditivo.

Figura 2: Jaqueira com frutas de diferentes tamanhos (a), casca da jaca (b); interior da jaca madura com a semente (c); polpa comestível (d) e semente (e).

Fonte: BALIGA *et al.* 2011.

Segundo Kittipongpatana; Kittipongpatana (2011), o amido de sementes de jaca possui algumas semelhanças e características únicas quando comparado a outros amidos. O teor de amilose da jaca é muito próximo ao teor de amilose do inhame (~ 29-31%) enquanto sua temperatura de gelatinização foi considerada próxima a do amido de

milho (Tabela 1). O amido de sementes de jaca é resistente a forças mecânicas e ao aquecimento, sugerindo sua aplicação em sistemas que requerem estabilidade térmica e mecânica (RENGSUTTHI; CHAROENREIN, 2011).

Na medicina caseira, a semente da jaca é utilizada para tratar desarranjos intestinais, e sua polpa possui propriedades expectorantes, sendo utilizado no tratamento de tosses (SEAGRI, 2013). A semente da jaca ainda é pouco explorada, sendo necessários mais estudos que a caracterize e avalie sua possível utilização.

3.2 FARINHAS

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 1995) define farinha como o produto obtido de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem ou outros processos tecnológicos adequados de fabricação e beneficiamento, classificando-a em grupo, subgrupo, classe, e tipo, de acordo com o processo tecnológico de fabricação utilizado, sua granulometria, sua coloração e sua qualidade, respectivamente.

Cada vez mais estudos vêm sendo realizados com enfoque na caracterização e perfil dos nutrientes presentes nas sementes dos vegetais para serem utilizados na forma de farinha como fonte alternativa de proteínas. Dessa forma, a utilização de subprodutos da agroindústria na elaboração de farinhas se dá não só por questões econômicas e ambientais, mas também por questões nutricionais e funcionais.

Os grãos e sementes de leguminosas ocupam um lugar importante na nutrição do ser humano, principalmente nos grupos de pessoas de renda inferior. Eles constituem uma fonte importante e barata de proteína, fibra dietética e amido para uma grande parte da população mundial, sobretudo nos países em desenvolvimento (THARANATHAN; MAHADEVAMMA, 2003).

As proteínas são de fundamental importância na alimentação humana, e conferem diferentes funcionalidades e propriedades sensoriais aos alimentos, tais como

viscosidade e formação de gel; e propriedades de superfície, como solubilidade, propriedades espumantes e emulsificantes (DAMODARAM; PARAF, 1997).

A utilização de fontes alternativas de farinhas, com menores custos, é capaz de substituir alimentos proteicos tradicionais, e para isso é importante conhecer as propriedades funcionais das suas proteínas e o seu comportamento em determinado sistema alimentar (SANTOS, 2009). Dentre as sementes com alto teor de proteínas que tem sido alvo de pesquisa destacam-se a lentilha (NEVES; LOURENÇO, 1995); o tremço (LQARI *et al.*, 2002); o amaranto (ABUGOCH *et al.*, 2003); e a semente de jaca (SANTOS, 2009).

A literatura de farinha de semente de jaca ainda é muito escassa, no entanto, sabe-se que além das proteínas, a farinha da semente de jaca pode ser considerada uma excelente fonte alternativa de minerais, vitaminas do complexo B (tiamina) e fibras (CHIOCCHETTI *et al.*, 2013). A farinha obtida das sementes da jaca é também altamente rica em ferro, podendo ser utilizada como ingrediente de multimisturas na alimentação humana, ou ainda como substituta de matérias-primas convencionais para outros produtos, como biscoitos e doces (LANDIN, 2011; SANTOS, 2009).

Atualmente, várias farinhas obtidas de fontes não convencionais vêm sendo estudadas como uma alternativa à farinha convencional, por não conterem glúten e serem ricas em proteínas, fibras e alguns minerais. Estudos sobre as caracterizações físico-química, estruturais e funcionais de farinhas foram realizadas por Valencia *et al.* (2014) para pupunha (*Bactris gasipaes*); Pelissari *et al.* (2012), que trabalharam com banana-da-terra e Andrade-Mahecha *et al.* (2012) que estudaram o biri, dentre outros.

3.3 REOLOGIA

A reologia é o estudo da relação existente entre as forças externas que atuam sobre um corpo e a deformação ou escoamento que elas produzem (STEFFE, 1996). Essa ciência estuda a viscosidade, plasticidade, elasticidade e o escoamento da matéria

e fornece informações sobre a forma como um determinado material reage quando é submetido a um esforço de caráter mecânico (CASTRO *et al.*, 2002). Quando os diferentes materiais são submetidos a determinadas solicitações mecânicas, exibem características que permitem sua classificação como sólidos elásticos, fluidos viscosos ou fluidos viscoelásticos.

Para um sólido elástico, a energia de deformação é armazenada, e quando a força aplicada é removida ele é capaz de recuperar sua forma inicial. Para um fluido viscoso, a energia de deformação é dissipada na forma de calor e não pode ser recuperada se a força for cessada. A magnitude física que representa as forças que causariam o movimento denomina-se tensão, e, nesse caso, o efeito da tensão sobre o material é quantificado pela variável taxa de deformação (RAO, 1999).

Para alguns materiais, como os polímeros, o comportamento frente à aplicação de uma força mecânica é intermediário entre o elástico e o viscoso, e seu comportamento é classificado como viscoelástico. Uma característica importante para materiais viscoelásticos é a dependência com a temperatura, tempo, deformação e a taxa de deformação (GANDUR, 2001).

A determinação das propriedades reológicas de alimentos é importante para o controle de qualidade, desenvolvimento de novos produtos, correlação com a textura do produto e cálculos de engenharia de processos que envolvem projetos de tubulações, bombas, trocadores de calor, viscosímetros e outros equipamentos (STEFFE, 1996).

Os ensaios realizados em cisalhamento estacionário e oscilatório são relevantes para a obtenção de propriedades reológicas de diferentes materiais que também podem ser associados à estrutura e funcionalidade de uma macromolécula ou interações de componentes.

3.3.1 Cisalhamento em estado estacionário

No cisalhamento em estado estacionário, a velocidade não varia com o tempo e as tensões geradas pelo escoamento podem atuar tanto na direção paralela, tensão de cisalhamento, como na direção perpendicular ao cisalhamento, tensão normal (BARNES *et al.*, 1989). Esses ensaios são conduzidos a altas taxas de deformação, sendo, portanto, destrutivos. Os testes em cisalhamento estacionário são utilizados para a determinação da viscosidade aparente e das curvas de escoamento, úteis em cálculos de tubulações, dimensionamento de equipamentos e otimização de processos, bem como na avaliação da influência de diversos fatores tais como temperatura, concentração e presença de partículas em suspensão sobre as propriedades reológicas do material (STEFFE, 1996), e vem sendo vastamente estudados para a caracterização de diferentes amidos (ALBANO *et al.*, 2014; VALENCIA *et al.*, 2014; DOKÍC *et al.*, 2010).

As curvas de escoamento podem ser descritas através de diagramas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, e a viscosidade pode ser definida matematicamente como a derivada dessa curva (BARNES *et al.*, 1989).

A viscosidade mede a resistência do fluido ao escoamento quando uma taxa de deformação é aplicada. Uma classificação geral de diferentes tipos de fluidos é apresentada por Steffe (1996) na Figura 3.

Se a viscosidade, ou seja, a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação é linear, tem-se o comportamento de fluidos Newtonianos, e a viscosidade é dependente apenas da concentração e da temperatura, sendo denominada viscosidade absoluta (μ) (RAO, 1999). A representação matemática do comportamento reológico de fluidos Newtonianos é apresentada na Equação 1.

Figura 3: Esquema de classificação dos fluidos de acordo com seu comportamento reológico.

Fonte: Steffe, 1996 (adaptado).

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

em que: τ -Tensão de cisalhamento (Pa); μ - viscosidade absoluta (Pa.s) e $\dot{\gamma}$ - Taxa de deformação (s^{-1}).

Por outro lado, se a viscosidade tem comportamento não linear, os fluidos são classificados como não Newtonianos e a viscosidade é denominada viscosidade aparente (μ_a) e depende da tensão de cisalhamento (ou da taxa de deformação) aplicada ao fluido (STEFFE, 1996).

As principais causas de comportamento não-Newtoniano em dispersões são as formações de uma estrutura organizada do sistema e a orientação de partículas assimétricas na direção do fluxo provocadas pelo gradiente de velocidade (BARNES *et al.*, 1989). Esses fluidos podem ser classificados em independentes e dependentes do tempo. Os fluidos independentes do tempo podem ser: pseudoplásticos, quando a viscosidade decresce com a taxa de deformação; dilatantes, quando a viscosidade aumenta com a taxa de deformação; plásticos, comportam-se como sólido em condições

estáticas ou de repouso e após a aplicação de certa força começam a fluir; plástico de Bingham tem tensão de cisalhamento inicial e comportamento similar ao newtoniano quando escoar (STEFFE, 1996).

De maneira geral, o modelo Herschel Bulkley (Equação 2) pode ser usado para descrever o comportamento de diversos tipos de fluidos. Os valores típicos dos parâmetros da Equação (2) para os diferentes fluidos, também conhecidos como propriedades reológicas, são apresentados na Tabela 2 (STEFFE, 1996).

$$\tau = \tau_o + k\dot{\gamma}^n \quad (2)$$

em que: τ_o - tensão de cisalhamento inicial (Pa), k - índice de consistência (Pa.sⁿ), n - índice de comportamento de escoamento (adimensional).

Tabela 2: Fluido newtoniano, pseudoplástico, dilatante e plástico de Bingham como casos especiais do modelo de Hershel-Bulkley.

Fluido	k	n	τ_o
Herschel-Bulkley	> 0	$0 < n < \infty$	> 0
Newtoniano	$> 0 (k = \mu)$	1	0
Pseudoplástico	> 0	$0 < n < 1$	0
Dilatante	> 0	$1 < n < \infty$	0
Plástico de Bingham	> 0	1	> 0

Fonte: (STEFFE, 1996).

A tixotropia e a reopexia são efeitos dependentes do tempo. A tixotropia é o fenômeno da diminuição da viscosidade aparente com o tempo de cisalhamento, a uma taxa de deformação constante. A redução da viscosidade com o tempo é também devido à quebra de uma estrutura organizada no fluido. Se um sistema tixotrópico for deixado em repouso durante algum tempo, a viscosidade aparente aumentará devido à formação

de uma estrutura mais organizada das partículas em suspensão que “imobiliza” o líquido do meio. Se, a seguir, o sistema for cisalhado, a uma velocidade constante, a viscosidade aparente decrescerá com o tempo até atingir o equilíbrio entre quebra e reconstrução da estrutura. A reopexia é o fenômeno do aumento da viscosidade aparente com o tempo de cisalhamento, a uma taxa de deformação constante (BARNES *et al.*, 1989).

No caso de materiais viscoelásticos tem-se um comportamento intermediário entre um sólido perfeitamente elástico e um líquido puramente viscoso (SILVA; RAO, 1992). A análise de um material viscoelástico é bastante facilitada quando o mesmo apresenta comportamento linear entre a tensão e a deformação (BARNES *et al.*, 1989). No intervalo linear, trabalha-se com deformações muito pequenas e a estrutura molecular praticamente não é afetada. Neste caso, pode-se dizer que os efeitos elásticos seguem a Lei de Hooke e os efeitos viscosos obedecem à Lei de Newton (BARNES *et al.*, 1989).

3.3.2 Efeito da temperatura sobre a viscosidade

O efeito da temperatura sobre as propriedades reológicas dos materiais é de grande importância, já que são encontrados diversos tipos de processamentos de fluidos, principalmente alimentícios, que utilizam diferentes temperaturas (ALBANO, 2012). Segundo Grigelmo-Miguel *et al.* (1999), de maneira geral, o efeito da temperatura na viscosidade (μ) ou na viscosidade aparente (μ_a) determinada a uma taxa de deformação específica pode ser expressa pela equação de Arrhenius (Equação 3)

$$\mu_a = \mu_{\infty} \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3)$$

em que: μ_a - viscosidade aparente; μ_{∞} - viscosidade à temperatura ambiente; E_a - energia de ativação; R - constante universal dos gases (8,314 J/mol K); T - temperatura absoluta (K).

Da mesma maneira, o efeito da temperatura sobre o índice de consistência (k) do modelo da Lei da Potência de um fluido também pode, muitas vezes, ser descrito pela relação de Arrhenius (Equação 4). Alguns trabalhos encontrados na literatura reportam o efeito da temperatura sobre a viscosidade de diferentes fluidos e avaliam a viscosidade aparente (μ_a) de forma indireta através dos valores do índice de consistência (k) calculado a partir de ajustes das diferentes equações características de modelos reológicos como Lei da Potência e Herschel-Bulkley (ALBANO, 2012; SIMUANG *et al.*, 2004; GRIGELMO-MIGUEL *et al.*, 1999).

$$k = A \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

3.3.3 Cisalhamento oscilatório

Os ensaios oscilatórios, ou testes dinâmicos, são particularmente úteis para caracterizar a conformação macromolecular e interações intermoleculares em dispersões (SILVA; RAO, 1992) e no caso de amidos podem ser úteis na determinação das temperaturas e tempos de gelatinização, bem como no estudo de retrogração (KARIM *et al.*, 2000). Em ensaios dinâmicos ou periódicos, os materiais são submetidos a deformações ou tensões que variam harmonicamente com o tempo, de acordo com uma função senoidal, à uma frequência ω , e a diferença de fase entre a tensão e deformação oscilatórias, bem como a taxa de amplitude são medidas (STEFFE, 1996). A Equação 5 representa a variação da deformação com o tempo para materiais viscoelásticos (RAO, 1999).

$$\gamma(t) = \gamma_o \sin(\omega t) \quad (5)$$

em que: γ_o - a amplitude máxima de deformação; ω - a frequência angular, t - tempo.

Da mesma forma, pode-se definir a tensão correspondente (τ) de acordo com a Equação 6.

$$\tau = \tau_o \text{ sen } (\omega t + \delta) \quad (6)$$

em que: τ_o – é a amplitude máxima da tensão e δ – é o ângulo de fase entre a tensão e a deformação.

A tensão correspondente (τ) pode ainda ser representada pela soma das componentes que estão em fase com a deformação e 90° fora de fase com a deformação (Equação 7).

$$\tau = G'(\omega) \gamma_o \text{ sen } (\omega t) + G''(\omega) \gamma_o \cos (\omega t) \quad (7)$$

em que: τ - tensão produzida; G' - módulo de armazenamento de energia; G'' - módulo de perda de energia.

O módulo de armazenamento (G') expressa a magnitude da energia que é armazenada no material ou recuperada por ciclo de deformação, e o módulo de perda (G'') expressa a perda de energia do material. Os módulos viscoelásticos G' e G'' vem da definição que, no caso de um sólido perfeitamente elástico, toda energia é armazenada, e $G'' = 0$, assim, a tensão e a deformação estão em fase. Para um líquido perfeitamente viscoso, por outro lado, toda energia é dissipada na forma de calor, e $G' = 0$, ou seja, a tensão e a deformação estão fora de fase, com defasagem de 90° (RAO, 1992; STEFFE, 1996). Os materiais reais possuem comportamento intermediário entre o perfeitamente

elástico e o perfeitamente viscoso, sendo denominado viscoelásticos e tendo, portanto, a combinação dos dois módulos (G' e G''), com defasagem entre 0 e 90° (Figura 4).

Figura 4: Resposta da tensão e deformação de um fluido Newtoniano e de um sólido perfeitamente elástico em testes oscilatórios, onde linhas contínuas representam a deformação e linhas pontilhadas representam a tensão. (A) = sólido elástico, (B) = fluido Newtoniano, (C) = material viscoelástico

Fonte: Barbosa (2013).

As derivadas das Equações 6 e 7 são apresentadas a seguir, e definem o comportamento viscoelástico.

$$G' = \left(\frac{\tau_o}{\gamma_o} \right) \cos \delta \quad (8)$$

$$G'' = \left(\frac{\tau_o}{\gamma_o} \right) \sin \delta \quad (9)$$

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (10)$$

em que: $\tan \delta$, tangente do ângulo de defasagem, é a razão entre os módulos G'' e G' .

A partir dos parâmetros G' , G'' e ω , outros parâmetros viscoelásticos importantes podem ser obtidos, como o módulo complexo (G^*) e a viscosidade complexa (η^*).

O módulo complexo (G^*) é definido pela relação entre a amplitude máxima de tensão e amplitude máxima de deformação, e fornece informações sobre as propriedades viscoelásticas de qualquer material através de suas duas componentes (Equação 11).

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

A viscosidade complexa pode ser definida pela Equação 12 e é a relação entre o módulo complexo e a frequência ω .

$$\eta^* = \frac{G^*}{\omega} \quad (12)$$

Esses testes 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. Normalmente as taxas de deformação utilizadas são baixas (STEFFE, 1996).

De acordo com Steffe (1996), nos ensaios de varredura de deformação (ou tensão), os módulos de armazenamento (G') e de dissipação (G'') são medidos em função do aumento da deformação (ou tensão), a uma temperatura e frequência fixas previamente definidas. Esse ensaio é muito utilizado para a obtenção da região de viscoelasticidade linear do material, já que nessa região as propriedades reológicas não dependem da tensão ou da deformação, o que torna muito mais fácil a análise das propriedades do fluido (MITCHELL, 1980).

Nos ensaios de varredura de frequência, ou também chamados espectros mecânicos, a deformação (ou tensão) é mantida fixa, assim como a temperatura, e a frequência varia em uma faixa pré-determinada. Esse teste é utilizado para avaliar a estrutura do sistema e comparar diferentes produtos ou o efeito de diferentes aditivos ou processo de tratamento na viscoelasticidade de alimentos. As respostas desse teste são os módulos elástico (G') e viscoso (G'') em função da frequência.

A análise do ângulo de fase ($\tan \delta$) em função da frequência evidencia o comportamento de soluções diluídas ou concentradas, que pode ser de fluido Newtoniano, solução diluída, solução concentrada, gel ou sólido Hookeano (Figura 5) (STEFFE, 1996). O valor máximo do ângulo de fase corresponde aos fluidos Newtonianos ($\delta = \pi/2$), enquanto que seu valor quando é nulo corresponde a sólidos Hookeanos ($\delta = 0$). Em geral, um material real apresenta respostas entre os extremos elástico e viscoso (STEFFE, 1996).

Nos ensaios de varredura de tempo, fixam-se a temperatura, a frequência e a deformação (ou tensão), e determinam-se os módulos de armazenamento (G') e de perda (G'') em função do tempo, com a finalidade de se estudar a cinética, tempo de cura de um material ou a estabilidade ("equilíbrio") de um material em função do tempo. É adequado também para estudar o desenvolvimento da estrutura física em géis (RAO, 1999).

Figura 5: Variação do ângulo de fase (δ) com a frequência (ω) para materiais típicos.

Fonte: Steffe (1996).

No ensaio oscilatório de varredura de temperatura é possível determinar temperaturas de transições de fase de soluções biopoliméricas, como é o caso de dispersões de amido, que durante os ensaios de rampa de aquecimento, gelatinizam. A temperatura de gelatinização pode ser obtida através da determinação dos módulos viscoelásticos G' e G'' em função de rampas de temperatura, com frequência e deformação constantes.

3.3.4 Comportamento reológico das dispersões de amido

O conhecimento das propriedades reológicas de dispersões de amido em função da concentração, temperatura, taxa de deformação, frequência é essencial para *design* de processos e produtos, compreensão da microestrutura do sistema amiláceo e

também para obter padrões de qualidade em matéria-prima e produtos manufaturados e vem sendo vastamente explorado (Tabela 3).

Tabela 3: Estudos sobre a caracterização reológica de dispersões/géis de amido de diferentes fontes botânicas.

Fonte Botânica	Concentração (g amido/100g solução)	Temperatura (°C)	Testes Realizados	Autores
Mandioquinha-salsa	2, 6 e 10	10, 30, 50 e 70	Curva de fluxo ¹ , varreduras de, frequência ² , temperatura ³ e tempo ⁴	Albano <i>et al.</i> , 2014
Milho (extraído com solução alcalina)	8	20	Curva de fluxo ¹ , varredura de tensão ⁵	Dokic <i>et al.</i> , 2010.
Amaranto	20	50-90; 90-50	Varredura de temperatura ³ .	Singh <i>et al.</i> , 2014.
Pupunha	2 e 20	30 e 25-90; 90-25	Curvas de fluxo ¹ e Varredura de temperatura ³	Valencia <i>et al.</i> , 2014
Castanha portuguesa	10	50-90; 90-10 e 10	Varreduras de temperatura ³ e de frequência ²	Correia <i>et al.</i> , 2012
Inhame	4, 5 e 6	20, 30, 40 e 50	Curvas de fluxo ¹	Nunes <i>et al.</i> , 2010.
Camu-camu	15	35-80; 80-35	Varreduras de temperatura ³ e de frequência ²	Singh <i>et al.</i> , 2007
Mandioca	3	30, 40, 50 e 60	Curva de fluxo ¹	Valencia <i>et al.</i> , 2013

¹Determinação das propriedades reológicas pelo modelo Power Law; ²classificação do comportamento viscoelástico (G', G'' em função da frequência); ³determinação da temperatura de gelatinização; ⁴cinética de gelatinização; ⁵determinação da tensão de cisalhamento inicial.

As características químicas e físico-químicas do amido, tais como, conteúdo de amilose, distribuição de tamanho dos grânulos, forma e fração em volume do grânulo, interação grânulo-grânulo e viscosidade da fase contínua (SINGH *et al.*, 2007, VALENCIA *et al.*, 2013), bem como as variáveis de processos podem influenciar no seu comportamento reológico (SINGH *et al.*, 2007).

De maneira geral, as propriedades reológicas de géis de amido são fortemente influenciadas pelo inchamento dos grânulos e pela gelatinização. Além disso, suspensões de amido gelatinizado podem se comportar como uma dispersão, solução, gel ou pasta, dependendo da temperatura e da concentração de amido (ALBANO *et al.*, 2014).

Correia *et al.* (2012) fizeram análises reológicas oscilatórias de varredura de temperatura e de frequência para a caracterização de géis de amido extraído de castanha portuguesa e encontraram uma temperatura de gelatinização de 61,5 – 63 °C e um comportamento mais elástico do que viscoso, para a concentração de amido de 10% e uma temperatura de 10 °C.

Albano *et al.* (2014) determinaram propriedades de escoamento e viscoelásticas de géis de amido de mandioquinha salsa e obtiveram um caráter pseudoplástico para esses géis, com alta tixotropia. Nos ensaios oscilatórios, encontraram que os sistemas mais concentrados mostraram viscosidades mais altas, porém menor elasticidade.

Teng *et al.* (2013) utilizaram medidas oscilatórias dinâmicas (varredura de deformação e varredura de temperatura) para estudar a estabilidade de diferentes tipos de amido ao ciclo congelamento-descongelamento, e verificaram que os ciclos de congelamento e descongelamento ocasionaram ligeira mudança nos módulos viscoelásticos dos géis de amido de milho, trigo, tapioca e sagu.

Dokic *et al.* 2010 estudaram o comportamento de géis de amido de milho, isolado pelo método alcalino e observaram que as condições de processo (temperatura, concentração e tempo) influenciaram a viscosidade e a tixotropia das amostras, aumentando o índice de comportamento de escoamento (n) (Hershel-Bulkley).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

Foram adquiridos no mercado local (Pirassununga/ SP) 35 jacas maduras de cada variedade (teor de sólidos solúveis: 22 a 25 °Brix) para a produção da farinha e extração do amido de suas sementes. Todos os reagentes utilizados nesse trabalho foram de grau analítico.

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Extração do amido de sementes de jaca

A extração do amido das sementes de jaca foi realizada de acordo com o método descrito por Rocha *et al.* (2008) com algumas modificações (Figura 6). As sementes foram separadas dos frutos e lavadas em água corrente, sendo em seguida descascadas em descascador industrial (DP 10 – Skymssen, Siemens Ltda). Na sequência, as sementes foram trituradas em liquidificador (Skymssen, Siemens Ltda) com solução de metabissulfito de sódio (0,5%) na razão de 1:1. Em seguida, essa suspensão passou por uma série de peneiras de *mesh* 48, 80 e 100 (339, 177 e 149 μ m, respectivamente), para separação das fibras, foi deixada em repouso a temperatura de 4 °C por 24 horas e foi centrifugada a 1700 x g por 15 minutos (THERMO IEC-Centra CP8R). O sobrenadante foi descartado e o material sólido foi lavado três vezes com água destilada e três vezes com álcool etílico 80%. Após as lavagens, o amido foi seco em estufa com circulação de ar (MA 037 – TECNAL) a 30 °C por 24 horas, e triturado em almofariz. A obtenção de amido de sementes de jaca apresentada na Figura 6 também foi realizada substituindo a água destilada por solução alcalina de NaOH nas concentrações de 0,05 M ou 0,1 M.

Figura 6: Fluxograma de obtenção da farinha e extração de amido de sementes de jaca das variedades dura e mole.

Fonte: própria.

O rendimento dos amidos de sementes de jaca após a extração foi calculado de acordo com a Equação 13.

$$\text{Rendimento de amido (\%)} = \frac{m_A}{m_S} \times 100 \quad (13)$$

em que m_A : massa de amido seco após a extração (g) e m_S : massa de sementes de jaca sem casca.

4.2.2 Produção da farinha de semente de jaca

A obtenção da farinha das sementes de jaca (Figura 6) foi realizada de acordo com o método descrito por Landin (2011) com algumas modificações. As sementes foram separadas manualmente dos frutos e lavadas em água corrente, sendo em seguida descascadas em um descascador industrial (DP 10 – Skymssen, Siemsen Ltda), e trituradas em liquidificador (Skymssen, Siemsen Ltda) com solução de metabissulfito de sódio (0,5%) na razão de 1:1. Em seguida, essa solução passou por uma peneira de *mesh* 48 (339 μm) e o material retido foi seco em estufa com circulação de ar (MA 037 – TECNAL) a 40 °C por 24 horas. Após a secagem, a farinha foi triturada em moinho de facas (MA340, Marconi) e passada novamente em peneira de *mesh* 48 para padronização do tamanho. O rendimento da farinha de sementes de jaca após a extração foi calculado de acordo com a Equação 13, substituindo a massa de amido (M_A) por massa de farinha (M_F).

4.2.3 Composição química e teor de amilose

Os lipídios totais, cinzas, umidade, fibra e proteína bruta ($N \times 6,25$) foram determinados de acordo com os métodos oficiais descritos em *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists* (AACC, 1995). O teor de amilose aparente do amido de sementes de jaca foi determinado de acordo com o Método de Morrison e Laignelet (1983), através de reação com iodo. O teor de fósforo foi determinado pelo

método amarelo de vanadato, descrito pela Embrapa (EMBRAPA, 2005). Os resultados foram expressos em g/100 g de amostra seca e realizados em triplicatas.

4.2.4 Determinação dos parâmetros de cor

A análise de cor foi realizada utilizando-se uma célula de quartzo. As amostras em pó foram colocadas na célula e a análise foi realizada em um colorímetro Miniscan XE (HunterLab), segundo Sobral *et al.* (2001). Os parâmetros de cor do padrão CIELab (L^* , a^* , b^*) foram determinados com seis medidas para cada amostra, sendo que L^* representa a luminosidade numa escala de 0 (preta) a 100 (branca); a coordenada de cromaticidade a^* pode assumir valores de verde (–) a vermelho (+) e a coordenada de cromaticidade b^* pode variar de azul (–) a amarelo (+). A diferença total de cor (ΔE^*) foi calculada de acordo com a Equação 14 e o índice de transparência (Whiteness Index – WI) foi calculado de acordo com a Equação 15 (AGUILERA, 1997; GENNADIOS *et al.*, 1996).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (14)$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (15)$$

4.2.5 Microscopia Eletrônica e Varredura (MEV)

As microestruturas do amido e da farinha foram analisadas usando um microscópio eletrônico de varredura (MEV, TM-3000, HITACHI). As amostras foram armazenadas em sílica gel sob vácuo por 12 horas e posteriormente fixadas em um suporte de alumínio com fita de carbono de dupla face. Essas amostras foram examinadas em voltagem de 15 kV, com aumento de 2000 vezes para o amido e 1000 vezes para a farinha.

4.2.6 Distribuição do tamanho de partículas

Os tamanhos das partículas do amido e da farinha foram analisados utilizando um analisador de tamanho de partícula por difração a laser (SALD-201V, Shimadzu). Para todas as amostras foi utilizado etanol como solvente para dispersar o material, com auxílio de um ultrassom (PELISSARI *et al.*, 2012). Essas determinações foram realizadas em triplicata.

4.2.7 Difração de Raios-X (DRX)

As análises de difração de raios-X foram realizadas utilizando-se um difratômetro de Raios-X RU200B (Rigaku Rotaflex), com anodo de Cu, operando com 40 kV e corrente de 15 mA. A análise foi realizada de 2 a 35° em uma velocidade de 2°/minuto. O perfil dos padrões de difração foi obtido utilizando-se o programa *Scion Image software*. Os espectros de raios-X contribuem para a discussão da caracterização estrutural desse material.

O índice de cristalinidade foi determinado com base na metodologia descrita por Nara; Komiya (1983), utilizando-se a Equação 16 para o cálculo da área cristalina (Figura 7) (ROCHA *et al.*, 2008).

$$IC (\%) = \frac{A_c}{A_c + A_a} \times 100 \quad (16)$$

em que: IC = Índice de cristalinidade relativa; A_c = Área da região cristalina; A_a = Área da região amorfa.

Figura 7: Difratoograma de raios-X descritivo do método de índice de cristalinidade relativa adaptado à razão das intensidades difratadas.

Fonte: Rocha *et al.*, 2008.

4.2.8 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

As propriedades térmicas do amido e da farinha foram determinadas usando um calorímetro diferencial de varredura (DSC, TA 2010 Instrument, USA), em triplicata. Cerca de 2 mg de amostra, em base seca, foram colocados, juntamente com água destilada, na proporção de 1:3 (amido: água destilada) em um porta-amostra de alumínio, fechado hermeticamente. A cápsula de alumínio foi mantida a temperatura ambiente por duas horas antes das análises, e foi, em seguida, aquecida a uma taxa de 5 °C/minuto de 25 a 125 °C usando uma cápsula vazia como referência. As transições térmicas dos amidos foram determinadas em termos das temperaturas inicial (T_O) e de pico (T_P). A entalpia associada à gelatinização do amido foi avaliada como a área total do pico da endoterma usando o *software Universal Analysis 2000* (versão 4.2.E, TA Instruments, New Castle, DE, USA).

Após os testes, as amostras de amido foram mantidas na temperatura de 4 °C por um período de 14 dias e foi realizada novamente a análise para verificar a

retrogradação, utilizando os mesmos parâmetros e instrumentos. A porcentagem de retrogradação foi calculada de acordo com a Equação 17 (ROCHA *et al.*, 2002).

$$\% \text{ Retrogradação} = \frac{\Delta H_{\text{ret}}}{\Delta H_{\text{gel}}} \times 100 \quad (17)$$

em que: ΔH_{ret} - variação da entalpia do amido retrogradado; ΔH_{gel} - variação de entalpia na gelatinização do amido

4.2.9 Propriedades de pasta (RVA)

As propriedades de pasta para o amido e para a farinha foram determinadas utilizando-se um *Rapid Visco Analyser* (RVA-S4A, Newport Scientific, Austrália), em triplicata. Para 3 g de cada amostra (umidade ajustada para 14% em base úmida) foram adicionados 25 g de água destilada. A suspensão foi colocada em recipientes de alumínio do equipamento e mantidas por 1 minuto a temperatura de 50 °C. Posteriormente, a suspensão foi aquecida de 50 a 95 °C a uma taxa de 6 °C por minuto, mantida a 95 °C por 5 minutos e resfriada até 50 °C à mesma taxa (6 °C por minuto). A temperatura de pasta, o pico de viscosidade, e outros parâmetros (Figura 8) foram calculados utilizando o *software* do equipamento (*Software thermocline for Windows*, versão 3.0, Newport Scientific Analysis 2).

Figura 8: Curva viscoamilográfica obtida pelo RVA, com identificação dos parâmetros avaliados.

Fonte: Domingues (2002).

4.2.10 Poder de inchamento e índice de solubilidade

O poder de inchamento e o índice de solubilidade para o amido e a farinha obtidos de sementes de jaca foram determinados de acordo com a metodologia proposta por Schoch *et al.* (1964). Em tubos de centrífuga foram colocados 0,5 g de amido ou farinha (base seca) e 20 mL de água destilada. Esse tubo foi pesado e posteriormente, a dispersão foi misturada em um agitador de tubos (AP56 Phoenix) por 30 segundos. Os tubos foram deixados em banho termostático (MA 184 Marconi) nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C por 30 minutos, sendo homogeneizados a cada 10 minutos. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 2600 x g por 15 minutos, o sobrenadante foi removido, colocado em um béquer previamente pesado, e levado para a estufa a 105 °C por 24 horas para se obter a massa do resíduo da evaporação, e os tubos da centrífuga

com o precipitado também foram pesados. O poder de inchamento (PI) e índice de solubilidade (IS) foram calculados através das Equações 18 e 19, respectivamente.

$$PI (g.g^{-1}) = \frac{PRC}{PA-PRC} \quad (18)$$

$$IS (\%) = \frac{PRE}{PA} \cdot 100 \quad (19)$$

em que: PA - massa da amostra, PRC - massa do resíduo da centrífuga, PRE- massa do resíduo da evaporação.

4.2.11 Capacidade de absorção de água e óleo

Na determinação da capacidade de absorção de água pela farinha, uma amostra de 0,5 g da farinha foi homogeneizada em 5 mL de água destilada por 1 minuto em tubo de centrífuga graduado. Após repouso por 30 minutos a temperatura ambiente (25 °C), a amostra foi centrifugada a 1200 x g por 20 minutos (THERMO IEC-Centra CP8R). O sobrenadante foi descartado, o material precipitado foi pesado e a capacidade de absorção de água (CAA), calculada pela Equação 20.

$$(\%) CAA = \frac{PS}{PAS} \times 100 \quad (20)$$

em que: PS é a massa do precipitado (g) e PAS é a massa de amostra seca (g).

A metodologia para a determinação da capacidade de absorção de óleo (CAO) pela farinha é a mesma da CAA (%), com substituição da água destilada por 5 mL de óleo de soja refinado, e o cálculo da CAO (%) também foi feito pela Equação 20.

4.2.12 Análises reológicas das dispersões e/ou géis de amido

Na caracterização reológica de dispersão e géis de amido foi utilizado um reômetro rotacional AR 2000 (TA Instruments, New Castle, EUA) com sistema peltier para controle de temperatura. Foram usadas as geometrias cilindros concêntricos (raio interno = 14 mm; raio externo = 15 mm; altura = 42 mm e Gap de 5920 μm) e cone-placa (60 mm e 4°, Gap de 129 μm) para ensaios em cisalhamento estacionário, dependendo das características da amostra, e nos testes em cisalhamento oscilatórios, apenas a geometria cone-placa foi utilizada. A amostra foi transferida para a geometria do reômetro e permaneceu em repouso por 2 min antes de iniciar as medidas. O ressecamento da amostra nas extremidades da geometria cone-placa foi evitado pela aplicação de óleo de silicone nesse local e também pelo uso do *solvent trap*, acessório do reômetro que promove ambiente saturado ao redor da amostra. Foram realizadas análises de curvas de fluxo e de varreduras de amplitude (ou deformação), de frequência, temperatura e de tempo. Todas as análises foram realizadas no mínimo em triplicatas e para cada repetição utilizou-se uma nova amostra. Os dados foram obtidos diretamente do *software Rheology Advantage Data Analysis V.5.3.1* (AR 2000, TA Instruments, New Castle, DE, USA). Para todos os testes reológicos, as amostras foram analisadas imediatamente após o seu preparo.

4.2.12.1 Preparo das amostras para os ensaios reológicos

Para os ensaios em estado estacionário as amostras foram preparadas pelo aquecimento do amido disperso em água destilada a 90 °C por 30 minutos em banho termostático (MA 184 Marconi) com agitação mecânica e posteriormente foram resfriadas à temperatura ambiente (25 °C). A amostra foi transferida para a geometria do reômetro e a temperatura foi controlada pelo sistema *peltier* (acoplado a geometria do instrumento)

até a temperatura de teste. Esse mesmo procedimento foi realizado para os ensaios em estado oscilatório, para os testes de varredura de deformação e varredura de frequência. Nas análises de varredura de temperatura e de cinética de gelatinização (varredura de tempo), o amido foi adicionado à água destilada e agitado por 30 minutos à temperatura ambiente (25 °C), não sendo previamente gelatinizado, pois para esses testes a gelatinização ocorreu no próprio reômetro.

4.2.12.2 Curvas de Fluxo

As curvas de fluxo foram determinadas em diferentes temperaturas (10, 20, 30 e 40 °C) para as amostras com concentração de 2, 5 e 6% (m/m) de amido. O comportamento reológico dessas amostras foi determinado no intervalo de 0,01 a 100 s⁻¹ em rampas ascendentes e descendentes. Os modelos reológicos (Tabela 2) foram ajustados às curvas de fluxo (tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação) utilizando o *software Rheology Advantage Data Analysis V.5.3.1* (TA Instruments, New Castle, EUA), para a determinação das propriedades reológicas. O efeito da temperatura sobre essas propriedades foi avaliado pela modelo de Arrhenius (item 3.3.2).

4.2.12.3 Ensaios em cisalhamento oscilatório

O intervalo de viscoelasticidade linear (RVL) foi determinado pelo teste de varredura de deformação no modo oscilatório do reômetro a 25 °C. A frequência foi 1 Hz e aumentou se a amplitude de 0,01 a 100%. Essa análise foi realizada, após a gelatinização do amido para as amostras com diferentes concentrações (2, 5 e 6 g de amido/ 100 g de amostra). No intervalo linear, os módulos elástico (G') e de dissipação (G'') são independentes da deformação oscilatória. Selecionou-se um valor dentro desse intervalo para aplicar nos demais testes realizados em cisalhamento oscilatório.

Os ensaios de varredura de frequência foram realizados a temperatura de 25 °C para as amostras com concentrações de 2, 5 e 6 g de amido/ 100 g de amostra. Fixou-se um valor de deformação oscilatória na região de viscoelasticidade linear e foi feito uma rampa ascendente de frequência de 0,01 a 10 Hz. As respostas desse teste foram os módulos viscoelásticos (G' , G''), tangente do ângulo de fase ($\tan \delta = G''/G'$) e viscosidade complexa (η^*).

Nas análises de varredura de temperatura foram realizadas rampas de aquecimento (30 a 90 °C) e de resfriamento (90 a 30 °C), a taxa de 2 °C/minuto, fixados a frequência de 1 Hz e o valor da deformação oscilatória no intervalo de viscoelasticidade linear. A temperatura de gelatinização foi obtida como o pico da primeira derivada da curva de G' em função da temperatura. Esse teste foi feito para as dispersões com concentração de amido de 20% (m/m) e o valor da temperatura de gelatinização foi comparada com o obtido na análise térmica (DSC).

A cinética de gelatinização (varredura de tempo) foi avaliada conforme descrito por Albano (2012) para duas temperaturas (77,5 °C e 80 °C), que foram escolhidas após análises das curvas obtidas por DSC. A frequência de oscilação de 0,1 Hz foi mantida constante ao longo de um período de tempo de 0 a 30 minutos. Essa análise foi feita para as dispersões com 6% de amido (m/m).

4. 2.13 Análises estatísticas

Os resultados obtidos na caracterização do amido (análises de composição química, tamanho médio, propriedades térmicas e de pasta) foram analisados estatisticamente pela ANOVA (análise de variância) e também a diferença entre as médias pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$), utilizando-se o programa SAS (versão 9.2). Os efeitos avaliados foram variedades de jaca e tratamentos utilizados para a extração do amido.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE SEMENTES DE JACA

5.1.1 Composição Química

O rendimento da semente de jaca em amido da variedade mole (ASJM) e da variedade dura (ASJD) foi de $13,7 \pm 2,1$ % para a extração com água, $11,4 \pm 1,9$ % e $12,8 \pm 3,1$ % para as extrações com soluções de NaOH 0,05 M e 0,1 M, respectivamente. Não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os rendimentos da semente de jaca em amido para os métodos de extração diferentes. Comparando-se o rendimento de amido para essa matéria prima com outras fontes, como as tuberosas, batata inglesa (18%), araruta (8-16%), mandioquinha salsa (5-23%) (ROCHA *et al.*, 2008), comumente utilizadas para a obtenção de amido, o resultado obtido indicou o potencial industrial desta semente como fonte de amido. Entretanto, alguns autores encontraram valores superiores de rendimento para o amido de semente de jaca, em torno de 25-40% (BOBBIO *et al.*, 1978); 16,9% (KITIPONGPATANA; KITIPONGPATANA); 18,2% (TONGDANG, 2008).

Os valores da composição química dos amidos de sementes de jaca são apresentados na Tabela 4. A umidade (em torno de 8% para a extração com água e 4% para a extração com agente alcalino) está dentro das especificações de umidade (< 14 %) recomendado para amidos comerciais (BRASIL, 1987). O amido é constituído basicamente de carboidratos, porém existem alguns constituintes que estão presentes em menores quantidades, como proteínas, lipídios e cinzas.

Observou-se na Tabela 4 que os teores de proteínas, lipídeos e amilose diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre as variedades estudadas e também variaram com o método de extração. O ASJD apresentou menor teor de amilose e, de maneira geral, maiores conteúdos de proteínas e lipídeos. O método de extração com solvente

álcali (NaOH) promoveu, como esperado, uma redução acentuada nos teores de proteínas, lipídios e cinzas.

Tabela 4: Composição química (g/ 100 g de amostra seca) dos amidos de sementes de jaca extraídos com diferentes solventes.

Solvente	Amostra	Lipídeos (%)	Proteínas (%)	Cinzas (%)	Amilose (%) ³
Água	ASJM ¹	0,56 ± 0,08 ^{B, a}	1,70 ± 0,05 ^{B, a}	0,20 ± 0,01 ^{A, a}	29,06 ± 0,12 ^{A, b}
	ASJD ²	0,68 ± 0,05 ^{A, a}	2,05 ± 0,08 ^{A, a}	0,18 ± 0,02 ^{A, a}	24,15 ± 0,09 ^{B, b}
NaOH 0,05M	ASJM	0,17 ± 0,05 ^{B, b}	0,89 ± 0,03 ^{A, b}	0,16 ± 0,02 ^{A, b}	29,48 ± 0,08 ^{A, b}
	ASJD	0,31 ± 0,09 ^{A, b}	0,95 ± 0,09 ^{A, b}	0,11 ± 0,03 ^{A, b}	26,11 ± 0,21 ^{B, a}
NaOH 0,1M	ASJM	0,09 ± 0,01 ^{B, c}	0,66 ± 0,12 ^{A, c}	0,05 ± 0,01 ^{A, c}	32,08 ± 0,05 ^{A, a}
	ASJD	0,16 ± 0,02 ^{A, c}	0,51 ± 0,12 ^{A, c}	0,05 ± 0,02 ^{A, c}	26,47 ± 0,04 ^{B, a}

¹ASJM: amido de semente de jaca mole; ²ASJD: amido de semente de jaca dura; ³Médias ± desvio padrão (em base seca). ³ Teor de amilose expresso em: g/100 g de amido.

Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam que existe diferença significativa entre as amostras (p<0,05) para a variedade, considerando o mesmo método de extração. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam que existe diferença significativa entre as amostras (p<0,05) para o método de extração de uma mesma variedade.

Os conteúdos de lipídeo e proteínas encontrados para amido de semente de jaca de ambas as variedades, extraídos com água (Tabela 4) foram ligeiramente superiores aos reportados por Rengsutthi; Charoenrein (2011), para amido nativo de sementes de jaca da Tailândia. Essa diferença pode ser explicada pela diferença no clima, no solo e na variedade dos frutos estudados. Mukprasirt; Sajjaanantakul (2004) encontraram teores de lipídeos e cinzas (0,9 e 0,16%, respectivamente) comparáveis aos valores encontrados no presente trabalho (Tabela 4), porém, o conteúdo de proteína foi inferior (0,81%).

Para outros tipos de amidos nativos de fontes não convencionais, como amido de banana-da-terra, estudado por Pelissari *et al.* (2012), notou-se que os teores de proteínas (0,97%), lipídeos (0,02%) e cinzas (0,03%) foram menores do que os valores apresentados na Tabela 4 para a extração com água, enquanto que para amido de biri,

analisado por Andrade-Mahecha *et al.* (2011), os valores desses componentes foram de aproximadamente 0,6% de proteína; 0,15% de lipídeos e 0,53% de cinzas.

Na extração com NaOH 0,05 M, os teores de amilose aparente foram estimados em 29% e 24% para os amidos de sementes de jaca das variedades mole e dura, respectivamente (Tabela 4). Os ASJM e ASJD apresentaram teor de amilose aparente comparável ao amido de milho e de inhame (24 e 29%, respectivamente) (RENGSUTTHI; CHAROENREIN, 2011), muito utilizados em vários processos e produtos. Para o amido de semente de jaca originário da Tailândia, esse conteúdo foi estimado em 32% (RENGSUTTHI; CHAROENREIN, 2011), superior ao obtido nesse trabalho (Tabela 4). Nos amidos de cevada (SCHIRMER *et al.*, 2013) e painço (CHAO *et al.*, 2014) foram encontrados teores de amilose estimados em 25 e 21% respectivamente.

O aumento no teor de amilose aparente observado para a extração álcali pode ser atribuído à despolimerização da amilopectina, formando cadeias curtas que se assemelhavam à amilose. Esses resultados corroboraram com Kaur *et al.* (2011), que estudaram a influência de tratamentos alcoólicos-alcalinos nas propriedades físico-químicas do amido de sagu.

O teor de fósforo dos amidos não apresentou influência da variedade nem do método de extração, uma vez que todas as amostras apresentaram o mesmo conteúdo desse mineral (~0,05%).

5.1.2 Determinação dos parâmetros de cor

Os valores dos parâmetros a^* e b^* obtidos para os amidos de sementes de jaca, assim como o índice de transparência (WI) estão apresentados no Apêndice A. A luminosidade (L^*) e a diferença total de cor (ΔE^*) dos amidos de sementes de jaca podem ser observados na Tabela 5. A avaliação dos parâmetros de cor do amido de semente de jaca mostrou que não houve influência significativa da variedade da fruta. Por outro lado,

amostras mais claras foram obtidas para a extração alcalina, o que pôde ser observado por um aumento na luminosidade (L^*) e uma redução significativa ($p < 0,05$) da diferença total de cor (ΔE^*). Esse fato pode ser atribuído aos menores conteúdos de lipídeos, proteínas e cinzas nos amidos obtidos por esse método. Valores similares de L^* (~93) foram reportados por Mukprasirt; Sajjaanantakul (2004) para amido de semente de jaca.

Tabela 5: Parâmetro de cor instrumental: luminosidade (L^*) e diferença total de cor (ΔE^*) para os amidos de sementes de jaca extraídos com diferentes solventes.

Solvente	L^*		ΔE^*	
	ASJM ¹	ASJD ²	ASJM	ASJD
Água	92,02 ± 0,12 ^{B, c}	92,41 ± 0,02 ^{A, b}	6,04 ± 0,09 ^{A, a}	6,19 ± 0,05 ^{A, a}
NaOH 0,05 M	93,86 ± 0,02 ^{A, b}	93,90 ± 0,04 ^{A, a}	5,84 ± 0,03 ^{A, a}	5,83 ± 0,01 ^{A, b}
NaOH 0,1 M	94,03 ± 0,03 ^{A, a}	94,05 ± 0,03 ^{A, a}	5,13 ± 0,06 ^{A, b}	5,18 ± 0,07 ^{A, c}

¹ASJM: amido de semente de jaca mole; ²ASJD: amido de semente de jaca dura; Médias seguidas de desvio padrão (n=3).

Letras maiúsculas diferentes na mesma linha, para um mesmo parâmetro, e letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam que existe diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$),

De maneira geral, os valores de L^* e ΔE^* indicaram que os amidos de sementes de jaca apresentaram coloração clara, podendo ser aplicados em produtos alimentícios com coloração uniforme, assim como sorvetes, sucos e doces (PELISSARI *et al.*, 2012).

5.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As micrografias dos amidos de sementes de jaca são apresentadas na Figura 9. Não foi observada diferença na morfologia dos amidos obtidos das duas variedades, porém os materiais extraídos com água apresentaram, de maneira geral, grânulos arredondados, lisos e em forma de sino, enquanto os amidos obtidos com solução de NaOH tiveram o formato do grânulo menos arredondados e mais truncados.

Figura 9: Micrografias de amidos de sementes de jaca das variedades mole (a, b, c) e dura (d, e, f) extraídos com água (a, d), NaOH 0,05 M (b, e) e NaOH 0,1 M (c, f).

Nessa figura, observaram-se algumas partículas pequenas com aparência de grânulos quebrados, que foram inicialmente atribuídas ao processo de extração do amido. Entretanto, partículas semelhantes a estas foram reportadas por outros autores, podendo se tratar de uma particularidade que ocorre no processo de formação do amido na semente da jaca (KITTIPONGPATANA; KITTIPONGPATANA, 2011; OATES; POWELL, 1996).

Os resultados obtidos para os amidos de sementes de jaca estão de acordo com as microestruturas obtidas por Bobbio *et al.* (1978); Tulyathan *et al.* (2002); Tongdang (2008) e Madruga *et al.* (2014). Os grânulos de amido nativo podem ser reconhecidos por seus formatos, tamanhos, posições do hilo e temperatura de gelatinização (BOBBIO *et al.*, 1978; ALBUQUERQUE, 2011).

5.1.4 Distribuição do tamanho de partículas

Os amidos de semente de jaca de ambas as variedades apresentaram distribuição do tamanho de partículas monomodal (Figura 10). Foi possível notar que não houve grande influência da variedade da jaca na distribuição de tamanho dos grânulos de amido, porém, a extração com solvente NaOH reduziu a distribuição dos tamanhos dos grânulos, aumentando a uniformidade da amostra.

Pós muito finos, característicos do amido obtido nesse trabalho, tendem a formar mais aglomerados, dificultando a dispersão e consequentemente a análise do tamanho das partículas, por isso foi necessária a utilização do ultrassom nessa determinação.

Figura 10: Distribuição do tamanho de partículas dos amidos de sementes de jaca das variedades mole (a) e jaca dura (b) para diferentes métodos de extração: Água (----); NaOH 0,05 M (—) e NaOH 0,1 M (— —).

Fonte: Própria.

O intervalo de distribuição do tamanho em função do volume e os diâmetros médios dos grânulos de amido, calculados com base no diâmetro de Brouckère ($D_{4,3}$), estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Distribuição do tamanho e diâmetro médio dos grânulos de amido da semente de jaca das variedades mole e dura em diferentes condições de extração.

Solvente:	Tamanhos médios (μm)		Diâmetro médio (μm)	
	ASJM	ASJD	ASJM	ASJD
Água	7 – 14	7 – 16	$10,5 \pm 0,17^{B, a}$	$11,1 \pm 0,19^{A, a}$
NaOH 0,05 M	4 – 11	4 – 11	$7,11 \pm 0,12^{A, b}$	$7,09 \pm 0,05^{A, b}$
NaOH 0,1 M	4 – 11	4 – 11	$6,42 \pm 0,08^{B, c}$	$6,97 \pm 0,14^{A, b}$

Letras maiúsculas iguais em uma mesma linha indica que não existe diferença significativa entre as variedades ($p < 0,05$) para a mesma extração. Letras minúsculas iguais em uma mesma coluna indica que não existe diferença significativa ($p < 0,05$).

A diminuição na distribuição de tamanho dos amidos extraídos com NaOH pode estar relacionada com a remoção de proteínas que possivelmente estavam aderidas aos grânulos de amido. Além disso, como pôde ser observada na Figura 10, a extração por esse método apresentou grânulos mais dispersos ou com menos aglomerados, reduzindo possíveis erros na medida do tamanho desse material.

Para o amido de semente de jaca, foram encontrados na literatura valores de diâmetro médio em torno de 10 μm (RENGSUTTHI; CHAROENREIN, 2011; MADRUGA *et al.*, 2014) e faixas de distribuição do tamanho de partículas de 7-11 μm (Bobbio *et al.*, 1978) e de 3-18 μm (MUKPRASIRT; SAJJAANANTAKUL, 2004), similares aos reportados na Tabela 6 para a extração com água.

O tamanho das partículas de amido exerce influência nas suas propriedades funcionais, como poder de inchamento e propriedades de pasta, sendo que grânulos menores apresentam maior temperatura de pasta, pois são mais resistentes à quebra e à perda da ordem molecular (DREHER; BERRY, 1983).

5.1.5 Difração de Raios-X

Os amidos de sementes de jaca apresentaram os picos de Bragg mais intensos, posicionados em $2\theta = 15, 17, 18$ e 23° e foram caracterizados com padrão de cristalinidade do tipo A (Figura 11). A cristalinidade tipo A é descrita como uma unidade celular monocíclica altamente condensada e cristalina, onde resíduos de glicose de duas cadeias no sentido anti-horário abrigam quatro moléculas de água entre as duplas hélices (TESTER; KARKALAS, 2004).

Esse comportamento também foi observado por Kittipongpatana; Kittipongpatana (2011) e Rengsutthi; Charoenrein (2011) para amido de semente de jaca. A difração de raios-X para os amidos de sementes de jaca foi realizada para avaliar a presença e as características das estruturas cristalinas dos grânulos.

Figura 11: Difrátogramas de raios-X de amidos de sementes de jaca das variedades mole (a) e dura (b), para diferentes métodos de extração : água e solução NaOH (0,05 M e 0,1 M).

Fonte: Própria.

A difração de raios-X mostra a natureza das estruturas moleculares de duplas hélices regularmente repetidas, mas não detecta irregularidades no empacotamento das estruturas (KARIM *et al.*, 2000).

Na Figura 11, foi notada uma redução do pico de intensidade para os amidos obtidos pela extração alcalina, que pode estar relacionada com o rompimento da lamela cristalina, levando a uma destruição dos cristais do amido (CARDOSO *et al.*, 2006).

Segundo Tester; Karkalas (2004), as duplas hélices dentro das duas formas polimórficas, A e B, são essencialmente idênticas com relação à estrutura helicoidal. Contudo, o empacotamento dessas duplas hélices na cristalinidade do tipo A é mais denso, mostrando uma estrutura mais compacta com baixo teor de água, enquanto para a cristalinidade do tipo B o empacotamento é mais aberto, e a estrutura contém um núcleo helicoidal hidratado, contendo 36 moléculas de água (Figura 12).

Figura 12: Cristalinidade do tipo A e B da amilopectina.

Fonte : Tester ; Karkalas (2004).

Na Tabela 7 são apresentados os índices de cristalinidade dos amidos de sementes de jaca. Os ASJD apresentaram maiores índices de cristalinidade que os ASJM, o que pode estar relacionado com o teor de amilose (Tabela 4), uma vez que esse parâmetro é inversamente relacionado com a cristalinidade. Esta estrutura cristalina depende do tipo e grau de associação intermolecular existente entre os componentes do amido (SINGH *et al.*, 2003). Outro fator que pode influenciar na cristalinidade é o tamanho médio das cadeias de amilopectina.

Tabela 7: Índice de cristalinidade dos amidos de sementes de jaca (ASJM e ASJD) extraídos com diferentes solventes.

Solvente	Cristalinidade (%)	
	ASJM	ASJD
Água	37,02 ± 0,19 ^{B, a}	39,54 ± 0,47 ^{A, a}
NaOH 0,05 M	24,18 ± 0,51 ^{B, b}	16,92 ± 0,83 ^{A, b}
NaOH 0,1 M	17,33 ± 0,62 ^{B, c}	18,40 ± 0,11 ^{A, c}

Letras maiúsculas iguais em uma mesma linha e letras minúsculas iguais em uma mesma coluna indicam que não existem diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as amostras.

Na Tabela 7, observou-se que a concentração do solvente NaOH reduziu significativamente a cristalinidade dos amidos de sementes de jaca, o que pode ser justificado pelo contato do NaOH com os grânulos de amido, que contribuiu para a dissociação das ligações de hidrogênio da amilopectina, que são responsáveis por manter a cristalinidade na lamela, e consequentemente promovem a redução da ordem lamelar (TAKO; HIZUKURI, 2002). Nessa tabela, ainda foi possível observar que o aumento na concentração de NaOH promoveu uma redução na cristalinidade de 36 e 33% para o ASJM e ASJD, respectivamente.

Cardoso *et al.* (2007) estudaram a influência da concentração de agentes alcalinos na gelatinização de amido de arroz, e observaram, também, uma redução do índice de cristalinidade com a adição de NaOH nas concentrações de 0,24 e 0,30%, sugerindo que houve perda na estrutura dos grânulos.

5.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E TÉRMICAS DAS DISPERSÕES DE AMIDO DE SEMENTES DE JACA

5.2.1 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

As curvas de fluxo de calor obtidas das análises de calorimetria diferencial de varredura são apresentadas na Figura 13. Para algumas amostras foi possível observar a presença de um ombro nas curvas de fluxo de calor, o que poderia estar associado à formação de complexo amilose-lipídeo. As temperaturas de transição e entalpias para os processos de gelatinização e retrogradação estão apresentadas na Tabela 8. Foi possível observar que os valores de temperatura de gelatinização foram relativamente altos (70 - 81 °C), quando comparados aos amidos nativos de fontes tradicionais (Tabela 2), podendo ser considerados amidos com alta estabilidade térmica.

Figura 13: Curvas de fluxo de calor obtidas das análises de calorimetria diferencial de varredura (DSC) para os amidos de sementes de jaca das variedades mole (a) e dura (b).

Uma possível explicação para as altas temperaturas de gelatinização do amido de semente de jaca é o padrão de cristalinidade do tipo A, que apresenta empacotamento mais denso das duplas hélices, sendo necessárias maiores temperaturas para o rompimento das mesmas (TESTER; KARKALAS, 2004), bem como o pequeno tamanho desses grânulos. Além disso, a presença de complexos de amilose-lipídio pode aumentar a temperatura de pico (T_p).

Tabela 8: Propriedades térmicas de gelatinização e retrogradação dos ASJM e ASJD, isolados com diferentes solventes.

	Parâmetro	Amostra	Solvente		
			Água	NaOH 0,05 M	NaOH 0,1 M
Gelatinização	T_o (°C)	ASJM	69,76 ± 0,06 ^{B, b}	78,69 ± 0,07 ^{A, a}	71,39 ± 0,14 ^{B, b}
		ASJD	73,76 ± 0,49 ^{A, a}	74,54 ± 0,19 ^{B, a}	73,90 ± 0,45 ^{A, a}
	T_p (°C)	ASJM	74,29 ± 0,09 ^{B, b}	81,02 ± 0,14 ^{A, a}	75,99 ± 0,03 ^{B, b}
		ASJD	78,21 ± 0,26 ^{A, a}	76,88 ± 0,14 ^{B, b}	76,82 ± 0,05 ^{A, b}
	ΔH (J.g ⁻¹) ³	ASJM	14,42 ± 0,25 ^{A, a, b}	12,71 ± 1,81 ^{A, b}	15,37 ± 0,81 ^{A, a}
		ASJD	15,66 ± 3,13 ^{A, a}	14,42 ± 0,62 ^{A, a}	13,23 ± 1,03 ^{B, a}
Retrogradação	T_o (°C)	ASJM	45,81 ± 0,54 ^{A, a}	38,06 ± 7,01 ^{A, a, b}	35,79 ± 0,96 ^{B, b}
		ASJD	41,08 ± 3,26 ^{A, a}	35,36 ± 1,46 ^{A, b}	45,54 ± 2,86 ^{A, a}
	T_p (°C)	ASJM	60,37 ± 2,45 ^{A, a}	52,25 ± 0,16 ^{A, b}	49,18 ± 2,41 ^{B, b}
		ASJD	59,11 ± 6,04 ^{A, a}	51,62 ± 3,87 ^{A, b}	61,15 ± 0,47 ^{A, a}
	ΔH (J.g ⁻¹)	ASJM	5,02 ± 0,10 ^{A, c}	6,65 ± 1,05 ^{A, b}	9,89 ± 0,80 ^{A, a}
		ASJD	5,86 ± 0,26 ^{A, b}	7,46 ± 1,18 ^{A, a}	5,92 ± 0,17 ^{B, b}
	RR (%)	ASJM	34,8	52,3	64,3
		ASJD	37,4	51,7	44,7

¹ Valores apresentados como média ± desvio padrão,

² Letras maiúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e minúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

³ Resultados expressos em J / g de amido (base seca).

T_o = temperatura inicial; T_p = temperatura de pico; ΔH = variação de entalpia, RR retrogradação relativa ($\Delta H_{ret}/\Delta H_{gel}$)*100)

Os valores de temperatura de gelatinização diferiram significativamente em função da variedade. Para as extrações com água e NaOH 0,1 M, os ASJD apresentaram maiores temperaturas de gelatinização do que o ASJM. A diferença na temperatura de

gelatinização do amido das variedades mole e dura pode indicar diferença na perfeição dos cristais de amido, quanto mais perfeitos os cristais, maior a temperatura de gelatinização, e também pode ser influenciada pelo tamanho das cadeias de amilopectina (MUKPRASIRT; SAJJAANANTAKUL, 2004). Madrigal-Aldana *et al.* (2011) obtiveram valores de 72 a 77 °C (T_O e T_P) para o amido de semente de jaca.

Para o ASJM a temperatura de gelatinização foi, de maneira geral, maior para a extração com NaOH. Esse aumento na temperatura de gelatinização pode ser explicado por um rearranjo das cadeias poliméricas em uma conformação mais estável, e também foi observado por Nadiha *et al.* (2010), para amido de sagu, milho e batata, quando tratados com álcali.

Por outro lado, para o ASJD observou-se que não houve diferença significativa na temperatura inicial com relação ao solvente utilizado na extração, diferentemente da temperatura de pico, que diminuiu com a extração com NaOH, que pode ter causado rompimentos na região amorfa, reduzindo a habilidade dos íons OH^- de interagirem com os grupos hidroxila, resultando em temperaturas de gelatinização menores (NADIHA *et al.*, 2010).

A entalpia de gelatinização fornece uma medida global da cristalinidade e é um indicador da perda da ordem molecular, que acontece na gelatinização. A variação na entalpia pode ser atribuída às modificações internas dos grânulos de amido. O solvente alcalino usado na extração do amido pode dissociar ligações de hidrogênio intermoleculares na amilopectina, diminuindo a entalpia de gelatinização do amido (DONALD *et al.*, 2001), no entanto para o amido de semente de jaca não foi verificada variação significativa na entalpia com a extração alcalina.

Na caracterização do amido de semente de jaca, foram encontrados valores de entalpia similares, em torno de 14 kJ/g e ligeiramente inferiores, em torno de 7,5 kJ/g nos trabalhos de desenvolvidos por Madrigal-Aldana *et al.* (2011) e Mukprasirt; Sajjaanantakul (2004), respectivamente. Madruga *et al.* (2014) também verificaram a influência da

variedade da jaca nas temperaturas e entalpias de gelatinização e obtiveram valores inferiores aos encontrados no presente trabalho (Tabela 8).

A tendência à retrogradação do amido de sementes de jaca foi determinada por calorimetria diferencial de varredura, após armazenamento da amostra por 14 dias à temperatura de 4 °C. Existe uma dependência da recristalização do polímero com a sua temperatura de armazenamento, sendo que quanto mais baixa a temperatura de armazenamento, menos perfeito será o cristal formado, resultando em temperaturas de fusão menores (KARIM *et al.*, 2000).

As propriedades térmicas (T_O , T_P e ΔH) de todos os amidos após a retrogradação foram menores quando comparados ao processo de gelatinização (Tabela 8). As temperaturas menores encontradas para os amidos retrogradados sugerem que foi formada uma estrutura com pouca estabilidade, que não necessita de altas temperaturas para a fusão desse material, e ainda, que a retrogradação resultou em forma cristalinas diferentes daquelas presentes no amido nativo (KARIM, *et al.*, 2000). O mesmo comportamento foi reportado por (MADRIGAL-LADANA, 2011) para o amido de semente de jaca. No caso do amido retrogradado, o valor de ΔH fornece uma medida quantitativa da transformação de energia que ocorre durante a fusão da amilopectina recristalizada (KARIM *et al.*, 2000).

A extração com solvente alcalino ocasionou um aumento para os valores de entalpia de retrogradação para uma mesma variedade, o que pode ser atribuído a um rearranjo das moléculas de amilopectina em tamanhos ideais de recristalização, sugerindo a degradação dos grânulos de amido, que ocorreu principalmente nas moléculas de amilopectina.

Na Tabela 8 observou-se que a tendência à retrogradação foi maior para os amidos obtidos pela extração com NaOH. No entanto, não foi possível observar comportamento dependente da concentração de NaOH para o ASJD, por outro lado, para

o ASJM observou-se um aumento na tendência à retrogradação com o aumento da concentração de NaOH.

5.2.2 Propriedades de pasta (RVA)

Os parâmetros obtidos na avaliação das propriedades de pasta dos amidos podem ser observados na Tabela 9. Os perfis obtidos no RVA dos amidos de ambas as variedades de jaca foram similares independentemente do método de extração (Apêndice B). Foi possível observar que, com o aumento da temperatura ocorreu uma mudança na textura do material, a temperatura de gelatinização foi atingida e formou-se uma pasta, cuja viscosidade foi maior, devido ao intumescimento dos grânulos. Segundo Rengsutthi; Charoenrein (2011), a temperatura na qual os grânulos começam a intumescer é denominada temperatura de pasta. Para esses autores, a temperatura de pasta do amido de semente de jaca foi de 81 °C, o que corroborou com a temperatura de pasta obtida para as amostras de ASJD (Tabela 9). Os valores obtidos para essa temperatura por Madruga *et al.* (2014) foram de 83 e 82 °C para os amidos de sementes de jaca mole e dura, respectivamente

A temperatura de pasta está relacionada com a expansão dos grânulos de amido, que ocorre com a ruptura da região cristalina e para os amidos de sementes de jaca, essa temperatura foi maior do que a temperatura de gelatinização avaliada pelo DSC (Tabela 8).

Tabela 9: Propriedades de pasta dos amidos de sementes de jaca (ASJM e ASJD), extraídos com diferentes solventes.

Parâmetro	Amostras	Solvente		
		Água	NaOH 0,05 M	NaOH 0,1 M
T_{pasta} (°C)	ASJM	84,60 ± 0,48 ^{A, a}	77,90 ± 0,35 ^{B, c}	80,05 ± 0,01 ^{A, b}
	ASJD	81,60 ± 1,43 ^{B, a, b}	82,75 ± 0,42 ^{A, a}	80,47 ± 0,03 ^{A, b}
Viscosidade máxima (cP)	ASJM	2666,3 ± 18,6 ^{B, a}	2401,5 ± 5,0 ^{A, b}	2442,0 ± 43,8 ^{A, b}
	ASJD	3373,3 ± 92,1 ^{A, a}	2409,0 ± 32,5 ^{A, b}	2362,0 ± 21,2 ^{A, b}
Viscosidade mínima (cP)	ASJM	1918,7 ± 41,4 ^{B, a}	1583,5 ± 12,0 ^{B, b}	1837,5 ± 102,5 ^{A, a}
	ASJD	2510,7 ± 95,4 ^{A, a}	1723,0 ± 33,9 ^{A, b}	1513,0 ± 39,6 ^{B, c}
Viscosidade final (cP)	ASJM	3517,7 ± 26,3 ^{B, b}	3327,5 ± 9,2 ^{A, c}	3820,0 ± 19,8 ^{A, a}
	ASJD	4412,3 ± 143,2 ^{A, a}	3447,5 ± 64,4 ^{A, b}	3497,5 ± 13,4 ^{A, b}
Breakdown ou quebra (cP)	ASJM	747,7 ± 45,3 ^{A, a}	818,0 ± 17,0 ^{A, a}	604,5 ± 58,7 ^{B, b}
	ASJD	862,7 ± 92,6 ^{A, a}	686,0 ± 1,4 ^{B, b}	850,0 ± 60,8 ^{A, a}
Setback (cP)	ASJM	1599,0 ± 32,6 ^{B, c}	1744,0 ± 21,21 ^{A, b}	1982,5 ± 122,3 ^{A, a}
	ASJD	1901,7 ± 155,2 ^{A, a}	1724,5 ± 30,40 ^{A, b}	1984,5 ± 26,7 ^{A, a}
Tempo de pico (min)	ASJM	4,86 ± 0,07 ^{B, c}	7,27 ± 0,01 ^{A, b}	7,80 ± 0,01 ^{A, a}
	ASJD	5,06 ± 0,07 ^{A, c}	7,83 ± 0,05 ^{A, b}	7,96 ± 0,05 ^{A, a}

¹ Valores apresentados como média ± desvio padrão,

² Letras maiúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e minúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

T_o = temperatura inicial; T_p = temperatura de pico; T_f = temperatura final, ΔH = variação de entalpia, RR retrogradação relativa ((ΔH_{gel}/ΔH_{ret})*100)

Os valores de pico de viscosidade foram influenciados ($p < 0,05$) pela variedade, sendo superiores para os ASJD obtidos pela extração com água, o que sugere menor rigidez desses grânulos. A viscosidade máxima (ou viscosidade de pico) obtida para os amidos de sementes de jaca no presente trabalho foi superior aos resultados obtidos por Madruga *et al.* (2014), que encontraram valores de viscosidade máxima em torno de 2600 cp e 1700 cp para amidos de sementes de jaca dura e mole, respectivamente. Os grânulos de amido com alta viscosidade de pico possuem forças coesivas mais fracas e se desintegram mais facilmente.

O NaOH utilizado na extração do amido de sementes de jaca diminuiu os valores de pico de viscosidade, o que sugere que os grânulos não foram capazes de manter sua estrutura rígida (KARIM *et al.*, 2007). Uma diminuição no pico de viscosidade também foi reportada por Nadiha *et al.* (2010) para amido de sagu obtido com tratamento alcalino em relação ao amido não tratado.

Os valores de *breakdown* foram superiores para o ASJD em relação ao ASJM, quando a extração foi feita com água ou com NaOH 0,1 M. Os amidos extraídos com NaOH 0,1 M apresentaram redução nesses valores, sugerindo um grânulo mais estável, com menor propensão a perder a viscosidade com o cisalhamento, pois apresentaram menor inchamento (MISTRY; ECKHOFF, 1992).

O *setback* obtido nas análises de propriedades de pasta está mais relacionado com a tendência à retrogradação da amilose (KARIM *et al.*, 2000). Os ASJM extraídos com NaOH apresentaram aumento nos valores de *setback*, ou tendência à retrogradação, o que pode estar relacionado com o maior teor de amilose encontrado para esses amidos ou possivelmente com o grau de polimerização (NADIHA *et al.*, 2010; KARIM *et al.*, 2007), e está de acordo com os resultados obtidos pela análise de calorimetria diferencial de varredura (DSC) (Tabela 8). Para o amido de sementes de jaca dura não foi possível definir uma tendência à retrogradação (*setback*) em função do aumento da concentração de NaOH.

5.2.3 Poder de inchamento e índice de solubilidade

O poder de inchamento e o índice de solubilidade dos amidos de sementes de jaca são apresentados nas Figuras 14 e 15, respectivamente. Foi possível observar nessas figuras que quase não houve variação no poder de inchamento e no índice de solubilidade das amostras até a temperatura de 70 °C. A partir dessa temperatura, notou-se um aumento considerável dessas propriedades, o que era esperado, pois os valores de T_0 obtidos por DSC estão na faixa de 70 a 79 °C. O comportamento similar do poder de inchamento e do índice de solubilidade pode estar relacionado com o fato de ambos dependerem do arranjo das moléculas de amilose e amilopectina (BARBOSA, 2013).

Em temperaturas maiores que 70 °C, o ASJD apresentou valores de poder de inchamento e índice de solubilidade maiores do que o ASJM, indicando a influência da variedade nesse parâmetro ($p < 0,05$). O ASJM apresentou maior teor de amilose, e geralmente, esses amidos apresentam-se mais compactos, tornando mais difícil a exsudação dessa amilose dos grânulos inchados, favorecendo a diminuição da solubilidade (PELISSARI *et al.*, 2012; SASAKI, 2000), o que está de acordo com os resultados obtidos (Figura 15).

O poder de inchamento evidencia as ligações dentro dos grânulos. A força e o caráter da rede de micela dentro do grânulo são os maiores fatores responsáveis pelo controle do comportamento do poder de expansão de um amido. Portanto, um amido altamente associado a uma estrutura de micela extensa e fortemente ligada seria relativamente resistente ao inchamento (STONE; LORENZ, 1984).

Figura 14: Poder de inchamento dos amidos de semente de jaca das variedades: (a) mole e (b) dura, extraídos com diferentes solventes: água (■), NaOH 0,05 M (▨) e NaOH 0,1 M (□).

Letras minúsculas iguais para uma mesma temperatura não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 15: Índice de solubilidade dos amidos de semente de jaca das variedades: (a) mole e (b) dura, extraídos com diferentes solventes: água (■), NaOH 0,05 M (▨) e NaOH 0,1 M (□).

Letras minúsculas iguais para uma mesma temperatura não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Albuquerque (2011) observou que o amido de sementes de jaca apresentou um aumento mais acentuado no poder de inchamento e índice de solubilidade a partir da temperatura de 75 °C, o que está de acordo com os resultados apresentados nas Figuras 14 e 15. Por outro lado, Pelissari *et al.* (2012) e Tongdang (2008), observaram um aumento significativo do poder de inchamento e do índice de solubilidade, ocorrido em

torno de 65°C para amido de banana-da-terra e amido de sementes de jaca, respectivamente.

Para o amido de semente de jaca da variedade dura, a extração com NaOH ocasionou, de maneira geral, uma diminuição nos valores de inchamento. Possivelmente os grânulos estavam mais propensos à ruptura e com o aumento da temperatura (80; 90 °C), a região amorfa se rompeu, enfraquecendo a estrutura granular e resultando em valores menores de inchamento.

A 90 °C, os índices de solubilidade foram menores para os amidos extraídos com solução alcalina. Outros fatores que podem influenciar no poder de inchamento e no índice de solubilidade dos amidos são a relação amilose/amilopectina, o tamanho, grau e comprimento de ramificações e a compactação dos grânulos (DENARDIN; SILVA, 2009).

5.3 CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DOS GÉIS/DISPERSÕES DOS AMIDOS

As medidas reológicas para a determinação da curva de escoamento são realizadas para analisar a performance de amidos e/ou produtos elaborados com amido como agentes espessantes e também para conhecer o comportamento reológico e as propriedades reológicas desses sistemas nos projetos de equipamentos, tubulações e/ou durante o processamento. As análises oscilatórias podem ser usadas para entender a estrutura das suspensões e/ou géis de amido em função de diferentes tratamentos.

5.3.1 Estado Estacionário

As amostras com concentrações de 5 e 6% de amido apresentaram comportamento tixotrópico, conforme exemplificado na Figura 16. Esse comportamento deve-se à quebra de estrutura com o tempo de aplicação do cisalhamento, evidenciado

pela diferença existente entre as áreas das curvas de escoamento obtidas em rampa ascendente (rampa 1) e descendente (rampa 2). A maior tixotropia foi das amostras com concentração de 6% (m/m) de ASJD a 10 °C (Apêndice C). De maneira geral, pode se observar que as amostras a 10 °C apresentaram maiores valores de tixotropia que pode ser associado a uma taxa mais rápida de recristalização da amilose.

Naguyen *et al.* (1998) estudaram o comportamento reológico de amidos de milho ceroso e normal, e relataram que a amilose lixiviada forma uma fase contínua em que os grânulos inchados são constituídos principalmente de amilopectina e que com o resfriamento, as moléculas de amilose são induzidas à retrogradação, onde as moléculas se alinham e formam associações por pontes, induzindo a formação de agregados.

O efeito da temperatura no intervalo de 20 a 40 °C sobre a tixotropia das dispersões e/ou géis de amido foi dependente da concentração de amido e do método de extração. Na concentração de 2% (m/m), os valores de tixotropia foram baixos (8 -12 Pa/s) e praticamente se mantiveram constantes com a temperatura, independentemente do método de extração. Para as amostras com 5 e 6 % de amido, foi observada, de maneira geral, uma tendência de redução dos valores de tixotropia com o aumento da temperatura, sendo que o amido obtido pelo método de extração alcalina apresentou maior tixotropia que os amidos extraídos com água. O comportamento reológico das dispersões e/ou géis de amido estão relacionados com a matriz de amilose, o volume dos grânulos remanescentes nos sistemas gelatinizados e também com as suas interações (MORRIS, 1990). O comportamento tixotrópico, geralmente, é apresentado por sistemas heterogêneos que contém uma fase dispersa. Nos sistemas em que as partículas ou moléculas são ligadas entre si por forças fracas, essas ligações podem ser facilmente rompidas quando as forças hidrodinâmicas durante o cisalhamento são altas, resultando na redução do tamanho das unidades estruturais que, por sua vez, oferecem menor resistência ao fluxo durante o cisalhamento (RAO, 1999).

Figura 16 : Curvas de fluxo das rampas de taxa de deformação ascendente (símbolos fechados) e descendente (símbolos abertos) para as amostras de ASJM (esquerda) e ASJD (direita) nas concentrações de 2% (a, b); 5% (c, d); 6% (e, f), respectivamente, para as extrações com água (●) e com NaOH 0,1 M (■), para as temperaturas: 10 °C (preto) e 40 °C (laranja).

Albano (2012), Guerreiro e Florencia (2009) e Tárrega *et al.* (2005) observaram comportamento tixotrópico para géis de amido de mandioquinha salsa (concentração de amido 2 – 10%, m/m), mandioca e amaranto (concentração de amido 5%, m/m) e amidos de milho e mandioca modificados (concentração de amido de 4%, m/m), respectivamente.

O comportamento reopético ou anti-tixotrópico foi observado para géis de amido extraídos com NaOH 0,05 M na concentração de 5%, para as temperaturas de 30 °C, para o ASJM, e 20 °C no ASJD; e na concentração de 6%, para a temperatura de 40 °C, para o ASJM, e uma possível explicação é a formação de estruturas no sistema com o tempo de cisalhamento. Essa reestruturação em géis de amido com o tempo de cisalhamento foi observada por Rao *et al.* (1997) para dispersões de amido de milho ceroso modificado (2,6%) a 20 °C e também por Pereira (2004), para géis de amaranto nas concentrações de 10 e 15% (m/m).

O conhecimento do comportamento reológico de sistemas amiláceos em função do tempo (tixotrópico ou anti-tixotrópico) é importante para a determinação da viscosidade em processos de mistura, escoamento em tubulações, centrífugas, onde a história (ou tempo) do escoamento altera a viscosidade desses produtos.

Os géis com concentração de 6% apresentaram um pico em baixas taxas de deformação (rampa 1, referente ao primeiro ciclo de cisalhamento) denominado *overshoot* (Figura 16). Quando uma taxa de deformação é subitamente imposta a um fluido viscoelástico em repouso, a tensão de cisalhamento antes de atingir o estado estacionário apresenta um pico inicial, que representa o rompimento da estrutura elástica do material viscoelástico (STEFFE, 1996).

As curvas de escoamento descendentes obtidas na caracterização das dispersões e/ou géis de amido em estado estacionário são apresentadas na Figura 17. Para todas as amostras, a tensão de cisalhamento diminuiu com o aumento da temperatura.

Figura 17: Curvas de escoamento descendentes das amostras de ASJM à esquerda e ASJD à direita, nas concentrações de 2% (a, b), 5% (c, d) e 6% (e, f). Símbolos fechados representam a extração com água e símbolos abertos representam a extração com NaOH 0,1 M, para as temperaturas: 10 °C (preto), 20 °C (roxo), 30 °C (azul) e 40 °C (laranja).

Os géis com 5 e 6% (m/m) de amido, extraídos com solução alcalina, apresentaram maiores valores de tensão de cisalhamento, independentemente da variedade de jaca. O aumento nos valores de tensão de cisalhamento sugere que as moléculas de amilopectina podem ter sido quebradas em cadeias menores e, junto com fragmentos de grânulos formaram um emaranhado mais firme. Esse resultado está de acordo com os reportados na determinação de amilose aparente (Tabela 4) e também para a microscopia (Figura 9).

As curvas de viscosidade aparente em função da taxa de deformação são apresentadas na Figura 18. Todas as amostras apresentam comportamento não newtoniano, do tipo pseudoplástico, caracterizado pela redução da viscosidade aparente em função do aumento da taxa de deformação. No entanto, para a concentração de 2% (m/m) de amido (Figuras 18 a; b) a pseudoplasticidade é menor comparada com as outras concentrações. Esse comportamento pode ser explicado pela fração volumétrica de amilose e pelas interações inter e intramoleculares, que não são suficientes para a formação de uma estrutura interna resistente ao cisalhamento. O comportamento reológico de géis de amido depende da concentração da solução, do volume hidrodinâmico efetivo e da rigidez dos grânulos (NAGUYEN *et al.*, 1998).

Guerreiro; Florência (2009) observaram comportamento pseudoplástico para géis de amido de mandioca e de amaranto (5 % de amido). Esse comportamento também foi obtido por Albano *et al.*, (2012), para géis de mandioquinha salsa (2-10% de amido) e Mishra; Rai (2006), para géis de milho, batata e mandioca (5% de amido).

Figura 18: Curvas de viscosidade aparente das amostras de ASJM à esquerda e ASJD à direita, nas concentrações de 2% (a, b), 5% (c, d) e 6% (e, f). Símbolos fechados representam a extração com água e símbolos abertos representam a extração com NaOH 0,1 M, para as temperaturas: 10 °C (preto) e 40 °C (laranja).

A viscosidade aparente aumentou com o aumento da concentração de amido (Figura 18), e pode ser explicada por dois fatores, sendo que o primeiro está relacionado com a redução de solvente para a lubrificação intermolecular, de tal forma que o atrito aumenta e o outro fator, está relacionado à formação de hidratos pelos íons e moléculas, que em altas concentrações, o solvente deixa de ser suficiente para saturar todas as moléculas e as mesmas começam a formar agregados (TELIS-ROMERO, 1992). A formação de agregados é muito maior para a concentração de 6%, quando comparada aos géis de amido de semente de jaca com 5 %.

Bhandari *et al.* (2002) relataram que na presença de cadeias emaranhadas, a viscosidade permanece constante, ou pode diminuir levemente a baixas taxas de deformação. A medida que a taxa de deformação aumenta progressivamente, o arranjo (ou emaranhado) das moléculas começa a se desfazer e a resistência intermolecular ao escoamento diminui, isto é, o tempo necessário para as associações entre as cadeias para a formação do emaranhado é maior que a taxa de rompimentos dos embaraços existentes. Por outro lado, moléculas altamente solvatadas ou partículas presentes na dispersão podem ser progressivamente deformadas com o aumento da taxa de deformação causando uma redução no efetivo tamanho das partículas e, conseqüentemente, uma redução da viscosidade aparente.

Nas Figuras 16, 17 e 18 as curvas referentes à extração do amido com solvente NaOH 0,05 M não foram apresentadas, pois apresentam a mesma tendência para os amidos extraídos com NaOH NaOH 0,1 M.

No ajuste do modelo matemático aos dados experimentais, foi selecionada a curva descendente de escoamento. O modelo Lei da Potência foi ajustado aos pontos experimentais para as amostras com 2% e 5% de amido de sementes de jaca, com exceção dos géis com 5% de ASJM, que foram obtidos pela extração alcalina, para essas amostras e para os géis com concentração de 6% o modelo Hershel-Bulkley foi considerado o melhor ajuste. O coeficiente de correlação (R^2) ficou acima de 0,99 para

todas as amostras, indicando que os modelos usados foram representativos do comportamento reológico dessas dispersões. Os parâmetros reológicos estimados pelos modelos Lei da Potência e Hershel-Bulkley para o ASJM e ASJD são apresentados nas Tabelas 10 e 11, respectivamente.

Nas amostras com 5 e 6% de amido, os valores de índice de comportamento de escoamento (n) apresentaram pequenas oscilações de valores (Tabelas 10 e 11), independente do método de extração, variedade da semente, concentração ou temperatura. Para essas amostras, pode se observar ainda que os índices de consistências (k) foram maiores para as amostras preparadas com os amidos extraídos com solução alcalina, o que pode estar relacionado com resíduos de sódio, que contribuem para o aumento da viscosidade e consequentemente, do índice de consistência. O índice k aumentou com o aumento da concentração e não foi possível observar uma tendência de comportamento nos valores desse parâmetro com o aumento da concentração da solução alcalina usada na extração (Tabelas 10 e 11).

O efeito da temperatura sobre as propriedades reológicas também foi avaliado, usando-se os valores de viscosidade aparente na taxa de deformação de 100 s^{-1} . A temperatura é muito importante na formação e no rompimento de ligações cruzadas, ligações de hidrogênio ou interações eletrostáticas, que podem estar presentes em géis biopoliméricos. Essas interações podem ser responsáveis pelas zonas de junções na rede formada pelo polímero, e com o aumento da temperatura pode ocorrer desestabilização dessas regiões e consequentemente, observa-se a redução da viscosidade com o aumento da temperatura, que também contribui para um maior aumento da mobilidade do polímero.

Tabela 10: Efeito da temperatura e do método de extração nos parâmetros reológicos do modelo Lei da Potência ou Hershel – Bulkley: Tensão inicial (σ_0), índice de consistência (k), índice de comportamento de escoamento (n) e seus coeficientes de determinação (R^2) para as amostras de ASJM.

Concentração	T (°C)	Extração	σ_0 (Pa)	K (mPa.s ⁿ)	n	R ²
2%	10	Água	-	31,01	0,72	0,9946
		NaOH 0,05 M	-	14,92	0,85	0,9932
		NaOH 0,1 M	-	8,62	0,99	0,9983
	20	Água	-	11,11	0,87	0,9957
		NaOH 0,05 M	-	4,96	0,97	0,9951
		NaOH 0,1 M	-	6,25	0,98	0,9998
	30	Água	-	6,91	0,93	0,9979
		NaOH 0,05 M	-	5,84	0,98	0,9992
		NaOH 0,1 M	-	5,35	0,94	0,9975
	40	Água	-	4,66	0,94	0,9991
		NaOH 0,05 M	-	5,62	0,95	0,9981
		NaOH 0,1 M	-	3,77	0,95	0,9978
5%	10	Água	-	139,12	0,51	0,9982
		NaOH 0,05 M	2,05	2447,36	0,54	0,9969
		NaOH 0,1 M	1,89	2565,21	0,53	0,9973
	20	Água	-	675,00	0,74	0,9968
		NaOH 0,05 M	1,4	2870,90	0,49	0,9994
		NaOH 0,1 M	1,44	2843,61	0,49	0,9995
	30	Água	-	729,87	0,57	0,9978
		NaOH 0,05 M	1,26	2445,6	0,49	0,9996
		NaOH 0,1 M	1,26	2445,6	0,49	0,9997
	40	Água	-	696,55	0,58	0,9984
		NaOH 0,05 M	1,33	2131,66	0,50	0,9994
		NaOH 0,1 M	1,33	2121,66	0,50	0,9994
6%	10	Água	1,5	2964,44	0,49	0,9992
		NaOH 0,05 M	4,72	3512,37	0,62	0,9964
		NaOH 0,1 M	2,16	3706,96	0,63	0,9901
	20	Água	1,24	2564,75	0,51	0,9994
		NaOH 0,05 M	2,24	3713,06	0,48	0,9994
		NaOH 0,1 M	1,74	5589,31	0,5	0,9967
	30	Água	1,17	2361,71	0,5	0,9996
		NaOH 0,05 M	3,31	3804,04	0,52	0,9997
		NaOH 0,1 M	1,41	4730,73	0,48	0,9989
	40	Água	1,34	2127,10	0,5	0,9997
		NaOH 0,05 M	2,97	3513,56	0,5	0,9997
		NaOH 0,1 M	1,37	4675,18	0,47	0,9994

Tabela 11: Efeito da temperatura e do método de extração nos parâmetros reológicos do modelo Lei da Potência ou Hershel – Bulkley: Tensão inicial (σ_0), índice de consistência (k), índice de comportamento de escoamento (n) e seus coeficientes de determinação (R^2) para as amostras de ASJD.

Concentração	T (°C)	Extração	σ_0 (Pa)	K (mPa.s ⁿ)	n	R ²
2%	10	Água	-	45,10	0,70	0,9962
		NaOH 0,05 M	-	18,17	0,86	0,9969
		NaOH 0,1 M	-	13,13	0,92	0,9984
	20	Água	-	8,09	0,94	0,9976
		NaOH 0,05 M	-	9,96	0,93	0,9989
		NaOH 0,1 M	-	7,33	0,99	0,9989
	30	Água	-	9,34	0,93	0,9984
		NaOH 0,05 M	-	6,02	0,94	0,9971
		NaOH 0,1 M	-	5,77	0,98	0,9996
	40	Água	-	6,31	0,91	0,9969
		NaOH 0,05 M	-	6,32	0,92	0,9984
		NaOH 0,1 M	-	3,66	0,93	0,9952
5%	10	Água	-	1932,08	0,46	0,9984
		NaOH 0,05 M	-	1404,49	0,51	0,9983
		NaOH 0,1 M	-	2918,72	0,52	0,9957
	20	Água	-	1654,15	0,47	0,9993
		NaOH 0,05 M	-	957,32	0,57	0,9957
		NaOH 0,1 M	-	2801,96	0,49	0,9991
	30	Água	-	1517,69	0,47	0,9985
		NaOH 0,05 M	-	777,47	0,56	0,9989
		NaOH 0,1 M	-	2379,05	0,51	0,9997
	40	Água	-	1415,34	0,46	0,9968
		NaOH 0,05 M	-	720,51	0,57	0,9982
		NaOH 0,1 M	-	2093,67	0,49	0,9998
6%	10	Água	2,76	2852,82	0,62	0,9964
		NaOH 0,05 M	2,37	6766,65	0,47	0,9938
		NaOH 0,1 M	3,66	5567,28	0,60	0,9942
	20	Água	3,48	4512,45	0,49	0,9979
		NaOH 0,05 M	1,26	5668,29	0,49	0,9988
		NaOH 0,1 M	2,86	6395,79	0,49	0,9927
	30	Água	2,22	3455,87	0,49	0,9996
		NaOH 0,05 M	1,87	4876,79	0,45	0,9996
		NaOH 0,1 M	1,41	5244,71	0,49	0,9983
	40	Água	1,92	2779,08	0,50	0,9998
		NaOH 0,05 M	1,53	4167,10	0,46	0,9999
		NaOH 0,1 M	1,98	4735,54	0,47	0,9992

O modelo de Arrhenius foi aplicado para descrever a influência da temperatura na viscosidade aparente (100 s^{-1}) do gel de amido de semente de jaca em diferentes concentrações e apresentou bom ajuste aos pontos experimentais ($R^2 \sim 0,99$). Os valores de energia de ativação, que indicam a influência da temperatura na viscosidade aparente são apresentados na Figura 19. Observou-se que a energia de ativação é menor em maiores concentrações de amido e o efeito da temperatura (10 a 40 °C) foi maior para as dispersões com a concentração de 2% em comparação as amostras com 5 e 6% de amido. Coutinho e Cabello (2005) também observaram uma diminuição na energia de ativação com o aumento da concentração de fécula de mandioca.

Figura 19: Energia de ativação do amido de semente de jaca das variedades mole (■), e dura (▨) e dura extraídos com diferentes solventes: Água (a); NaOH 0,05 M (b) e NaOH 0,1 M (c).

Fonte: Própria

A energia de ativação no escoamento de dispersões e/ou géis biopoliméricos pode ser um indicativo de barreira de energia entre os estados macromoleculares desagregados e agregados. Sob condições térmicas que favorecem agregações intermoleculares, como caso dos géis de amido de semente de jaca nas concentrações de 5 e 6% extraídos com água, o processo de desenvolvimento da estrutura é energeticamente mais fácil, e a energia de ativação foi menor. Menores valores de energia de ativação também foram obtidos no estudo feito por Lopes da Silva *et al.* (1995), para sistemas pectina de alto teor de metoxilação/sacarose, quando o desenvolvimento da estrutura foi energeticamente mais fácil (temperatura de 50 °C). Nos géis de biopolímeros a base de proteínas e/ou polissacarídeos, as energias de ativação podem variar de 10 a 273 kJ/mol (RAO, 1999). Observando as energias de ativação obtidas no trabalho (8 - 28 kJ/mol), concluiu-se que para os géis de amido de semente de jaca, as zonas de interações (ligações de hidrogênio, interações eletrostáticas, ligações cruzadas) que estabilizam o gel tratam-se de zonas de junção de baixa energia.

5.3.2 Estado Oscilatório

5.3.2.1 Varredura de deformação

Na caracterização do comportamento reológico das dispersões de amido de sementes de jaca, em cisalhamento oscilatório, foram avaliados os efeitos da variedade, do método de extração e da concentração do amido sobre o comportamento viscoelásticos das amostras preparadas de acordo com o item 4.2.12.1

O intervalo de viscoelasticidade linear para as dispersões de amido (Figura 20) foi obtido através de testes de varredura de deformação.

Figura 20: Módulo de armazenamento (G') em função da deformação para amido de semente de jaca obtido pela extração com água (a, b); NaOH 0,05 M (c, d) ou NaOH 0,1 M (e, f) para as variedades mole (gráficos à esquerda) e dura (gráficos à direita), nas concentrações de 2% (Δ), 5% ($\circ$) e 6% ($\square$).

Na região de viscoelasticidade linear (RVL), observa-se que os valores de G' são constantes em função da deformação e depois diminuem, indicando o final dessa região, onde possivelmente ocorre quebra de ligações intermoleculares.

Na Figura 20, observou-se que a região de viscoelasticidade linear (RVL) foi obtida para valores de deformação menores que 10% para todas as amostras. O aumento da concentração de amido ocasionou um aumento no módulo G' para os géis de amido estudados. As varreduras de deformação têm sido muito utilizadas, pois além de estabelecer parâmetros do intervalo viscoelástico linear, auxilia na diferenciação de géis fracos e fortes, uma vez que géis fortes podem permanecer na região de viscoelasticidade linear em deformações superiores a géis fracos (STEFFE, 1996).

Nos demais testes realizados em cisalhamento oscilatório, como a varredura de frequência, foi fixado o valor de 7% de deformação, valor este que estava dentro da RVL e onde as perturbações foram consideradas desprezíveis.

5.3.2.2 Varredura de frequência

Exemplos do comportamento dos módulos viscoelásticos (G' , G'') em função da frequência para os géis de amidos de sementes de jaca são apresentadas na Figura 21. Nessa figura observou-se que para as amostras com concentrações de 5 e 6% de amido, o módulo de armazenamento (G') foi sempre superior ao módulo de perda (G''), sendo que G' apresentou uma ligeira dependência com a frequência, enquanto que para G'' , essa dependência foi mais pronunciada, o que caracteriza o comportamento de um material classificado como gel fraco.

Figura 21: Módulo de armazenamento, G' (símbolos fechados) e módulo de perda, G'' (símbolos abertos) em função da frequência para amido de semente de jaca das variedades: mole (a, c, e) e dura (b, d, f), extraídos com diferentes solventes: água (a, b); NaOH 0,05 M (c, d) e NaOH 0,1 M (e, f), para as concentrações: 2% (Δ), 5% ($\circ$) e 6% ($\square$).

Nas dispersões de amido com concentração de 2%, o comportamento do sistema foi influenciado pela variedade e também pelo solvente usado na extração do

amido, sendo que para o ASJM isolado com água, o módulo G'' foi superior ao módulo G' , indicando tratar-se de uma dispersão viscosa, com estrutura fraca, enquanto as outras amostras nessa mesma concentração apresentaram comportamento de gel fraco com características viscoelásticas diferentes.

De acordo com Steffe (1996), géis físicos ou fracos são dependentes da frequência, e não apresentam *crossing-over*, ou seja, cruzamento dos módulos viscoelásticos, enquanto os géis verdadeiros ou elásticos apresentam módulo de armazenamento (G') constante em função da frequência. Géis fracos possuem tendência a fluir quando submetidos às altas tensões de cisalhamento. Por outro lado, para um gel verdadeiro, o módulo de armazenamento não varia com a frequência, e esses géis possuem tendência à quebra quando submetidos às mesmas condições (FERREIRA, 2008).

O comportamento elástico para as dispersões de amido com concentrações de 5 e 6% pode ser atribuído às associações intermoleculares das cadeias de amilose que saíram dos grânulos (KIM; YOO, 2009), o aumento da concentração de amido ocasionou um aumento nos módulos G' e G'' , ou menores valores de $\tan\delta$ (Apêndice D), indicando propriedades viscoelásticas mais fortes devido ao aumento da concentração de amilose (XIU *et al.*, 2011). Esses resultados estão de acordo com alguns resultados encontrados para dispersões de amido de outras fontes, como amido de castanha nas concentrações de 4, 5, 6 e 7% (MOREIRA *et al.*, 2012) e amido de mandioquinha salsa nas concentrações de 2, 6 e 10% (ALBANO, 2012).

Para a concentração de 6% de amido foi obtido um comportamento de gel mais elástico, pois o módulo de armazenamento (G') foi aproximadamente constante ao longo da faixa de frequência estudada, podendo ser considerado um gel mais estruturado e com maior resistência em comparação às outras amostras.

Segundo, Sarbon *et al.* (2015), a força do gel pode ser obtida estudando-se a dependência de G' com a frequência. No caso de uma rede emaranhada, é possível

observar que G' depende da frequência, e no caso de ligações covalentes que originam géis fortes, a evolução de G' independe da frequência.

5.3.2.3 Varredura de temperatura

Exemplos de curvas obtidas no teste de varredura de temperatura podem ser observados na Figura 22. O comportamento viscoelástico foi similar para todas as amostras, independente da variedade e/ou método de extração utilizado.

Para as dispersões dos amidos de sementes de jaca extraídos com água e NaOH 0,05 M, foi possível observar que os módulos de viscoelasticidade aumentaram progressivamente em função do aquecimento, sendo atribuído à lixiviação da amilose do grânulo para a fase contínua. Após a temperatura de 70 °C, os módulos viscoelásticos (G' e G'') aumentaram drasticamente até atingir um ponto máximo ($T_{G'máx.}$), ocorrendo, em seguida, estabilização desses módulos (Figuras 22a e 22b). Todas as amostras apresentaram comportamento semi-sólido, com valores de G' superiores a G'' tanto no aquecimento, após a temperatura de 80 °C, quanto no resfriamento. De maneira geral, o módulo de armazenamento (G') aumentou durante o ciclo de resfriamento dos géis de amido gelatinizado (Figuras 22c e 22d).

Um aumento nos módulos viscoelásticos também foi verificado durante o ciclo de resfriamento de ensaios reológicos de varredura de temperatura para amido de maranta (VALENCIA *et al.*, 2015) e amido de pupunha (VALENCIA *et al.*, 2014) e foi atribuído à formação de uma estrutura de gel rígido, o que está de acordo com a retrogradação desses amidos.

Comportamento similar foi reportado por Singh *et al.* (2007), para amido de camu-camu. No entanto, esses autores constataram que após atingir a $T_{G'máx.}$ houve diminuição dos módulos viscoelásticos com o aumento da temperatura, que indicou

que o aquecimento prolongado destruiu a estrutura gel desse material (HSU *et al.*, 2000), efeito não observado para os amidos de sementes de jaca.

Figura 22: Módulo de armazenamento, G' (símbolos fechados) e módulo de perda, G'' (símbolos abertos) em função da temperatura para géis de amido de semente de jaca das variedades: mole (a, c) e dura (b, d), isolados com: ■ água, ● NaOH 0,05 M e ▲ NaOH 0,1 M. Rampas de aquecimento (a, b) e resfriamento (c, d).

A gelatinização do amido induz ao aumento da elasticidade do sistema em consequência das alterações estruturais. Dependendo do tipo e da concentração de

amido, a estrutura final pode ser a de uma solução viscosa ou de um gel (MATSUGUMA *et al.*, 2009).

As temperaturas obtidas no ponto máximo da primeira derivada de G' ($T_{\text{derivada } G'}$) e para o valor máximo de G' ($T_{G' \text{ máx.}}$) (Tabela 12) foram próximas às temperaturas inicial (T_O) e de pico (T_P), respectivamente, obtidas por DSC na caracterização térmica dos amidos, sugerindo boa correlação entre os métodos na determinação da temperatura de gelatinização.

Tabela 12: Temperaturas obtidas nas análises reológicas ($T_{G' \text{ máx.}}$) e $T_{\text{derivada } G'}$ para o amido de sementes de jaca extraídos com diferentes solventes.

Solvente:	Amostra:	$T_{G' \text{ máx}}$	$T_{\text{derivada } G'}$
Água	ASJM	$75,8 \pm 0,02^{B, c}$	$70,1 \pm 0,05^{B, b}$
	ASJD	$79,6 \pm 0,04^{A, a}$	$76,4 \pm 0,03^{A, a}$
NaOH 0,05 M	ASJM	$85,8 \pm 0,01^{A, a}$	$76,5 \pm 0,00^{A, a}$
	ASJD	$73,5 \pm 0,01^{B, b}$	$72,8 \pm 0,02^{B, c}$
NaOH 0,1 M	ASJM	$77,9 \pm 0,04^{B, b}$	$70,8 \pm 0,01^{B, b}$
	ASJD	$79,8 \pm 0,00^{A, a}$	$74,9 \pm 0,01^{A, b}$

Médias seguidas de desvio padrão, base seca (n=3).

Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre as médias ($p < 0,05$), para um mesmo solvente. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$) para as variedades.

5.3.2.4 Cinética de gelatinização

Foram realizadas varreduras de tempo para verificar se a temperatura ou o tempo predomina no processo de gelatinização dos amidos de sementes de jaca (Figuras 23 e 24). As temperaturas desse teste foram escolhidas com base nos resultados de temperatura de gelatinização obtidos na calorimetria diferencial de varredura (DSC). Em testes preliminares, notou-se que não foi possível observar a

cinética de gelatinização para as amostras de ASJM para a temperatura de 75 °C em 60 minutos de experimento. Foram selecionadas as temperaturas de 77,5 e 80 °C, para verificar o comportamento dos módulos viscoelásticos (G' e G'') por um período de 30 minutos.

Figura 23: Cinética de gelatinização a 77,5°C na concentração de 6% de amido de semente de jaca mole (●) e dura (■). Símbolos fechados representam G' e símbolos abertos representam G'' para os solventes: a) água; b) NaOH 0,05 M e c) NaOH 0,1 M.

Figura 24: Cinética de gelatinização a 80°C na concentração de 6% de amido de semente de jaca mole (●) e dura (■). Símbolos fechados representam G' e símbolos abertos representam G'' para os solventes: a) água; b) NaOH 0,05 M e c) NaOH 0,1 M.

Nas varreduras de tempo, observou-se que o módulo G' teve um aumento inicial rápido, seguido por uma fase de menor desenvolvimento de G' para todas as amostras, com exceção das amostras preparadas com ASJD na temperatura de 77,5 °C (Figura 23), independente do método de extração.

O ASJD apresentou maior temperatura de gelatinização (Tabela 8) com relação à variedade mole, e na temperatura de 77,5 °C não foi possível observar comportamento viscoelástico para essas amostras, uma vez que os valores de G' foram muito baixos, e próximos de G'' . No aquecimento isotérmico a 80 °C, os

módulos de armazenamento (G') obtidos superiores a 10 Pa e o distanciamento entre os valores de G' e G'' , sugeriram que houve gelatinização nesse tempo para os amidos de sementes de jaca dura (Figura 24).

Através dos ensaios de varredura de tempo, foi possível notar que o aumento da temperatura ocasionou uma redução no tempo de gelatinização. A magnitude do módulo de armazenamento (G') das dispersões/géis de amido depende não somente da densidade de ligações cruzadas na fase contínua, mas também da rigidez, distribuição espacial e contato efetivo entre os grânulos (BILIADERIS; TONOGAI, 1991).

Com a ruptura da região cristalina, e expansão dos grânulos de amido é formada uma pasta. Nas duas temperaturas testadas, os módulos viscoelásticos (G' e G'') apresentaram um aumento com o tempo, sugerindo que o tempo em que essa pasta ficou submetida a uma determinada temperatura influenciou positivamente na qualidade do gel (ALBANO, 2012). Os tempos de gelatinização para uma temperatura constante foram influenciados pelo método de extração e também pela variedade do fruto. Para o ASJD, na temperatura de 80 °C foram necessários tempos superiores a 500 s para se obter um patamar, sugerindo que quanto maior o tempo, mais grânulos gelatinizaram, aumentando a elasticidade do gel, enquanto esse comportamento não foi observado para a temperatura de 77,5 °C. Os ASJM apresentaram, em poucos segundos, valores constantes de G' para o intervalo de 30 minutos.

Teyssandier *et. al* (2011) avaliaram a transição sol-gel através do amido de trigo através de experimentos de varredura de tempo, variando temperaturas de 60 a 90 °C e observaram que a tendência das curvas de G' e G'' foram semelhantes para todas as temperaturas. No entanto, constataram que o processo de gelificação a 60 °C para atingir a região de planalto dos módulos leva em torno de 16 minutos enquanto que a 90 °C são necessários apenas 30 segundos.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE SEMENTES DE JACA

5.4.1 Composição química e análise de minerais

O rendimento obtido para a farinha de semente de jaca mole (FSJM) e farinha de semente de jaca dura (FSJD) foi de $86,17 \pm 5,4\%$ e $84,08 \pm 10,14\%$, respectivamente, e a composição química da farinha de semente de jaca pode ser observada na Tabela 13. As umidades foram em torno de $5,09 \pm 0,16\%$ e $4,43 \pm 0,22\%$ para FSJM e FSJD, respectivamente. A farinha de sementes de jaca tem alto teor de proteínas (13 – 16%), e de fibras. Segundo a Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 1998), estabelece-se, no regulamento técnico referente à informação nutricional complementar, que um alimento pode ser considerado fonte de fibra alimentar quando no produto final existir 3 g de fibras 100 g de produto ou por porção, para alimentos sólidos.

Tabela 13: Composição química da FSJM e FSJD (g/ 100 g matéria seca).

Amostra	Lipídeos (%)	Proteínas (%)	Cinzas (%)	Fibra bruta (%)
FSJM	$1,22 \pm 0,04^b$	$13,97 \pm 0,04^b$	$3,59 \pm 0,19^a$	$3,59 \pm 0,21^b$
FSJD	$1,99 \pm 0,3^a$	$16,25 \pm 0,57^a$	$3,34 \pm 0,06^a$	$4,12 \pm 0,09^a$

Médias seguidas de desvio padrão (em base seca), n = 3. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam que existe diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

A FSJD diferiu significativamente ($p < 0,05$) da FSJM quanto os conteúdos de proteína, lipídeos e fibras, sendo que esses compostos foram maiores para a FSJD.

Os teores de proteínas encontrados no presente trabalho foram superiores aos reportados por Santos *et al.* (2012), em torno de 7,54% e inferiores aos valores obtidos por Lima *et al.* (2014), em torno de $20 \pm 0,84\%$ para farinha de semente de jaca.

Borges et al. (2006) obtiveram a farinha da semente de jaca sem a retirada da película protetora da semente e encontraram valores similares aos teores de lipídeos e cinzas, no entanto, esses autores encontraram valores de fibra bruta bem superiores (~21%) aos mostrados na Tabela 13.

Na farinha de trigo branca, tradicionalmente usada para produtos de panificação, os teores de proteínas são inferiores aos encontrados para a farinha de semente de jaca (~11%), mas os teores de lipídeos (~1,2%) são similares aos encontrados no presente trabalho (Tabela 13) (BOEN *et al.*, 2007).

Os resultados obtidos das análises de minerais da farinha de semente de jaca estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Análise de minerais para a FSJM e FSJD.

Amostra	Macronutrientes (g / kg)					Micronutrientes (mg / kg)				
	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
FSJM	18,3	1,1	7,4	13,7	2,0	30,0	18,3	149,5	505,3	175,3
FSJD	14,8	1,0	6,4	11,0	1,7	26,8	10,6	84,8	468,3	132,8

Médias seguidas de desvio padrão (em base seca). Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam que existe diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

Dos macronutrientes analisados, destaca-se o cálcio (Ca), cujos valores encontrados para a farinha de sementes de jaca foram superiores aos valores encontrados na literatura para casca e polpa de jaca (CHIOCCHETTI *et al.*, 2013). O cálcio desempenha funções importantes no corpo humano, como regulação metabólica, contração muscular, secreção de hormônios e composição de ossos.

Observou-se na Tabela 14 que a FSJM tem maiores teores de cobre, ferro, manganês e zinco, do que a FSJD. Desses micronutrientes, destacam-se os valores encontrados para o ferro, sobretudo na FSJM, uma vez que esse micronutriente é de grande importância para o desenvolvimento de crianças e sua deficiência pode causar

alguns problemas de saúde, como a anemia (HENRIQUES; COZZOLINO, 2005); e para o zinco, cujos valores foram em torno de dez vezes maior do que o valor encontrado na casca da jaca (CHIOCCHETTI *et al.*, 2013). O conteúdo de ferro encontrado para a farinha de semente de jaca foi superior aos valores reportados para farinha de banana (CHIOCCHETTI *et al.*, 2013). De acordo com a Tabela de Composição de Alimentos (TACO, 2011) o teor de ferro naturalmente presente em farinhas de trigo e milho é de 1,0 mg/100 g e 0,9 mg/100 g, respectivamente. No entanto, a farinha de trigo branca é normalmente enriquecida com ferro, alcançando teor de 270 mg/kg. O zinco está presente em grande quantidade em nosso organismo e é um componente essencial para a atividade de mais de 300 enzimas, dentre outras funções (YUYAMA *et al.*, 2005). Para a farinha de trigo branca, o teor de zinco é de 290 mg/100 g (SANT'ANA *et al.*, 2000), valor muito superior ao obtido para a farinha de semente de jaca.

A utilização de sementes na dieta humana é determinada baseada nas características de suas composições (LIMA *et al.*, 2014). Em geral, são encontrados níveis mais altos de minerais em subprodutos, como bagaços e sementes, do que em polpa de frutas, o que sugere o uso de subprodutos deve ser incentivado.

5.4.2 Determinação dos parâmetros de cor

A avaliação dos parâmetros de cor da farinha isolada de semente de jaca (Tabela 15) mostrou que houve diferença significativa ($p < 0,05$) para os parâmetros b^* (tons de amarelo à azul) e para a diferença total de cor (ΔE^*), indicando influência da variedade de jaca.

Visualmente, a farinha de semente de jaca apresentou uma coloração mais amarelada em comparação com o amido, o que foi confirmado pela análise colorimétrica através dos parâmetros L^* , a^* e b^* .

Tabela 15: Parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*) e a diferença total de cor (ΔE^*) da FSJM e FSJD.

Amostra	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
ASJM	$89,03 \pm 0,9^a$	$0,92 \pm 0,02^a$	$10,05 \pm 0,02^b$	$12,38 \pm 0,1^b$
ASJD	$88,41 \pm 0,8^a$	$0,89 \pm 0,05^a$	$11,86 \pm 0,10^a$	$14,15 \pm 0,3^a$

Médias seguidas de desvio padrão (em base seca). Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam que existe diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

Os valores de diferença total de cor (ΔE^*), indicaram que as farinhas de sementes de jaca, de ambas as variedades, apresentaram-se claras, podendo ser usada em produtos de coloração uniforme. Pelissari *et al.* (2012), trabalhando com farinha obtida da banana-da-terra, encontraram valores de L^* , a^* , b^* e ΔE^* em torno de 86,6; 0,6; 9,5 e 16,5; respectivamente, ligeiramente inferiores aos parâmetros de cor reportados no presente trabalho (Tabela 15). VALENCIA *et al.* (2014), encontraram valores de L^* inferiores aos do presente trabalho ($\sim 75,5$) e de ΔE^* superiores (em torno de 18,8) para farinha de pupunha.

Mukprasirt *et al.* (2004) encontraram valores de L^* , a^* e b^* em torno de 93, - 0,10 e 2, respectivamente, para farinha de semente de jaca preparada com solvente alcalino (NaOH 0,5% e NaHSO₃ 0,5%).

5.4.3 Microscopia Eletrônica de varredura

As micrografias das farinhas de sementes de jaca (Figura 25) apresentaram ligeira diferença entre as variedades mole e dura. A quantidade de grânulos envolvidos na rede proteica foi maior para a FSJD quando comparado com a FSJM. Foi observada a presença de fibras (indicadas por uma seta vermelha) e cutículas em torno dos grânulos de amido nas amostras de farinhas de sementes de jaca. Essas

fibras e cutículas também foram observadas por Valencia *et al.* (2014) para a farinha isolada de pupunha, e são estruturas baseadas em proteínas e gorduras.

Figura 25: Micrografias de farinha de sementes de jaca das variedades a) mole e b) dura, com aumento de 1000 x.

Fonte: Própria

Observou-se que os grânulos de amido presentes na farinha de semente de jaca de ambas as variedades permaneceram intactos, o que indicou que a metodologia utilizada para obtenção da farinha não alterou a morfologia dos grânulos.

5.4.4 Distribuição do tamanho de partículas

As farinhas de sementes de jaca apresentaram distribuição do tamanho de partículas bimodal (Figura 26), o primeiro pico, que corresponde possivelmente às proteínas, lipídeos e outros componentes, com tamanho médio em torno de 1,2 µm; e o segundo pico, que possivelmente corresponde à parte amilácea, com tamanho médio em torno de 6,4 µm, valor dentro da faixa de distribuição de tamanho encontrada para o amido de semente de jaca.

Figura 26: Distribuição do tamanho de partículas das farinhas de sementes de jaca das variedades mole e dura.

Fonte: Própria

Mukprasirt; Sajjaanantakul (2004) obtiveram valores de distribuição de tamanho de partículas, na faixa de 3 - 15 μm para farinha de sementes de jaca. A diferença na distribuição do tamanho de partículas pode estar associada à matéria-prima e ao processamento (BOBBIO *et al.*, 1978).

5.4.5 Difração de Raios-X (DRX)

As amostras de farinha de sementes de jaca foram submetidas à análise de difração de raios-X para observação dos padrões de cristalinidade, e apresentaram picos de Bragg mais intensos em torno de $2\theta = 15, 17, 18$ e 23° , para ambas as variedades de jaca (Figura 27), com padrão de cristalinidade do tipo A (ZOBEL, 1964). Esse mesmo comportamento foi observado por Lima *et al.* (2014) e Tulyathan *et al.* (2002) para farinha de sementes de jaca.

Os índices de cristalinidade das farinhas de sementes de jaca, calculados de acordo com o item 2.2.7, foram de $24,12 \pm 0,15 \%$ e $29,03 \pm 0,19\%$ para as variedades mole e dura, respectivamente, evidenciando a influência da variedade da jaca.

Figura 27: Difratoograma de raios-X de FSJM e FSJD.

Fonte: Própria

O valor do índice de cristalinidade de materiais amiláceos pode variar com a presença de outros componentes, como fibras, proteínas e cinzas (VALENCIA *et al.*, 2014), o que pode explicar a diferença do índice de cristalinidade da farinha de semente de jaca, que foi inferior em comparação com o amido extraído dessa mesma fonte. O índice de cristalinidade obtido para farinha de pupunha foi de 31,9% (VALENCIA *et al.*, 2014); e para a banana-da-terra foi de 18% (Pelissari *et al.*, 2012).

5.4.6 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

As curvas de fluxo de calor obtidas pelas análises de calorimetria diferencial de varredura são apresentadas na Figura 28.

Figura 28: Curvas de fluxo de calor obtidas das análises de calorimetria diferencial de varredura (DSC) para a farinha de sementes de jaca das variedades mole (FSJM) e dura (FSJD).

A farinha é rica em amido, e suas propriedades térmicas de gelatinização (Tabela 16) são muito importantes para o estudo de sua funcionalidade. As curvas de fluxo de calor obtidas por DSC para as farinhas apresentaram um único pico endotérmico, associado à gelatinização do amido.

Tabela 16: Propriedades de gelatinização da FSJM e FSJD.

Amostra	T_O (°C)	T_P (°C)	T_F (°C)	ΔT (°C)	ΔH (J.g ⁻¹)
FSJM	75,95 ± 0,94 ^b	82,54 ± 0,49 ^b	93,60 ± 1,09 ^b	17,66 ^b	6,03 ± 0,05 ^b
FSJD	81,21 ± 0,14 ^a	85,02 ± 0,22 ^a	99,81 ± 3,11 ^a	18,60 ^a	8,83 ± 1,71 ^a

Médias seguidas de desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam que existe diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

Na Tabela 16 observou-se diferença significativa entre as temperaturas de gelatinização (T_O , T_P , T_F) e as entalpias (ΔH) das amostras, sendo que a FSJD apresentou maiores valores de temperatura de gelatinização e entalpia quando comparados com a FSJM. Mukprasirt; Sajjaanantakul (2004) encontraram, para

farinha de semente de jaca, valores de temperatura de gelatinização em torno de 59,9 e 66,8 °C (T_O , T_P), inferiores aos valores reportados mostrados na Tabela 16.

Os valores de temperatura de gelatinização foram maiores para a farinha de sementes de jaca quando comparadas ao amido dessa mesma fonte, sugerindo que a presença de outros componentes na farinha, tais como fibras, lipídeos e proteínas, pode promover o aumento da temperatura de gelatinização, uma vez que diminuem a difusão da água dentro do grânulo. Essa tendência também foi observada por Valencia *et al.* (2014) para farinha e amido isolados de pupunha.

A entalpia de gelatinização (ΔH) foi maior para a FSJD, o que pode ser explicado pelo índice de cristalinidade encontrado para essas amostras, uma vez que um maior valor desse parâmetro está relacionado com maiores valores entalpias. Valores ligeiramente inferiores de entalpia (ΔH), em torno de 4,8 KJ/g, foram reportados por MUKPRASIRT; SAJJAANANTAKUL (2004) para a farinha de semente de jaca.

5.4.7 Propriedades de pasta (RVA)

Na determinação das propriedades de pasta, observou-se que o aumento da temperatura proporcionou um aumento na viscosidade até um ponto máximo, chamado de temperatura de pasta, devido à hidratação e inchamento dos grânulos de amido presentes na farinha, ocorrendo em seguida uma diminuição na viscosidade da pasta, seguida de outro aumento desse parâmetro, relacionado à reassociação das moléculas de amilose e amilopectina. Esse comportamento é típico de farinhas com alta concentração de amido, e foi observado também por Pelissari *et al.* (2012) para farinha isolada de banana-da-terra.

As propriedades de pasta da farinha isolada de semente de jaca podem ser observadas na Tabela 17. Não houve diferença significativa ($p < 0,05$) para a temperatura de pasta de ambas as farinhas estudadas. De maneira geral, a

viscosidade de pasta foi influenciada pela variedade de jaca da qual se obteve a farinha, e a FSJM apresentou valores superiores de viscosidade máxima, viscosidade final, *breakdown* e maior tendência à retrogradação (*setback*).

Tabela 17: Propriedades de pasta das farinhas isolada de sementes de jaca das variedades mole (FSJM) e dura (FSJD).

Parâmetros do RVA	Amostra	
	FSJM	FSJD
Temperatura de pasta (°C)	82,95 ± 0,11 ^a	83,17 ± 0,32 ^a
Viscosidade Máxima (cP)	1633,0 ± 10,2 ^a	1133,0 ± 12,7 ^b
Viscosidade Mínima (cP)	1024,5 ± 45,3 ^a	768,0 ± 24,0 ^b
Viscosidade Final (cP)	1799,5 ± 43,2 ^a	1215,5 ± 44,5 ^b
Breakdown ou quebra (cP)	609,0 ± 15,1 ^a	365,0 ± 11,3 ^b
Setback (cP)	775,5 ± 31,0 ^a	447,5 ± 20,5 ^b
Tempo de pico (min)	7,81 ± 0,0 ^b	7,93 ± 0,0 ^a

Médias seguidas de desvio padrão, n = 3. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam que existe diferença significativa entre as amostras (p<0,05).

Diferenças nas propriedades de pasta das farinhas podem ser atribuídas à diferença na composição química desses materiais, particularmente no teor de lipídeos, que podem formar complexos com a amilose, dificultando a chegada da água dentro do grânulo e inibindo o inchamento e a solubilidade dos grânulos de amido (TULYATHAN *et al.*, 2002). A farinha de semente de jaca da variedade dura apresentou maiores teores de lipídeos e consequentemente valores menores de viscosidade máxima.

A viscosidade é uma propriedade de grande importância para produtos amiláceos e farinhas. A curva de viscosidade permite avaliar as características da pasta formada. Estas características são capazes de determinar as propriedades funcionais das matérias-primas amiláceas e suas diversas aplicações industriais (SEBIO, 1996).

Os valores de *breakdown* estão associados à fragmentação dos grânulos de amido. Dessa maneira foi possível inferir que a farinha de semente de jaca da variedade mole, com valores superiores de *breakdown*, foi menos resistente à fragmentação mecânica do que a FSJD, apresentando também maior tendência a retrogradação.

A análise de RVA das pastas de farinha leva à detecção de um sistema de três componentes compostos por amido, proteínas e lipídeos, cuja interação produz uma alta viscosidade de pico durante o estágio de resfriamento do RVA (SHAH, 2011).

5.4.8 Poder de Inchamento e índice de solubilidade

Os resultados obtidos para o poder de inchamento (PI) e índice de solubilidade (IS) para as farinhas de semente de jaca, em função da temperatura, são mostrados na Figura 29.

Figura 29: Poder de inchamento e índice de solubilidade das farinhas de semente de jaca das variedades mole (FSJM) e dura (FSJD).

Fonte: Própria

Tanto o poder de inchamento quanto o índice de solubilidade não apresentaram variações até a temperatura de 70 °C, a partir da qual foi possível

observar um aumento nesses parâmetros, associado à quebra das ligações de hidrogênio intermoleculares na área amorfa, permitindo assim absorção de água progressiva e irreversível (PELISSARI *et al.*, 2012).

Observou-se, na Figura 29, que a FSJD apresentou valores ligeiramente superiores em relação à FSJM para temperaturas de 80 e 90 °C, pois nas demais temperaturas o comportamento é reversível. De acordo com Ogawa *et al.* (2003), a presença de proteínas e lipídeos pode influenciar na permeação da água durante o processo de gelatinização, dificultando a difusão de água até os grânulos de amido, e diminuindo assim o inchamento e a solubilidade. Além disso, o maior teor de fibras da FSJD pode permitir maior absorção de água. Mukprasirt; Sajjaanantakul (2004) encontraram valores de poder de inchamento (~8,6%) e índice de solubilidade (~17%) na temperatura de 85 °C.

Os valores encontrados para o índice de solubilidade foram maiores para a FSJD nas temperaturas estudadas e também podem ser explicados pela presença de proteínas e lipídeos em maior quantidade nessa farinha.

5.4.9 Capacidade de absorção da farinha em água e óleo

Os valores obtidos para as análises de capacidade de absorção de água e de óleo de soja das farinhas de sementes de jaca são mostrados na Tabela 18. Observou-se nessa tabela, que os valores de capacidade absorção de água e óleo foram em torno de 189 e 92%, respectivamente, para a farinha de sementes de jaca mole. Para a variedade dura observaram-se valores em torno de 176 e 90% para a capacidade de absorção de água e óleo, respectivamente.

Tabela 18: Capacidade de absorção de água e óleo (g/ 100g amostra) da farinha isolada de semente de jaca das variedades mole e dura.

Amostra	Absorção de água (%)	Absorção de óleo (%)
FSJM	189,15 ± 0,11 ^a	92,01 ± 0,03 ^a
FSJD	176,05 ± 0,08 ^b	90,13 ± 0,17 ^b

Médias seguidas de desvio padrão (em base seca). Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam que existe diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

Alguns componentes, como lipídeos e algumas proteínas podem afetar muito a absorção de água de um produto. Os valores de capacidade de absorção de água apresentados na Tabela 18 foram menores que os valores obtidos por Tulyathan *et al.* (2002) (~ 205%), para farinha isolada de semente de jaca. Por outro lado, Singh *et al.* (1991), encontraram valores de capacidade de absorção de água para farinha de semente de jaca inferiores (~ 141%) aos valores encontrados no presente de trabalho. A diferença na capacidade de absorção de água pode ser atribuída aos diferentes parâmetros de preparação da farinha, que pode ter afetado algumas propriedades do produto e ao menor teor de lipídeos encontrado por esses autores (~0,99%). O processo de obtenção da farinha pode causar danos nos grânulos de amido, o que resulta em uma absorção de água maior, uma vez que a água pode penetrar nos grânulos danificados com maior facilidade do que em grânulos intactos (SINGH *et al.*, 1991).

A capacidade de absorção de óleo encontrada para as farinhas de semente de jaca foi similar aos valores reportados por Tulyathan *et al.* (2002) (~ 92,6%) e Singh *et al.* (1991) (~ 90%), para farinha de semente de jaca.

A capacidade de absorção de água indica o potencial de aplicabilidade da farinha em sistemas alimentares aquosos, especialmente os que envolvem a elaboração de massas (SANCHEZ *et al.*, 2009), e está relacionada à capacidade de hidratação de uma proteína e à capacidade de reter a água absorvida dentro de uma matriz proteica (DAMODARAM; PARAF, 1997). Já o mecanismo de absorção de óleo

é principalmente atribuído à hidrofobicidade das moléculas proteicas (SANCHEZ *et al.*, 2009). De acordo com Chandi; Sogi (2006), uma capacidade de absorção de óleo elevada é essencial para a formulação de produtos emulsionados, massas de bolos, maionese e outros molhos para salada, contribuindo para a palatabilidade e retenção de sabor destes produtos (RODRIGUEZ-AMBRIZ *et al.*, 2005).

6. CONCLUSÕES

A semente de jaca pode ser considerada uma boa fonte de amido, e o presente trabalho foi fundamental para conhecer a influência da variedade da jaca nas propriedades dos amidos e da farinha de suas sementes, assim como a influência do método de extração do amido nas suas propriedades estruturais, físico-químicas e funcionais.

A variedade da jaca influenciou significativamente a composição química, o poder de inchamento, o índice de solubilidade, o índice de cristalinidade, a temperatura de gelatinização e alguns parâmetros das propriedades de pasta, como o pico de viscosidade e a tendência à retrogradação. Para a extração aquosa, o amido de sementes de jaca da variedade dura apresentou maior índice de cristalinidade e também maiores teores de lipídeos e proteínas, e menor conteúdo de amilose quando comparada à variedade mole.

A extração alcalina de amido promoveu redução significativa nos valores de proteínas e lipídeos dos amidos, proporcionando a obtenção de amidos mais puros, e diminuiu o tamanho médio dos grânulos de amido, além de promover alterações na viscosidade, no poder de inchamento e no índice de solubilidade dos amidos. O índice de cristalinidade diminuiu em 70% quando foi usada solução de NaOH 0,1 M em comparação à extração aquosa e todos os amidos apresentaram padrão de cristalinidade do tipo A. Os grânulos apresentaram formato arredondado, e poliédrico e superfície lisa, sendo observadas pequenas alterações morfológicas para os amidos obtidos pela extração alcalina, que apresentou grânulos mais truncados.

O aumento da temperatura ocasionou aumento no poder de inchamento e índice de solubilidade a partir da temperatura de 70 °C, o que corrobora com os resultados obtidos por análises térmica (DSC) e reológica (varredura de temperatura).

Quanto às propriedades térmicas, o ASJD apresentou valores superiores de temperatura de gelatinização, e a extração alcalina com NaOH 0,1 M aumentou a

tendência à retrogradação dos amidos de sementes de jaca das variedades mole e dura de aproximadamente 36% (extração aquosa) para 64% e 45%, respectivamente.

Em relação às propriedades reológicas, observou-se que todas as amostras apresentaram comportamento pseudoplástico e que os valores de viscosidade aparente aumentaram com o aumento da concentração. No intervalo de temperatura estudado, verificou-se pouca influência da temperatura nas propriedades reológicas, principalmente para os géis mais concentrados.

O caráter elástico dos géis de amido de sementes de jaca dura foi superior à variedade mole. Por suas características estruturais e físico-químicas, o amido de sementes de jaca tem potencial para ser aplicado em filmes biodegradáveis e em produtos secos como cereais matinais.

No caso da farinha, todas as propriedades analisadas nesse trabalho foram influenciadas pela variedade da jaca, e a farinha de semente de jaca dura apresentou maiores teores de proteínas, lipídeos e minerais (Ca e Fe).

De maneira geral, a pasta da farinha de semente de jaca mole apresentou valores superiores de viscosidade (máxima e final) e de *breakdown* e maior tendência à retrogradação (*setback*) com relação à variedade dura. A farinha de semente de jaca, por sua composição e propriedades, tem potencial de aplicação na formulação de bolos e biscoitos como substituta parcial à farinha convencional.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC- American Association Cereal Chemists. Approved methods. 8. ed. Saint Paul, 1995.
- Abugoch, E. L.; Martinez, E. N.; Añón, M. C. Influence of the Extracting Solvent upon the Structural Properties of Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) Glutelin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, p.4060- 4065, 2003.
- Aguilera, J. M. Temas en Tecnologia de Alimentos. México: **Instituto Politécnico Nacional**, v. 337, p. 1997.
- Albano, K. M. Comportamento reológico de géis de amido de mandioquinha salsa (*Arracacia xanthorrhiza* B.). São José do Rio Preto: UNESP, 2012. 157p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências exatas da Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2012.
- Albano, K. M. Franco, C. M. L, Telis, V. R. N. Rheological behavior of Peruvian carrot starch gels as affected by temperature and concentration. **Journal of Food Hydrocolloids**, v. 40, p. 30-43, 2014.
- Albuquerque, F. S. M. Estudo das características estruturais e das propriedades funcionais do amido de semente de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam) variedades mole e dura. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba, João pessoa, 2011.
- Andrade-Mahecha, M. M.; Tapia-Blacido, D. R.; Menegalli, F. Physical-chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin. **Starch/Starke**, v. 64, p. 348-358, 2012.
- Atwell, W. A.; Hood, L. F.; Lineback, D. R.; Zober, H. F. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. **Cereal Food World**, v. 33, p 306-311, 1998.

- Baliga, M. S.; Scivashankara, R.; Haniadka, R., Dsouza, J.; Bhat, H.P. Phytochemical, nutritional and pharmacological properties of *Artocarpus heterophyllus* Lam (jackfruit): a review. **Food Research International** 44: 1800-1811, 2011.
- Barbosa, M. C. Efeito da adição de proteína nas propriedades físicas e reológicas dos géis obtidos a partir de amido de semente de jaca (*Artocarpus Integrifolia*). Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Itapetinga, 2013.
- Barnes, H.A.; Hutton, J.F.; Walters, K. An Introduction to Rheology: Rheology Series. Netherlands: **Elsevier Science**. v. 3, p. 199, 1989.
- Beninca, C. Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados de diferentes fontes botânicas. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2008.
- Bhandari, P. N., Singhal, R. S.; Kale, D. D. Effect of succinylation on the rheological profile of starch pastes. **Carbohydrate Polymers**, v. 47, p. 365-371, 2002.
- Biliaderis, C. G.; Tonogai, J. R. Influence of lipids on thermal and mechanical properties of concentrated starch gels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, p. 833-840, 1991.
- Bird, R.B.; Stewart, W.E., Lightfoot, E.N. Transport Phenomena. University of Wisconsin-Madison. Second Edition. **Edição Internacional Wiley**, 2005.
- Bobbio, F. O.; Bobbio, A. A. E.; Rodrigues, R. L. Isolation and characterization of physicochemical properties of the starch of jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus*). **Cereal Chemistry**, v. 4, p. 505-511, 1978.
- Boen, T. R., Soeiro, B. T., Pereira Filho, E. R., Lima-Pallone, J. A. Avaliação do teor de ferro e zinco e composição centesimal de farinhas de trigo e milho enriquecidas. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 43, p. 589-596, 2007.

- Borges, S. V.; Bonilha, C. C.; Mancini, M. C. Sementes de jaca (*Artocarpus Integrifolia*) e de abóbora (*Curcubita Moschata*) desidratadas em diferentes temperaturas e utilizadas como ingredientes em biscoitos tipo cookie. **Alim. Nutr.**, v. 317-321, 2006.
- Brasil. Leis, decretos, etc. Decreto nº 12.486 de 20 de outubro de 1987. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 21 out. 1987, p. 20. Normas técnicas especiais relativas a alimentos e bebidas.
- Brasil. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Portaria nº 554 de 30 de agosto de 1995. Aprova a Norma de Identidade, Qualidade, Acondicionamento, Armazenamento e Transporte da farinha de Mandioca. **Diário Oficial da União, Brasília, DF**, 1 de set. 1995.
- Brasil, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Brasília, 1998.
- Buléon, A.; Colonna, P.; Planchot, V.; Ball, S. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.23, p.85-112, 1998.
- Cardoso, M. B.; Putaux, J. L.; Samios, D.; Silveira, N. P. Influence of alkali concentration on the deproteinization and/or gelatinization of rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 70, p. 160-165, 2007.
- Cardoso, M. B.; Samios, D.; Silveira, N. P. Study of protein detection and ultrastructure of Brazilian rice starch during alkaline extraction. **Starch/Stärke** v. 58, p. 345-352, 2006.
- Castro, G. A.; Correia, F.; Rodriguez, L. S. A química e a reologia no processamento de alimentos, editora **Instituto Piaget**, 295 p. 2002.
- Cereda, M P. Propriedades gerais de amidos (1st edition). São Paulo: **Fundação Cargill**, 2001.
- Chandi, G. K.; Sogi, D. S. Functional properties of rice bran proteins concentrates. **Journal of Food Engineering**, v.13, p. 147-152, 2006.

- Chao, G.; Gao, J.; Liu, R.; Wang, L.; Li, C.; Wang Y.; Qu, Y.; Feng, B. Starch physicochemical properties of waxy proso millet (*Panicum Miliaceum* L.). **Starch/Starke**, v. 66, p. 1005-1012, 2014.
- Charles, A.L., Chang, Y.H., Ko, W.C., Sriroth, K.; Huang, T.C. Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of cassava starches. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 2717-2725, 2005.
- Chiocchetti, G. M.; Fernandes, E. A. N.; Bacchi, M. A.; Pazim, R. A., Sarriés, S. R. V.; Tomé, T. M. Mineral composition of fruit by-products evaluated by nêutron activation analysis. **Journal of Radional Nuclear Chemistry**, v. 297, p. 399-404, 2013.
- Ciaccio, C. F.; Cruz, R. Fabricação do amido e sua utilização. São Paulo: Secretaria de Indústria e Comércio. **Ciência e Tecnologia**, p.152, 1982.
- Correa, Z.; Zuniga, A.; Garfias, C.; Bello-Pérez, L. A. Isolation and characterization of *Alstroemeria hookeri* ssp. *Hookeri* starch in comparison with potato starch. **Starch/Starke**, v. 65, p. 991-998, 2013.
- Correia, P.R., Nunes, M.C., Beirão-da-Costa, M.L. The effect of starch isolation method on physical and functional properties of Portuguese nuts starches. I. Chestnuts (*Castanea sativa* Mill. Var. Martainha and Longal) fruits. **Food Hydrocolloids**, v. 27, p. 256-263, 2012.
- Coutinho, A. P. C.; Cabello, C. Caracterização reológica de fécula de mandioca. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**. Cerat Unesp, v. 1, p. 40-48, 2005.
- Damodaram, S.; Paraf, A. Food proteins and their applications. New York-USA: **Marcel Dekker**, 1997.
- Dean, K., Yu, L., Wu, D.Y. Preparation and characterization of melt-extruded thermoplastic starch/clay nanocomposites. **Composites Science and Technology**, v. 67, p. 413–421, 2007.
- Denardin, C. C.; Silva, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 945-954, 2009.

- Donald, M. L. Food industry perspective: functional properties and food uses of dietary fiber. In: **Dietary Fiber in Healthy ; Disease**. Ed. D. Kritchevsky ; C. Bonfield, Egan Press, Minnesota-USA. 486p, 2001.
- Dokíc, L., Dapcević, T., Krstonosic, V., Dokíc, P., Hadnadev, M. Rheological characterization of corn starch isolated by alkali method. **Jounal of Food Hydrocolloids**, v. 24 p.172-177, 2010.
- Domingues, M. A. C. Efeito da interação genótipo x ambiente no Estado de São Paulo sobre os parâmetros de qualidade do trigo e nas características físico-químicas e funcionais do amido. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 2002.
- Dreher, M. L.; Berry, J. W. Buffalo gourd root starch. Part I. Properties and structure. **Starch/Starkë**, v. 35, p. 76-81, 1983.
- Eliasson, A. C.; Gudmundsson, M. Starch: Physicochemical and Functional Aspects. **Eds. Taylor ; Francis Group**, LLC, 2006.
- Eliasson, A. C.; Wahlgren, M. Starch-lipid interaction and their relevance in food products. In: Eliasson, A. C. **Starch in food: Structure, function and application**. Boca Raton, 2000.
- Embrapa. Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. **Embrapa Pecuária Sudeste**, 334 p., 2005.
- Ferreira, G. M. Estudo das propriedades reológicas do sistema polpa de cupuaçu - biopolímeros. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.
- Fontan, G. C. R.; Influência do uso de espessantes nas características sensoriais e físico-químicas de bebida láctea com polpa de umbu. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, UESB. Itapetinga, 2008.

- Franco, C. M. L.; Wong, K. S.; Yoo, S.; Jane, J. L. Structural and Functional Characteristics os Selected Soft Wheat Starches. **Cereal Chemistry**, v. 79, p. 243-248, 2002.
- Galindo-Rosales, F. J. Rubio-Hernández. Static and dynamic yield stresses of Aerosil 200 suspension in polypropylene glycol. **Applied Rheology**, v. 2, 2010.
- Gandur, M. C. Comportamento Dinâmico Complexo em Despelamento de Fitas Adesivas. Tese de Doutorado. Universidade de Campinas, Unicamp. Campinas, 2001.
- Gennadios, A. Weller, C.L.; Hanna, M.A; Froning, G.W. Mechanical and barrier properties of egg albumen films. **Journal of food Science**, Chicago, USA. v. 61, p. 585-589, 1996.
- Gomez, M. H., Lee, J. K., McDonough, M., Waniska, R. D., Rooney, L. W. Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing. **Cereal Chemistry**. 69, 275 – 279, 1992.
- Grigelmo-Miguel, N.; Barz-Ribas, A.; Martín-Belloso, O. Rheology of peach dietary fibre suspensions. **Journal of Food Engineering**, v.39, n.1, p.91-99, 1999.
- Gudmundsson, M. Retrogradation of starch and the role in components. **Thermochimica Acta**, v. 246, p. 329-341, 1994.
- Guerreiro, L. M. R.; Menegalli, F. C. Influência do tratamento térmico e da acidez no comportamento reológico de amidos nativos funcionais de milho cerosos orgânicos comerciais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, p. 412-419, 2009.
- Han, X. Z., Hamaker, B. R. Partial leaching of granule-associated proteins from rice starch during alkaline extraction and subsequent gelatinization. **Starch/Starke**. 54, 454 – 460, 2002.
- Henriques G, Cozzolino SMF. In: Cozzolino SMF (ed) Biodisponibilidade de nutrientes, 3rd edn. Manole, São Paulo, p 847, 2005.

- Henriquez, C., Escobar, B., Figuerola, F., Chiffelle, I., Speisk, H., Estévez, A.M. Characterization of piñon seed (*Araucaria araucana* (Mol) K. Koch) and isolated starch from the seed. **Food Chemistry**, v. 107, p. 592-601, 2008.
- Henry, R.J. A comparison of the non-stach carbohydrates in cereals grains. **Journal Science of Food Agriculture**, v. 36, p. 1243-1253, 1985.
- Himeda, M.; Yanou, N. N.; Nguimbou, R. M.; Gaiani, C.; Scher, J.; Facho, B.; Mbofung, C. M. F. Physicochemical, rheological and thermal properties of taro (*Colocassia esculenta*) starch harvested at different maturity stages. **International Journal of Biosciences**, v. 2, p. 14-27, 2012.
- Hizukuri, S.; Takeda, Y.; Yasuda, M. Multi-branched nature of amylose and the action of debranching enzymes. **Carbohydrate Research**, v. 94, p. 205-213, 1981.
- Hoover, R. Starch retrogradation. **Food Reviews International**, v. 11, p. 331-346, 2011.
- Hsu, S.; Lu, S.; Huang, C. Viscoelastic changes of rice starch suspensions during gelatinization. **Journal of Food Science**, v. 65, p. 215-220, 2000.
- Imam, S. H.; Wood, D. F.; Abdelwahab, M. A.; Chiou, B. S.; Williams, T. G.; Glenn, G. M.; Orts, W. J. Chemistry, Microstructure, Processing, and Enzymatic Degradation. In: **Starch-Based Polymeric materials and nanocomposites**, 2012.
- Jane, J. et al. Effects of amylopectin branch length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 5, p. 629-637, 1999.
- Karim, O. K., Kasai, M., Shimada, A.; Hatae, K. Effects of acetic acid on the rice gelatinization and pasting properties of rice starch during cooking. **Food Research International**, v. 40, p. 224-231, 2008.
- Karim, A. A.; Norziah, M. H. , Seow, C. C. Methods for the study of starch retrogradation. **Food Chemistry**, v. 71, p. 9-36, 2000.

- Kaur, B., Fazilah, A., Karim, A. A. Alcoholic-alkaline treatment of sago starch and its effect on physicochemical properties. **Food and bioproducts processing**. 89, 463 – 471, 2011.
- Kim, Y. S.; Wiesenborn, D. P.; Orr, P. H.; Grant, L. A. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. **Journal of Food Science**, v. 60, p. 1060-1065, 1995.
- Kim, Y.; Yoo, S.H.; Park, K.H.; Shim, J.H.; Lee, S. Functional characterization of native starches through thermal and rheological analysis. **Journal Korean Soc. Applied Biological Chemistry and Springer**, v. 55, p. 413-416, 2012.
- Kim, W. W.; Yoo, B. Rheological behavior of acorn starch dispersions: effects of concentration and temperature. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 503-509, 2009.
- Kittipongpatana, O. S., Kittipongpatana, N. Preparation and physicochemical properties of modified jackfruit starches. **Food Science and Technology**, v. 44, p. 1766-1773, 2011.
- Landin, L. B.; Desenvolvimento e caracterização de produtos utilizando semente de jaca. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, UESB. Itapetinga, 2011.
- Lee, C. K.; Le, Q. T.; Kim, Y. H.; Shim, J. H. Lee, S. J.; Park, J. H.; Lee, K. P.; Song, S. H.; Hyuck, J.; Lee, S. J.; Park, K. H. Enzymatic synthesis and properties of highly branched rice starch amylose and amylopectin cluster. **Food Chemistry**, v. 56, p. 126-131, 2008.
- Lim, S., Lee, J., Shin, D., Lim, H., S. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. **Starch/Stärke**, v. 51, p. 120-125, 1999.

- Lima, B. N. B.; Lima, F. F.; Tavares, M. I. B., Costa, A. M. M.; Pierucci, A. P. T. R. Determination of the centesimal composition and characterization of flours from fruit seeds. **Food Chemistry**, v. 151, p. 293-299, 2014.
- Lopes Da Silva, J.A.L., M.P. Gonçalves, and M. A. Rao. Kinetics and thermal behaviour of the structure formation process in HMP/sucrose gelation. **International J. Biol Macromolecules**, v. 17, p. 25-32, 1995.
- Lqari, H.; Vioque, J.; Pedroche, J.; Millán, F. Lupinus angustifolius protein isolates: chemical composition, functional properties and protein characterization. **Food Chemistry**, v.76, p.349-356, 2002.
- Ma, L. ; Barbosa-Cánovas, G.V. Review: rheological properties of food gums and food gum mixtures. **Revista Espanola de Ciencia y Tecnología de Alimentos** v.33, p. 133-163, 1993.
- Madrigal-Aldana, D. L.; Tovar-Gómez, B.; Oca, 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/Stärke**, v. 63, p. 364–372, 2011.
- Madrugá, M.S., Albuquerque, F.S.M., Silva, I.R.A., Amaral, D.S., Magnani, M., Neto, V.Q. Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L) seeds starch. **Food Chemistry**, 2014.
- Matsuguma, L.S. Caracterização do amido de mandioquinha salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) nativo e modificado por oxidação. Ponta Grossa, 112p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2006.
- Matsuguma, L. S.; Lacerda, L. G.; Schnitzler, E. Carvalho Filho,., M. A. S.; Franco, C. M. L.; Demiate, I. M. Characterization of native and oxidized starches of two varieties of Peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza*, B.) from two production areas of Paraná

- State, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, p. 701-713, 2009.
- Mitchell, J. R., The rheology of gels. **Journal of Textural Studies**, v.11, p. 315-337, 1980.
- Mishra, S.; Rai, T. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. **Foods Hydrocolloids**, v. 20, p. 557-566, 2006.
- Mistry, J.E.; Eckhoff, A. B. Physicochemical and functional properties of oilseed proteins with emphasis on soy proteins. In: ALTSCHUL, A.M.; WILCKE, H.L. (Ed) **New Protein Foods**, 2 ed. Orlando-USA: Academic Press, v.5, p. 107-79, 1992.
- Moreira, R.; Chenlo, F.; Torres, M. D., Glazer, J. Rheological properties of gelatinized chestnut starch dispersions: Effect of concentration and temperature. **Journal of Food Engineering**, v. 112, p. 94-99, 2012.
- Morris, V. J. Starch gelation and retrogradation. **Trends Food Science and Technology**, v. 7, p. 2-6, 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.
- Muccillo, R. C. S. T. Caracterização e avaliação de amido native e modificado de pinhão mediante provas funcionais e térmicas. Porto Alegre, 156p. Tese de Doutorado (Engenharia de Alimentos UFRGS). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- Mukprasirt, A., Sajjaanantakul, K. Physico-chemical properties of flour and starch from jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) compared with modified starches. **International Journal of Science and Technology**, v. 39, p. 271 – 276, 2004.
- Nadiha, M. Z., Fazilah, A., Bhat, R., Karim, A.A. Comparative susceptibilities of sago, potato and corn starches to alkali treatment. *Food Chemistry*. 121, 1053-1059, 2010.

- Neves, V. A.; Lourenço, E. J. Isolation and In vitro hydrolysis of globulin G-1 from Lentils (*Lens culinaris medik*). **Journal of Food Biochemistry**, v.19, p.309-320, 1995.
- Nguyen, Q.D., Jensen, C.T.B. E Kristensen, P.G. Experimental and modelling studies of the flow properties of maize and waxy maize starch pastes. **Chemical Engineering Journal**, v. 70, p. 165-171, 1998.
- Nunes, L. S.; Duarte, M. E. M; Mata, M. E. R. M. C.; Almeida, R. D.; Gouveia, D. S. Comportamento reológico de pasta de amido de inhame da variedade São Tomé. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, p. 141-154, 2010.
- Nwokocha, L.M., Senan, C., Williams, P.A. Structural, physicochemical and rheological characterization of *Tacca involucrata* starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, p. 789-796, 2011.
- Oates, C. G.; Powell, A. D. Bioavailability of carbohydrate material stored in tropical fruit seeds. **Food Chemistry**, v. 56, p. 405-414, 1996.
- Ogawa, Y.; Glenn, G. M., Orts, W. J., Wood, D. F. Histological structures of cooked rice grain. **J. Agric. Food Chem.**, v. 51, p. 7019-7023, 2003.
- Pascoal, A.M., Di-Medeiros, M.C.B., Batista, K.A., Leles, M.I.G., Lião, L.M., Fernandes, K.F. Extraction and chemical characterization of starch from *s. lycocarpum* fruits. **Carbohydrate Polymers**, 2013.
- Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M, Sobral, P. J. A., Menegalli, F. C. Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Food Science ; Technology**, v. 64, p. 382-391, 2012.
- Pereira, L. B. Caracterização de suspensões e géis de amido de amaranto: efeito da adição de sacarose e NaCl nas propriedades reológicas e térmicas. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas, 2004.
- Pereira, L. G. R.; Martins M. R.; Azevedo J. A. G.; Oliveira L. S.; Barreiros D.C.; Ferreira A. L.; Brandão L. G. N.; Figueiredo, M. P. Composição bromatológica e cinética de

- fermentação ruminal in vitro da jaca dura e mole (*Artocarpus heterophyllus*). **Livestock Research for Rural Development**, v. 19, p. 65-76, 2007.
- Prakash, O., Kumar, R., Mishra, A., Gupta, R.. *Artocarpus heterophyllus* (Jackfruit): An overview. **Pharmacognosy Review**, v. 3, p.353–358, 2009.
- Rao, M. A.; Tattiyakul,J. Granule size and rheological behaviour of heated tapioca starch dispersions. **Carbohydrate Polymers**, v. 38, p. 123-132, 1999.
- Rao, M.A. Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications. **Maryland: Aspen Publishers Inc.**, p.433, 1999.
- Rengsutthi, K.; Charoenrein S. Physico-chemical properties of jackfruit seed starch (*Artocarpus heterophyllus*) and its application as a thickener and stabilizer in chilli sauce. **Food Science and Technology**, v. 44, p. 1309-1313, 2011.
- Ring, S. R., Colonna, P.; Anson, K. J. Kalichevsky, M. T.; Miles, M. J.; Morris, V. J.; Orford, P. D. The gelation and crystallization of amylopectin. **Carbohydrate Research**, v. 162, p. 277-293, 1987.
- Rocha, T. S.; Demiate, I. M., Franco, C. M. L. Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 28, p. 620-628, 2008.
- Rodríguez- Ambriz, S.L.; Martínez-Hernández,G.; González, J.E. C.; Trujillo, J.P.P. Composition and functional properties of *Lupinus campestris* protein isolates. **Plants Foods for Human Nutrition**, v.60, p.99-107, 2005.
- Rodríguez, S. E.; Fernandez, Q. A.; Alonso, A. L.; Ospina, P. B. **Ingeniería y Desarrollo**, v. 19, p. 17-30, 2009.
- Sanchez, T.; Salcedo, E.; Ceballos, H.; Dufour, D.; Mafla, G.; Morante, N.; Calle, F.; Pérez, J. C.; Debouck, D.; Jaramillo, G.; Moreno, I. X. Screening of starch quality traits in cassava (*Manihot Esculenta Crantz*). **Starch/Stärke**, v. 61, p. 12-19, 2009.

- Sandhu, K. S.; Singh, N.; Lim, S. T. A comparison of native and acid thinned normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. *Lebensmittel-Wissenschaft ; Technologie*, v. 40, p. 1527-1536, 2007.
- Sant'Ana, L. F.; Costa, N. M. B.; Oliveira, M. G. A; Gomes, M. R. A. Valor Nutritivo e Fatores Antinutricionais de Multimisturas Utilizadas como Alternativa Alimentar. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 3, p. 129-135, 2000.
- Santos, C. T. Farinha da semente de jaca: caracterização físico-química e propriedades funcionais. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Itapetinga, 2009.
- Santos, D. B. Machado, M. S.; Araújo, A. F.; Cardoso, R. L., Tavares, J. T. Q. desenvolvimento de pão francês com a adição de farinha de caroço de jaca (*Artocarpus Integrifolia L.*). **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, p. 2012.
- Sarboon, N.M.; Badii, F.; Howell, N.K. The effect of chicken skin gelatin and whey protein interactions on rheological and thermal properties. **Food Hydrocolloids**, v. 45, p. 83-92, 2015.
- 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.
- Schirmer, M.; Hochstotter, A.; Jekle, M.; Arendt, E.; Becker, T. Physicochemical and morphological characterization of different starches with variable amylose/amylopectin ratio. **Journal of Food Hydrocolloids**, v. 32, p.52-63, 2013.
- Schoch, T. J. Swelling power and solubility of granular starches. In: WHISTLER, R. L. Methods in Carbohydrate Chemistry; Starch. **New York: Academic Press**. v. 4. p. 106-109, 1964.

- Seagri. Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária. Cultura de Jaca. Disponível em: <<http://www.seagri.ba.gov.br/jaca.htm>>. Acessado: 22 de julho de 2013.
- Sebio, L. Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*Discorea rotunda*). Campinas, 106p. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 1996.
- Shah, A.; Zhang, G., Hamaker, B. R.; Campanella, O. H. Rheological properties of a soluble self-assembled complex from starch, protein and free fatty acids. **Journal of Food Engineering**, v. 105, p. 444-452, 2011.
- Shyamalamma, S.S.B.C. Chandra, M., Hegde, P. Naryanswamy. Evaluation of genetic diversity in jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) based on amplified fragment length polymorphism markers. **Genetics and Molecular Research**, v. 7, p. 645–656, 2008.
- Silva, J.A.L.; Rao, M.A. Viscoelastic properties of food hydrocolloid dispersions. In: Viscoelastic Properties of Foods, eds. Rao, M.A. ; Steffe, **J.F. Elsevier Applied Science**. London/ New York, p. 207-231, 1992.
- Silva, J. H. V.; Jordão Filho, J.; Ribeiro, M. L. G.; Silva, E. L. Efeitos da inclusão do farelo de sementes de jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) na ração sobre a produção, pigmentação da gema e umidade fecal em codornas. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, p. 523-530, 2007.
- Simuang, J.; Chiewchan, N.; Tansakul, A. Effect of fat content and temperature on the apparent viscosity of coconut milk. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 193-197, 2004.
- 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.
- Singh, J., McCarthy, O.J., Singh, H., Moughan, P.J., Kaur, L. Morphological, thermal and rheological characterizations of starch isolated from New Zealand Kamo Kamo (*Cucurbita pepo*) fruit- A novel source. **Carbohydrate Polymers**, v. 67, p. 233-244, 2007.
- Singh, N.; Kaur, S.; Kaur, A.; Isono, N.; Ichihashi, Y.; Noda, T.; Rana, J. C. Structural, thermal, and rheological properties of *Amaranthus Hypochondriacus* and *Amaranthus caudatus* starches. **Starch/Starke**, v. 66, p. 457-467, 2014.
- Singh, U.; Rao, P. V.; Saxena, K. Chemical changes at different stages of development in vegetable pigeonpeas (*Cajanus-Cajan*). **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 57, p. 49-54, 1991.
- Sit, N.; Deka, S. D.; Misra, S. Combined effect of ultrasound and enzymatic pretreatment on yield and functional properties of taro (*Colocasia esculenta*) starch. **Starch/Starke**, v. 66, p. 959-967, 2014.
- Sobral, P.J.A.; Menegalli, F.C.; Hubinger, M.D.; Roques, M.A. Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. **Food Hydrocolloids**, v. 15, p. 423-432, 2001.
- 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.
- Steffe, J. F. Rheological methods in food process engineering. **Michigan: 2a ed., Freeman Press**, 1996, 418 p.
- Stone, L. A.; Lorenz, K. 1984. The starch of *Amaranthus* – physico-chemical properties and functional characteristics. **Stach/Starke**, v. 36, p. 232-237, 1984.

- TACO. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, 4ª Edição, Unicamp, 2011.
Disponível em: <www.unicamp.br/nepa/taco>. Acesso em: 08 de janeiro de 2016.
- Takeda, Y.; Hizukuri, S.; Juliano, B. Structures of rice amylopectins with low and high affinities for iodine. **Carbohydrate Research**, v. 168, p. 79-88, 1987.
- Tako, M., Hizukuri, S. Gelatinization mechanism of potato starch. **Carbohydrate polymers**. 48, 397 – 401, 2002.
- Tarrega, A., Vélez-Ruiz, J.F.; Costell, E. Influence of milk on the behavior of cross-linked waxy maize and tapioca starch dispersion. **Food Research International**, v. 38, p. 759-768, 2005.
- Telis-Romero, J. Hidrodinâmica e transferência de calor no escoamento laminar de fluidos nao-newtonianos em tubos. Tese de doutorado, Universidade estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas-SP; 1992.
- Teng, L.Y., Chin, N.L., Yusof, Y.A. Rheological and textural studies on fresh and freeze-thawed native sago starch-sugar gels. II. Comparisons with other starch sources and reheating effects. **Food Hydrocolloids**, v. 31, p. 156-165, 2013.
- Tester, R. F.; Karkalas, J. Starch – composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 151-165, 2004.
- Tester, R.F., Morrison, W.R. Swelling and gelatinization of cereal starches. III. Some properties of waxy and normal non-waxy barley starches. **Cereal Chemistry**, v. 69, p. 645–658, 1992.
- Teyssandier, F.; Cassagnau, P. Gérard, J. F. Mignard, N. Reactive compatibilization of PA12/olasticized starch blends: Towards improved mechanical properties. **European Polymer Journal**, v. 47, p. 2361-2371, 2011.
- Tharanathan, R. N.; Mahadevamma, S. A. Review: grain legumes a boon to human nutrition. **Food Science and Technology**, v.14, p.507–518, 2003.
- Tongdang, T. Some Properties of Starch Extracted from Three Thai Aromatic Fruit Seeds. **Starch/Starke**, v. 60, p. 199-207, 2008.

- Torres, F. G.; Troncoso, O. P.; Díaz, D. A.; Amaya, E. Morphological and thermal characterization of native starches from *Andean* crops. **Starch/Starke**, v. 63, p. 381-389, 2011.
- Tulyathan, V., Tananuwong, K., Songjinda, P., Jaiboon, N., Some physicochemical properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* lam.) seed flour and starch. **Scienceasia**, v. 28, p. 37–41, 2002.
- Valencia, G. A.; Henao, A.C.A.; Zapata, R.A.V. Effect of glycerol concentration and temperature on the rheological properties of cassava starch solutions. **Journal Polymer Engineering**, v. 33, p. 141-148, 2013.
- Valencia, G. A.; Moraes, I. C. F.; Lourenço, R. V.; Bittante, A. M. Q. B., Sobral, P. J. A. Physicochemical, morphological, and functional properties of slour and starch from peach palm (*Bactris gasipaes* K.) fruit. **Starch/Starke**, v. 66, p. 1-11, 2014.
- Valencia, G. A.; Moraes, I. C. F.; Lourenço, R. V.; Bittante, A. M. Q. B.; Sobral, P. J. A. Physicochemical properties of Maranta (*Maranta Arundinacea* L.) Starch. **International Journal of Food Properties**, v. 18, p. 1990-2001, 2015.
- Weber, F. H., Collares- Queiroz, F. P., Chang, Y. K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, p. 748-753, 2009.
- 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, 120p. Dissertação (Mestrado em Bromatologia) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, 2010.
- Yonemoto, P. G. Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de São Paulo – UNESP, São José do Rio Preto, 2006.

- Yuyama, L.; Yonekura, L.; Aguiar, J.; Rodriguez, M.; Cozzolino, S. M. F. In: Cozzolino SMF (ed) **Biodisponibilidade de nutrientes**, 3rd edn. São Paulo, Manole, p 847, 2005.
- Xie F.; Yu L.; Su B.; Liu P.; Wang J.; Liu H.; Chen, L. Rheological properties of starches with different amylose/amylopectin ratios. **Journal of Cereal Science**, v. 49, p. 371-377, 2009.
- Xie, F., Halley, P.J., Avérous, L. Rheology to understand and optimize processability, structures and properties of starch polymeric materials. **Progress in Polymer Science**, v.37, p.595-623, 2012.
- Xiu, A.; Zhou, M.; Zhu, B.; Wang, S.; Zhang, J. Rheological properties of Salecan as a new source of thickening agent. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 1719-1725, 2011.
- Xu, J.; Fan, X.; Ning, Y.; Wang, P.; Jin, Z., Lv, H., Xu, B., Xu, X. Effect of spring dextrin on retrogradation of wheat and corn starch gels. **Food Hydrocolloids**, v. 33, p. 361-367, 2013.
- Zhu, F., Wang, Y.J. Characterization of modified high-amylose maize starch- α -naphthol complexes and their influence on rheological properties of wheat starch. **Food Chemistry**, v. 138, p. 256-262, 2013.
- Zobel, H. F. X-Ray Analysis of Starches Granules. **Carbohydrate Chemistry**. Roy L. Whistler, Academic Press, N. Y., p. 109-113, 1964.

APÊNDICES

Apêndice A - Tabela de cor (parâmetros a^* e b^*) e índice de transparência (Whiteness Index - WI) do amido de semente de jaca das variedades mole e dura, isolados com diferentes solventes.

Extração	a^*		b^*		WI	
	ASJM	ASJD	ASJM	ASJD	ASJM	ASJD
Água	$0,61 \pm 0,02$	$0,57 \pm 0,04$	$2,89 \pm 0,03$	$2,84 \pm 0,11$	$91,50 \pm 0,33$	$91,89 \pm 0,49$
NaOH 0,05 M	$0,42 \pm 0,01$	$0,39 \pm 0,01$	$2,03 \pm 0,01$	$2,03 \pm 0,05$	$93,52 \pm 0,48$	$93,35 \pm 0,37$
NaOH 0,1 M	$0,40 \pm 0,01$	$0,38 \pm 0,08$	$2,17 \pm 0,02$	$2,17 \pm 0,02$	$93,61 \pm 0,07$	$93,62 \pm 0,32$

Apêndice B – Viscoamilograma dos amidos de semente de jaca mole (curvas superiores) e jaca dura (curvas inferiores) extraídos com diferentes solventes: água (a, d); NaOH 0,05 M (b, e) e NaOH 0,1 M (c,f).

Apêndice C – Tabela de tixotropia dos amidos de sementes de jaca extraídos com diferentes solventes.

Concentração	T (°C)	Solvente	Tixotropia (Pa/s)	
			ASJM	ASJD
2%	10	Água	9,35	13,16
		NaOH 0,05 M	11,43	14,77
		NaOH 0,1 M	12,41	16,38
	20	Água	8,43	8,72
		NaOH 0,05 M	8,84	12,10
		NaOH 0,1 M	10,24	13,04
	30	Água	9,42	8,77
		NaOH 0,05 M	10,10	9,59
		NaOH 0,1 M	11,57	9,60
	40	Água	6,90	7,53
		NaOH 0,05 M	6,55	7,18
		NaOH 0,1 M	7,22	6,18
5%	10	Água	244,4	226,31
		NaOH 0,05 M	665,80	760,20
		NaOH 0,1 M	1093,01	871,18
	20	Água	175,50	67,11
		NaOH 0,05 M	434,70	-3,29
		NaOH 0,1 M	614,62	510,00
	30	Água	183,54	103,30
		NaOH 0,05 M	-38,49	188,03
		NaOH 0,1 M	385,12	332,10
	40	Água	139,8	133,31
		NaOH 0,05 M	31,51	59,25
		NaOH 0,1 M	315,24	246,51
6%	10	Água	593,13	902,21
		NaOH 0,05 M	787,60	946,56
		NaOH 0,1 M	1512,02	2235,06
	20	Água	445,06	631,02
		NaOH 0,05 M	500,00	665,44
		NaOH 0,1 M	693,34	1396,54
	30	Água	382,11	473,82
		NaOH 0,05 M	516,89	478,41
		NaOH 0,1 M	371,78	465,79
	40	Água	289,02	389,21
		NaOH 0,05 M	-148,64	173,20
		NaOH 0,1 M	501,55	397,08

Apêndice D – Relação entre os módulos de armazenamento (G') e de perda (G'') em função da frequência para amido de semente de jaca das variedades: mole (a, c, e) e dura (b, d, f), extraídos com diferentes solventes: água (a, b); NaOH 0,05 M (c, d) e NaOH 0,1 M (e, f), para as concentrações: 2% (Δ), 5% ($\circ$) e 6% ($\square$).