



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS**

**PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E
TECNOLÓGICAS DO AMIDO DO CAROÇO DE ABACATE (*Persea
americana* Mill)**

JÉSSICA FRANCO FREITAS MACENA

SALVADOR, BAHIA

2019

JÉSSICA FRANCO FREITAS MACENA

**PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E
TECNOLÓGICAS DO AMIDO DO CAROÇO DE ABACATE (*Persea
americana Mill*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Orientador: Prof. Renato Souza Cruz
Co-orientador: Profa. Geany Peruch Camilloto

SALVADOR, BAHIA

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Macena, Jéssica Franco Freitas

Propriedades morfológicas, físico-químicas e
tecnológicas do amido do caroço de abacate (*Persea
americana* Mill) / Jéssica Franco Freitas Macena,
Joíciana Cardoso Arruda de Souza. -- Salvador/BA,
2019.

65 f. : il

Orientador: Renato Souza Cruz.

Coorientadora: Geany Peruch Camilloto.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
Ciência de Alimentos) -- Universidade Federal da
Bahia, Universidade Federal da Bahia, 2019.

1. Amido. 2. Abacate. 3. Resíduo industrial. 4.
Subproduto. 5. Aditivos. I. Souza, Joíciana Cardoso
Arruda de. I. Cruz, Renato Souza. II. Camilloto,
Geany Peruch. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS



TERMO DE APROVAÇÃO

JÉSSICA FRANCO FREITAS MACENA

PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E
TECNOLÓGICAS DO AMIDO DO CAROÇO DE ABACATE (*Persea
americana* Mill)

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (nível Mestrado Acadêmico) da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência de Alimentos.

Aprovada em 10 de julho de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Renato Souza Cruz
Universidade Estadual de Feira de Santana
Orientador

Dr.ª Cíntia Maria Ariani Fontes
Universidade Estadual de Feira de Santana

Dr. Christiano Vieira Pires
Universidade Federal de São João Del-Rei

Este trabalho foi feito com muito esforço, apoio e abdicação de algumas coisas, momentos e pessoas, por isso, dedico àquelas pessoas que mais amo com todo o carinho, gratidão e respeito.

À minha família e amigos, e ao meu eterno amor,

Filipi Lozano, por não medirem distância

nem esforços e estarem sempre comigo

enchendo minha vida de alegria

e muito amor.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus do meu coração, o Autor da vida, por me permitir viver essa experiência e por conduzir a minha vida de modo tão maravilhoso, iluminando meu caminho, me dando força e proteção para enfrentar os momentos difíceis, além de me proporcionar alegrias e momentos incríveis, fazendo se cumprir Suas palavras sobre minha vida.

Ao meu marido Filipi Lozano por estar sempre comigo segurando a minha mão, me fazendo sorrir, ouvindo meus choros e lamentações, por me compreender, apoiar, me incentivar, pela paciência e por dividir comigo um amor tão lindo que me deu força para enfrentar cada obstáculo. Compartilho com você essa vitória, Te amo!

À minha mãe Edilene Franco e ao meu pai Manoel Messias por me tornarem a pessoa que eu sou hoje. Por não medirem esforços e sempre apoiarem as minhas decisões e os meus estudos. Aos meus irmãos, Emille, Rafael e Rebeca, cunhados Eville e Itamar, e lindos sobrinhos Ana Clara e Miguel; meus grandes amigos obrigada pelos momentos de descontração, e por acreditarem em mim. Família amo muito vocês, se cheguei até aqui foi porque tenho vocês na minha vida.

Às minhas amigas, Joiciana e Rita, se vocês não tivessem me incentivado a fazer o mestrado e dado continuidade, hoje não estaria aqui. Kelly, obrigada por me alegrar com seu sorriso, pelas suas palavras de carinho, sua atenção, generosidade, paciência, pelos conselhos pessoais e profissionais que tanto acrescentaram a minha vida. Vocês me mostraram que a amizade é um dos maiores tesouros de nossas vidas. Muito obrigada!

À Universidade Federal da Bahia e ao Programa de Pós- Graduação em Ciência de Alimentos, pela oportunidade de realização do curso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Renato Souza Cruz, pela oportunidade, paciência, confiança depositada, e apoio durante o percurso desse projeto.

Aos Professores Cíntia Maria Ariani Fontes e Christiano Vieira Pires, pelas sugestões e participação na banca de defesa.

A todos os laboratórios que serviram de suporte para o desenvolvimento da pesquisa e as professoras Dra. Geany Peruch e Dra. Márcia Nori.

A todos que direta ou indiretamente cooperaram para a execução desta pesquisa, muito obrigada!

*“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso!
Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o
seu Deus, estará com você por onde você andar”.*

Josué 1:9- Bíblia Sagrada

RESUMO

Caroço de abacate (*Persea americana* Mill) é um subproduto do processamento de frutas. Esse caroço é uma potencial fonte alternativa de amido. O amido é amplamente utilizado como ingrediente funcional em sistemas alimentares, e geralmente é combinado com aditivos como o sal, açúcares, ácidos e gorduras, entre outros nas formulações dos produtos. O objetivo do presente estudo foi realizar a caracterização físico-química, morfológica e tecnológica do amido extraído do caroço de abacate e a avaliação da consistência dos géis de amido na presença de aditivos. O rendimento de extração foi de 10,67 % de amido com uma umidade final de 15,36 %. O teor de amilose (%) foi superior ao de outros amidos de cereais e tubérculos. Os padrões de Difração de raio x confirmaram a presença de cristalinidade tipo B, típico de frutas e tubérculos, com grau de cristalinidade de 56,09 %. O poder de inchamento aumentou com a elevação da temperatura (acima de 70 °C). O amido do caroço de abacate apresentou taxa de sinérese de 42,5 %. A viscoamilografia mostrou que a viscosidade máxima foi superior ao relatado para o amido convencional de milho, além de se apresentar como um amido estável a altas temperaturas. A análise de TPA mostrou que os géis de amido do caroço de abacate adicionados com diferentes aditivos e concentrações variaram significativamente ($p < 0,05$) da amostra controle, principalmente nos perfis de dureza e gomosidade. As propriedades do amido do caroço de abacate indicam um amplo potencial de aplicação, podendo ser aproveitado diretamente nas indústrias de alimentos, tendo o seu uso limitado em alimentos sujeitos à conservação sob congelamento. Pode ainda ser utilizado em outras indústrias como a de cosméticos, fármacos ou de termoplásticos destinados à confecção de materiais, para os quais o caráter biodegradável seja desejável.

Palavras-chave: *Persea americana* Mill, subproduto, resíduo industrial, aditivos.

ABSTRACT

Avocado lump (*Persea americana* Mill) is a byproduct of fruit processing. This lump is a potential alternative source of starch. Starch is widely used as a functional ingredient in food systems, and is usually combined with additives such as salt, sugars, acids and fats, among others in product formulations. The objective of the present study was to perform the physico-chemical, morphological and technological characterization of the starch extracted from the avocado stone and to evaluate the consistency of starch gels in the presence of additives. Extraction yield was 10.67 % starch with a final moisture of 15.36 %. Amylose content (%) was higher than that of other cereal and tuber starches. X-ray diffraction patterns confirmed the presence of type B crystallinity, typical of fruits and tubers, with a degree of crystallinity of 56.09 %. The swelling power increased with elevation of temperature (above 70 °C). Avocado starch presented syneresis rate of 42.5 %. Viscoamilography showed that the maximum viscosity was higher than that reported for conventional maize starch, besides presenting as stable starch at high temperatures. TPA analysis showed that avocado starch gels added with different additives and concentrations varied significantly ($p < 0.05$) from the control sample, especially in the hardness and gum profiles. Properties of avocado starch indicate a wide potential of application and can be used directly in the food industry, having its limited use in foods subject to conservation under freezing. It may also be used in other industries such as cosmetics, pharmaceuticals or thermoplastics for the manufacture of materials for which biodegradability is desirable.

Key words: *Persea americana* Mill, by-product, industrial waste, additives.

LISTA DE ABREVIÇÕES, SÍMBOLOS E SIGLAS

α - alfa

β - beta

λ - gama

θ - teta

MEV- Microscopia eletrônica de varredura

DRX- Difração de raio X

TPA - Texture Profile Analysis

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

CEAGESP- Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo.

μm - micrómetro

μg - micrograma

kV- quilovolt

mA- miliampère

nm- nanômetro

rpm- Rotações por minuto

PI- Poder de enchimento

IS- Índice de solubilização

CAA- Capacidade de absorção de água

CAO- Capacidade de absorção de óleo

RVA- Rápido visco analisador

OH- Hidroxila

NaCl- Cloreto de sódio

pH- Potencial hidrogênio iônico

Dc - Grau de cristalinidade

ANOVA- Análise de variância

ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária

RDC- Resolução da Diretoria Colegiada

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Imagens ilustrativas do Abacate cv. “Hass”. Fruto (A), mesocarpo (B), endocarpo (C).....	17
Figura 2- Imagem que representa a estrutura da amilose: Molécula linear contendo ligações $\alpha(1\rightarrow4)$ que pode levar algumas ligações $\alpha(1\rightarrow6)$ moderadamente longas.....	20
Figura 3- Representação esquemática da conformação em hélice da amilose.....	20
Figura 4- Imagem que representa a estrutura da amilopectina: Molécula ramificada contendo ligações $\alpha(1\rightarrow4)$ e $\alpha(1\rightarrow6)$	21
Figura 5- Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C.....	21
Figura 6- Fotomicrografia de grânulos de amido de mandioca (A), batata (B) e milho (C)	24
Figura 7- Diagrama de difração de raios-x dos amidos de cristalinidade tipo A, B e C.....	26
Figura 8- Curva de viscosidade típica do RVA mostrando os parâmetros comumente avaliados.....	30
Figura 9- Curva típica de análise de perfil de textura (TPA). Dureza: F1; Coesividade: A2/A1; Adesividade: A3; Gomosidade: F1x(A2/A1); Elasticidade: L2/L1; Mastigabilidade: Gomosidade x Elasticidade; Resiliência: A5/A4.....	35
Figura 10- Esquema de extração do amido do caroço de abacate.....	37
Figura 11- Fotomicrografia obtida por MEV dos grânulos de amido extraído do caroço de abacate (<i>Persea americana</i> Mill).....	43
Figura 12- Gráfico que representa um Difrátograma de Raios-X de amido extraído do caroço de abacate (<i>Persea americana</i> Mill).....	44
Figura 13. Gráfico que representa o efeito do tempo de estocagem a 30 °C em função da transparência do gel do amido extraído do caroço de abacate (<i>Persea americana</i> Mill).....	45
Figura 14. Gráfico que representa o poder de inchamento (g/g) em função da temperatura para o amido extraído do caroço de abacate (<i>Persea americana</i> Mill).....	47
Figura 15. Gráfico que representa a capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) do amido extraído do caroço de abacate (<i>Persea americana</i> Mill).....	48
Figura 16. Gráfico que representa o percentual de sinérese do amido extraído do caroço de abacate (<i>Persea americana</i> Mill) após 7 ciclos de Congelamento/Descongelamento.....	49
Figura 17. Viscoamilograma do amido extraído do caroço de abacate (<i>Persea americana</i> Mill).....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Composição química dos caroços de frutos de abacate de alguns cultivares.....	18
Quadro 2- Variação do tamanho e forma dos grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas.....	23
Quadro 3- Intervalos de temperatura de gelatinização de alguns tipos de amidos.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados médios da análise do amido do caroço de abacate (<i>Persea americana</i> Mill).....	41
Tabela 2. Resultados médios do perfil de textura dos géis de amido do caroço de abacate (<i>Persea americana</i> Mill) adicionados de aditivos.....	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	16
3.1 Abacate	16
3.2 Amido	18
3.2.1 Amilose	19
3.2.2 Amilopectina.....	20
3.2.3 Substâncias não-amiláceas presentes no amido	22
3.2.4 Tamanho, forma e superfície do amido (estrutura externa)	23
3.2.5 Estrutura interna e cristalinidade do amido	24
3.3 Propriedades e técnicas de caracterização do amido	26
3.3.1 Gelatinização	26
3.3.2 Poder de inchamento (PI) e índice de solubilização (IS)	27
3.3.3 Capacidade de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (CAO).....	28
3.3.4 Estabilidade ao congelamento e descongelamento	29
3.3.5 Claridade de pasta	29
3.3.6 Viscosidade de pasta	29
3.4 Aditivos em Alimentos	31
3.4.1 Açúcares	31
3.4.2 Lipídeos	32
3.4.3 Sais	33
3.4.4 Ácidos	34
3.5 Textura em géis de amido	34
4. MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1 Material	35
4.2 Métodos	36
4.2.1 Extração do amido	36
4.2.2 Características físico-químicas do amido extraído	37
4.2.3 Características morfológicas e tecnológicas do amido extraído	37
4.2.3.1 Análise de tamanho, forma e densidade absoluta	37
4.2.3.2 Difração de Raios-X (DRX)	38
4.2.3.3 Claridade da pasta e tendência a retrogradação	39
4.2.3.4 Poder de inchamento.....	39
4.2.3.5 Capacidade de absorção de água e óleo	39
4.2.3.6 Estabilidade ao congelamento e descongelamento	40
4.2.3.7 Viscoamilografia.....	40
4.2.4 Análise de perfil de textura (TPA)	40
4.2.5 Análise estatística.....	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1 Características físico-químicas	41
5.2 Características morfológicas e tecnológicas do amido extraído	43
5.2.1 Análise de tamanho, forma e densidade absoluta	43

5.2.2 Difração de Raio-X (DRX)	44
5.2.3 Claridade de pasta e tendência a retrogradação	45
5.2.4 Poder de Inchamento (PI).....	46
5.2.5 Capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO)	48
5.2.6 Estabilidade ao congelamento e descongelamento	49
5.2.7 Viscoamilografia	50
5.3 Efeito dos aditivos nos géis de amido	51
6. CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

O amido é o carboidrato de reserva vegetal, extraído de partes comestíveis de cereais, tubérculos, frutas, raízes e rizomas (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES; 2015). Muitos autores consideram o amido como sendo a principal fonte de armazenamento de energia dos vegetais superiores, assim como, o alimento responsável por 70 % a 80 % das calorias consumidas pelo homem (FAN *et al.*, 2016). É considerado um homopolissacarídeo constituído por cadeias de amilose e amilopectina, sendo que as variações nas quantidades desses dois constituintes podem resultar em grânulos de amido com propriedades físico-químicas e funcionais diferentes, podendo afetar sua aplicação industriais ou em alimentos (PÉREZ; BERTOFT, 2010; VAMADEVAN; BERTOFT, 2015; ZHANG *et al.*, 2016).

Considerado como um dos polímeros mais importantes da indústria alimentícia, o amido, é amplamente utilizado como ingrediente funcional nesses sistemas (ZHANG *et al.*, 2016). Suas propriedades espessantes, gelificantes e estabilizantes são essenciais para conferir viscosidade, textura e consistência para as mais variadas aplicações, tais como na fabricação de alimentos, papel, adesivos e embalagens biodegradáveis (PÉREZ-PACHECO *et al.*, 2014; ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES; 2015). Com o passar dos anos nota-se a procura, pela maioria dos setores alimentícios, da utilização de amidos nativos que possuam propriedades específicas. Tais propriedades estão associadas à maior resistência a claridade da pasta, a acidez elevada, a temperaturas altas e baixas, a fortes tensões mecânicas e a utilização de ingredientes presentes durante a etapa de cozimento (ácidos, açúcares, gorduras e sais) (WATERSCHOOT *et al.*, 2015).

A crescente demanda de utilização de amido em produtos alimentícios vem fomentando os estudos das estruturas e características de fontes alternativas ou não convencionais desse constituinte (PASCOAL *et al.*, 2013; MADRUGA *et al.*, 2014; MELO NETO *et al.*, 2015; CORDOBA *et al.*, 2016; KAUR; SINGH, 2016; THORY; SANDHU, 2017; DE CASTRO *et al.*, 2018). Dessa forma, estudar as propriedades funcionais, propriedades físico-químicas e reológicas dos amidos de fontes não convencionais são fundamentais para acentuar sua funcionalidade e verificar sua aplicabilidade em produtos alimentícios, farmacêuticos, têxtil, embalagens e na indústria de papel.

O abacate (*Persea americana* Mill) possui considerável qualidade nutricional, destacando-se a presença de vitaminas, tais como, β -caroteno, vitamina E, retinol, ácido ascórbico, tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina e ácido fólico, estas são importantes para saúde e bem-estar geral. Apresenta ainda uma casca verde escuro-oliva e uma polpa verde-amarelada espessa e rica em óleos monoinsaturados (DUARTE *et al.*, 2016; LEITE *et al.*, 2013).

Os caroços de abacate são um subproduto considerado de alto teor de amido, tornando uma promissora fonte alternativa de amido não convencional. Segundo Tango *et al.* (2004), dependendo da variedade de abacate, o teor de amido no caroço pode variar entre 7,8 e 29,3 % (em base seca).

Industrialmente o abacate é usado para produção de óleos essenciais e com isso é gerada uma biomassa formada por casca e caroço. Tango *et al.* (2004) estudaram diferentes variedades de abacate, e de acordo com esses autores, a proporção de casca, polpa e caroço presentes no abacate 'Hass' é, respectivamente, de 13,5; 67,5 e 19,0 %, e de 28,13; 58,71 e 13,6 %, de acordo com Daiuto *et al.* (2014). Devido à grande quantidade de resíduos industriais, produzidos por tonelada de extração de óleos, estudos de aproveitamento desses resíduos tornam-se interessantes.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente estudo teve como objetivo realizar a extração e caracterização do amido de uma fonte não convencional, o caroço de abacate, visando sua aplicação como ingrediente na indústria de alimentos.

2.2 Objetivos Específicos

- Extrair o amido do caroço de abacate;
- Avaliar o rendimento do amido extraído;
- Caracterizar quimicamente o amido do caroço de abacate, por meio de análises físico-químicas;
- Analisar a morfologia do grânulo de amido do caroço de abacate, através das técnicas de análise de tamanho, Microscopia Eletrônica de Varredura e Difração de raio-x;
- Estudar as propriedades tecnológicas do amido extraído;
- Observar o efeito na consistência dos géis de amido na presença de aditivos como açúcar cristal, sal comercial, emulsificante e ácido cítrico, por meio da análise do perfil de textura (TPA).

3. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

3.1 Abacate

O abacate (*Persea americana* Mill.) é uma importante fruta tropical nativa da América Central e México, e produzida em quase todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo (MOOZ *et al.*, 2012). Como o abacateiro é originário do continente americano, a cultura somente tornou-se conhecida dos povos europeus e de outras regiões do mundo muitos anos depois do descobrimento da América. Entretanto, devido ao grande valor dos seus frutos, o abacateiro já era cultivado e conhecido pelas civilizações pré-colombianas, são eles os Maias, os Astecas e os Incas (DONADIO, 1995; KOLLER, 2002).

O México é o líder mundial em produção e exportação de abacate, com 1 milhão e 694 mil toneladas; em 2016, representou 30 % da produção global de abacate (SECRETARÍA DE ECONOMÍA, 2017). Segundo dados do IBGE (2016) na Pesquisa Agrícola de Municípios, a produção brasileira de Abacates em 2016 ficou em 195.492 toneladas, e a área brasileira destinada a produção de abacate foi de 10.868 hectares. Já no ano de 2017, em todo o país, aponta o IBGE, houve aumento de 36,12 % na área plantada com abacate desde 2014, para 13.000 hectares, e na produção apresentou crescimento de 35,92 % no período e atingiu 213.000 toneladas (SNA, 2018). O destaque da produção fica para a região Sudeste principalmente no Estado de São Paulo, acompanhado por Minas Gerais e Paraná. O Abacate está em 12º lugar no consumo de frutas dos brasileiros, segundo dados do CEAGESP (2016).

O abacateiro pertence à família *Lauraceae*, que se distribui geograficamente nas Américas, Ásia tropical, Austrália, Madagascar e África do Sul (FERRARI, 2015). De acordo com Campbell e Malo (1976), o abacate pertence ao gênero *Persea*, e se divide em dois subgêneros: *Persea* e *Eriodaphne*. Ao subgênero *Persea*, pertencem todas as cultivares usadas para o consumo humano dos frutos. As variedades do subgênero *Eriodaphne* produzem frutos de qualidade inferior, em geral não comestíveis, pelo baixo rendimento ou ausência total de polpa. O abacateiro compreende três espécies do subgênero *Persea*, que caracterizam três tipos: Mexicana - *Persea americana* Mill var. *Drymifolia*; Antilhana - *Persea americana* Mill var. *Americana*; e Guatemalense – *Persea nubigena* var. *Guatemalensis*.

No Brasil são encontradas um grande número de variedades cujos frutos se diferem na composição química, na forma e na cor (TANGO *et al.*, 2004; DEMBITSKY *et al.*, 2011). As variedades estimadas no mercado nacional para consumo são as de tamanho grande e com baixo teor de óleo. Entretanto, no mercado de exportação o fruto pequeno com alto teor de óleo tem maior aceitação (LEONEL; SAMPAIO, 2008).

No mercado interno, as cultivares mais comercializadas são ‘Simmonds’, ‘Barbieri’, ‘Collison’, ‘Quintal’, ‘Fortuna’, ‘Breda’, ‘Reis’, ‘Solano’, ‘Imperador’, ‘Ouro Verde’, ‘Campinas’ ‘Geada’ e ‘Margarida’ (MOOZ *et al.*, 2012), com teor de óleo que varia de 2 a 20 %, (TANGO *et al.*, 2004, OLIVEIRA *et al.*, 2013). Para exportação, as principais são ‘Hass’ e ‘Fuerte’, conhecidas popularmente como ‘Abacado’, que em menor escala, também são consumidas no país (MOOZ *et al.*, 2012) e apresentam teor de óleo entre 21 e 26 % (OLIVEIRA *et al.*, 2013). A Figura 1 mostra o fruto e a polpa, juntamente com o caroço, do abacate do cultivar ‘Hass’.



Figura 1- Imagens ilustrativas do Abacate cv. “Hass”. Fruto (A), mesocarpo (B), endocarpo (C).
Fonte: Autora.

O cultivar Hass é um híbrido guatemalense-mexicano, o fruto é oval- piriforme, pesa de 180 a 300 gramas, possui casca grossa, rugosa e de cor verde, que durante o amadurecimento escurece para marrom escuro. A época de produção no Brasil é de junho a setembro (DONADIO, 1995).

O abacate está entre as frutas mais vendidas no mundo e se destaca bastante pela sua qualidade nutricional. No Brasil, normalmente é utilizado em pratos doces, seja fresco com açúcar ou creme, vitaminas ou sorvetes, mas também pode ser utilizado em pratos salgados como o guacamole, saladas, sopas e molhos (DAIUTO *et al.*, 2014; DUARTE *et al.*, 2016). O mercado externo do abacate tem crescido devido aos avanços nas tecnologias de pós-colheita, reduções de barreiras comerciais, forte demanda pelo consumo baseado na divulgação dos benefícios na saúde, além do aumento de áreas e incentivos em países produtores (DUARTE *et al.*, 2016).

O abacate é fonte de muitos nutrientes, destacando-se as fibras e vitaminas. Apesar de sua versatilidade e valor nutritivo, cada 100 g da fruta contém cerca de 180 calorias, sendo 85 % delas são provenientes da gordura. Além disso, é um fruto climatérico, ou seja, que mantém sua evolução de amadurecimento mesmo após a colheita (DUARTE *et al.*, 2016). O Quadro 1 contém a composição química dos caroços de abacate de alguns cultivares.

Quadro 1-Composição química dos caroços de frutos de abacate de alguns cultivares.

Cultivar	Composição Química (%)							
	Umid.	Resíduo Mineral	Lipídeos	Proteína	Fibra	Amido	Subst. fenólicas	Carb.
Fortuna	65,7	1,8	0,7	2,1	3,1	17,7	3,8	5,1
Fuerte	56,3	0,9	0,7	2,0	1,5	24,7	3,2	10,7
Hass	53,6	0,9	0,8	1,6	1,6	29,3	3,1	9,1
Simmonds	70,7	0,4	0,9	1,7	0,8	7,8	4,5	13,2
Quintal	65,6	1,1	1,0	2,3	1,8	12,8	3,8	11,6
Wagner	55,5	1,0	0,8	2,0	2,4	25,5	3,7	9,1

Fonte: Adaptado de Tango *et al.* (2004).

A polpa de abacate, por apresentar elevado teor de lipídeo, dependendo do cultivar, pode ser uma opção para a indústria de óleo, porém durante a sua extração é gerada uma biomassa formada por casca e caroço (DAIUTO *et al.*, 2014). Devido à grande quantidade de resíduos industriais, o caroço de abacate pode ser usado como uma nova fonte alternativa de amido, portanto estudos de aproveitamento desses resíduos tornam-se interessantes, sendo uma solução para o problema em questão.

Lacerda *et al.* (2014) estudaram as propriedades térmicas, estruturais e reológicas do amido modificado de caroços de abacate (*Persea americana* Mill) e verificaram que as amostras modificadas apresentaram diminuição na entalpia de gelatinização e rugosidade média, bem como no grau de cristalinidade relativa e propriedades de espastamento. Chel-Guerrero *et al.* (2016) descreveram e compararam algumas propriedades funcionais e reológicas do amido isolado do caroço de abacate usando dois métodos diferentes de extração, chegando a conclusão de que o tipo de solvente não teve influência nas propriedades do amido.

3.2 Amido

Produzido enzimaticamente pelas plantas como fonte de energia, o amido é armazenado na forma de grânulos (THORY; SANDHU, 2017). Órgãos de reserva da planta, tais como semente, raízes e frutos, mantém o amido armazenado para ser consumido na germinação e desenvolvimento de uma nova planta. O amido se destaca dos demais carboidratos devido as suas características químicas, físicas e aos seus aspectos nutricionais, tendo propriedades semelhantes a fibras, que apresentam benefícios fisiológicos em humanos e podem prevenir doenças (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES; 2015).

Este carboidrato, de acordo com Santana & Meireles (2014), representa um importante componente de muitos produtos agrícolas como leguminosas com 25 a 50 % de amido; cereais, cerca de 30 a 80 %; e em tuberosas com 60 a 90 %, em base seca, e frutas imaturas ou verdes, 40 % a 70 % em base seca.

Nas indústrias agroalimentares, os amidos e derivados são utilizados como ingredientes, componentes básicos ou aditivos adicionados em baixas quantidades para melhorar a fabricação, apresentação ou conservação. Dependendo de sua fonte botânica e de sua natureza nativa ou modificada, o amido pode, entre outras funções, proporcionar textura, servir como espessante, favorecer o processamento, fornecer sólidos em suspensão ou proteger os alimentos durante o processamento, executando uma importante função no controle das características de alimentos processados (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015).

O amido é composto basicamente por dois polissacarídeos, a amilose e a amilopectina. A relação entre esses polissacarídeos, bem como a forma e o tamanho do grânulo influenciam de forma direta nas suas propriedades funcionais do amido (LIN *et al.*, 2016).

Estudos sobre a relação existente entre a estrutura molecular do amido e seu comportamento em algumas propriedades físico-químicas sugerem que as características estruturais, como distribuição de comprimento das cadeias de amilopectina, grau de cristalinidade no grânulo e teor de amilose, poderiam estar totalmente relacionadas com a gelatinização e retrogradação, tais como intumescimento do grânulo, lixiviação de amilose e amilopectina, perda de birrefringência, cristalinidade e recristalização (SANDHU; SINGH, 2007; ROSICKA-KACZMAREK *et al.*, 2018). Com isso, é de suma importância o conhecimento a respeito da estrutura e das características dos componentes do amido e sua relação com propriedades físico-químicas.

3.2.1 Amilose

A amilose é composta de unidades de D-glicose com ligações glicosídicas $\alpha(1 \rightarrow 4)$, originando uma cadeia linear (Figura 2). A amilose e a amilopectina estão associadas entre si por ligações de hidrogênio (TESTER; KARKALAS; QI, 2004). O conteúdo de amilose varia de acordo com a fonte botânica, maturidade fisiológica e condições de solo e clima. Na maioria dos grãos, os níveis de amilose tipicamente encontrados são entre 15 e 28 %. Alguns cereais denominados cerosos (*waxy*), são praticamente livres de amilose apresentando quantidade mínima em sua composição granular inferior a 15 % (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015). A molécula de amilose possui massa molar de 10^5 a 10^6 g.mol⁻¹ e número médio de grau de polimerização de 500-5000 unidades de resíduos de glicose, com comprimentos médios de cadeia de 250-670 unidades (LEMOS *et al.*, 2017).

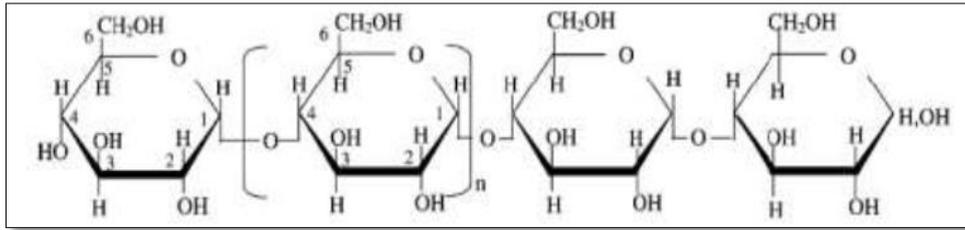


Figura 2- Imagem que representa a estrutura da amilose: Molécula linear contendo ligações $\alpha(1\rightarrow4)$
 Fonte: Tester, Karkalas, Qi (2004).

Devido à configuração α -D-(1,4), a amilose apresenta tendência para assumir conformação em hélice, como mostra a Figura 3. A molécula de amilose, apresenta geralmente aproximadamente seis moléculas de glicose por dobra de hélice. Devido à disposição das unidades de glicose na amilose, forma-se uma hélice com interior hidrofóbico, neste os átomos de iodo podem se acomodar formando um composto de cor azul intensa, sendo essa reação a base de uma das técnicas utilizadas para a determinação de amilose (*blue value*) e indicação da presença de amido (ZHU *et al.*, 2008).

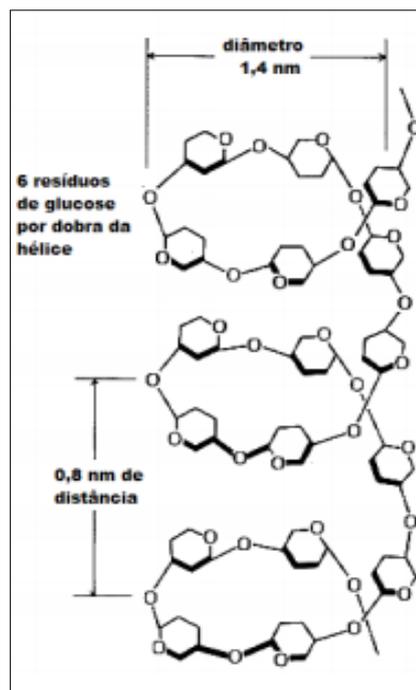


Figura 3- Representação esquemática da conformação em hélice da amilose.
 Fonte: Pereira (2008).

3.2.2 Amilopectina

A amilopectina (Figura 4) é composta por unidades de D-glicose unidas em $\alpha(1\rightarrow4)$ com cadeias de glicose ligadas em $\alpha(1\rightarrow6)$, originando uma estrutura ramificada. A amilopectina é considerada uma das maiores biomoléculas encontradas na natureza, com peso molecular que varia entre 50 e 500×10^6 Daltons (VAMADEVAN; BERTOFT, 2015). Esta molécula representa em média

70 a 85 % do grânulo A amilopectina apresenta um grau de polimerização médio de 4700 a 12800 unidades de resíduos de glicose, e é formada por cadeias de resíduos de α -D-glicose (entre 17 e 25 unidades) unidos em α -(1 \rightarrow 4), sendo fortemente ramificada, com 4 a 6 % das ligações em α -(1 \rightarrow 6) (TESTER; KARKALAS; QI, 2004; BENINCA *et al.*, 2013; WATERSCHOOT *et al.*, 2015).

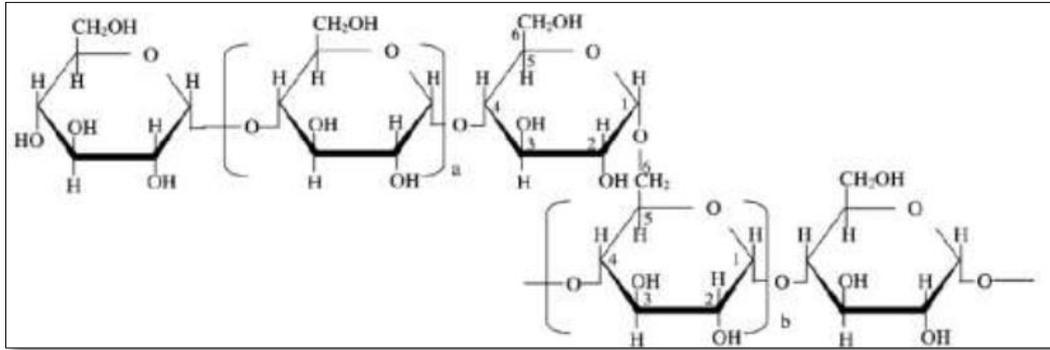


Figura 4- Imagem que representa a estrutura da amilopectina: Molécula ramificada contendo ligações α (1 \rightarrow 4) e α (1 \rightarrow 6). Fonte: Tester, Karkalas, Qi (2004).

As cadeias externas da amilopectina são organizadas na forma de dupla hélice e algumas formam estruturas cristalinas. A dupla hélice não possui uma cavidade central, assim como acontece na conformação da amilose, devido à presença das ramificações no interior. Com isso, a habilidade de formar complexos com outras moléculas é muito menor na amilopectina (LEMONS *et al.*, 2017).

As cadeias de amilopectina estão organizadas de maneiras diferentes, sugerindo uma classificação de cadeias do tipo A, B e C, como mostra a Figura 5.

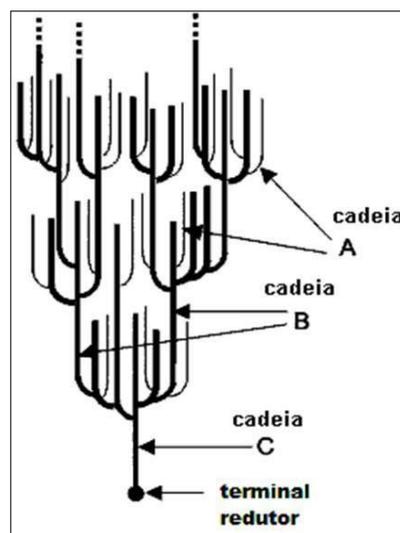


Figura 5-Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C.

Fonte: Adaptado de Parker & Ring (2001).

A molécula de amilopectina é constituída por uma cadeia principal “C”, que é única em uma

molécula de amilopectina, sendo composta por ligações α -(1,4) e α -(1,6), com grupamento terminal redutor e numerosas cadeias ramificadas “A” e “B”. As cadeias “A” são compostas por uma cadeia não-redutora de glicoses unidas por ligações α -(1,4) sem ramificações, sendo unida a uma cadeia tipo B por meio de ligações α -(1,6) e são mais externas; e as cadeias “B” são mais internas e ramificadas, são compostas por glicoses ligadas em α -(1,4) e α -(1,6), contendo uma ou várias cadeias tipo A e podem conter cadeias tipo B (ELIASSON, 2004; VAMADEVAN; BERTOFT, 2015).

Segundo Singh, Kaur & McCarthy (2007) a amilopectina absorve bastante água durante o cozimento do amido, sendo a responsável pelo inchamento do grânulo. Portanto, amidos ricos em amilopectina são mais solúveis em água a 95 °C do que os que contêm mais amilose em sua composição.

3.2.3 Substâncias não-amiláceas presentes no amido

Conforme Oyeyinka & Oyeyinka (2018), embora o amido seja quimicamente composto apenas por moléculas de glicose, pode apresentar pequenas quantidades de lipídios, proteínas e cinzas, esses componentes são denominados de material intermediário. Estes constituintes minúsculos são frequentemente usados com um índice de pureza do amido e pode afetar significativamente a funcionalidade do amido. A quantidade destas impurezas depende da composição da planta e da eficiência do método de purificação utilizados no processo extrativo. Estes são pertencentes a compostos provenientes principalmente de fragmentos de parede celular e componentes superficiais das células (BALDWIN, 2001).

A fração de lipídeos no amido, quando elevada, pode alterar características como a fixação de cor, o desenvolvimento de aromas e formação de complexos. Além disso, pode causar um efeito redutor no inchamento dos grânulos individualmente (TESTER; KARKALAS; QI, 2004). Os complexos de amilose com gorduras podem alterar as temperaturas de gelatinização do amido, alterando a textura e o perfil da viscosidade da pasta resultante e limitando a retrogradação (SINGH *et al.*, 2003; SINGH; KAUR; MCCARTHY, 2007).

Normalmente, os amidos apresentam pequenas quantidades de minerais, como cálcio, magnésio, fósforo, potássio e sódio, dentre os quais apenas o fósforo apresenta significância funcional. O fósforo, nas diversas formas que pode ocorrer, pode aparecer ligado covalentemente aos grânulos nativos, alterando algumas propriedades reológicas como pastas muito claras, aumento na viscosidade e na consistência (TESTER; KARKALAS; QI, 2004; BATISTA; SILVA; LIBERATO, 2010). No caso das proteínas, estas podem ocasionar sabor e cor desagradáveis ao amido pela reação entre os aminoácidos e os açúcares redutores, reação de Maillard, durante o processamento, além de afetar a hidratação e interferir na interação entre os grânulos e as enzimas hidrolíticas (BALDWIN, 2001; VAMADEVAN; BERTOFT, 2015).

3.2.4 Tamanho, forma e superfície do amido (estrutura externa)

O amido apresenta-se na forma de grânulos de tamanhos e formatos variados que são prescritos pelo sistema biossintético e pela condição física imposta pelo contorno do tecido. Os grânulos do amido podem apresentar formas arredondadas, oval, poliédricas, entre outras (SINGH; KAUR; MCCARTHY, 2007).

Ao microscópio óptico, o grânulo de amido parece ser constituído de uma massa homogênea, mas por análise comparativa a outros grânulos, nota-se variações no formato, tamanho (1 a 100 μm) e simetria (LINDEBOOM; CHANG; TYLER, 2004). O Quadro 2 apresenta algumas variações de tamanho e forma de diferentes fontes botânicas. Normalmente o tamanho do grânulo se refere ao diâmetro médio do grânulo. Para isso, é utilizada uma classificação de tamanho em grânulos grandes (>25 μm), médios (10 a 25 μm), pequenos (5 a 10 μm) e muito pequenos (< 5 μm) (WATERSCHOOT *et al.*, 2015).

Quadro 2- Variação do tamanho e forma dos grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas.

Origem do amido	Tamanho médio (μm)	Forma
Trigo Normal	13-19 (médio)	Lenticular
Milho Normal	12-15 (médio)	Poliédrico e arredondado
Batata Normal	40 (grande)	Oval
Arroz	6 (pequeno)	Poliédrico
Mandioca	5 a 35 (pequeno a grande)	Redondo ou oval

Fonte: Adaptado de Buléon *et al.* (1998).

O tamanho da partícula, inclusive a distribuição do tamanho, são algumas das características que fortemente influenciam nas propriedades funcionais do grânulo de amido (LIN *et al.*, 2016). Lindeboom, Chang & Tyler (2004) reportaram que os grânulos menores têm um maior poder de expansão, menor solubilidade, maior capacidade de retenção de água e baixa suscetibilidade enzimática à α -amilase. Tais características dos grânulos de amido estão entre os fatores de importância na determinação de seus usos potenciais.

Segundo Buleón *et al.*, (1998), quando observados em MEV, a maioria dos grânulos apresentam superfície lisa e sem traços marcantes, exceto por algumas estrias e fissuras visíveis em alguns grânulos. A maioria dos grânulos é oval, embora apresente formas redondas, esféricas, poligonais e também formas irregulares. Na Figura 6 está representada as fotomicrografias de diferentes vegetais obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A análise de imagens é muito mais rápida que o método microscópico tradicional. A MEV é frequentemente usada devido ao comprimento de onda curto do feixe de elétrons, o que torna possível determinar o tamanho do grânulo mais precisamente do que no microscópio de luz (CHMELIK, 2001).

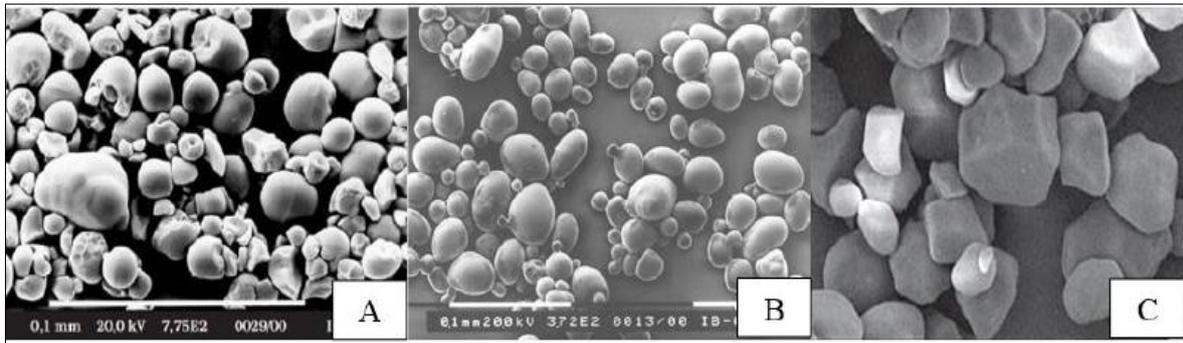


Figura 6- Fotomicrografia de grânulos de amido de mandioquinha-salsa (A), batata (B) e milho (C).
Fonte: Adaptado de Leonel (2007).

O tamanho do grânulo de amido é importante em diversas aplicações, influencia a superfície de reação e interfere na velocidade de decantação durante os processos industriais. Grânulos com diâmetro homogêneo influem na biodegradabilidade dos amidos contidos em plásticos enquanto que grânulos de amido de tamanho grande têm sido evitados em produtos comestíveis como molhos e sobremesas lácteas que exigem uma sensação de maciez na boca (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015; LEMOS *et al.*, 2017). Os amidos nativos de maior tamanho de grânulo tendem a inchar a temperaturas menores. Segundo Vamadevan & Bertoft (2015) as propriedades térmicas de amidos também estão estreitamente relacionadas com o tamanho e a distribuição de tamanho dos seus grânulos.

De modo geral, pode-se dizer que a composição do amido, a gelatinização e as propriedades de pasta, a suscetibilidade enzimática, as características de cozimento e as propriedades de intumescimento e cristalinidade, são todos afetados pelo tamanho do grânulo. O conteúdo de amilose é mais alto em grânulos maiores, entretanto, o conteúdo de lipídeos é mais elevado em grânulos menores (LINDEBOOM; CHANG; TYLER, 2004; SINGH; KAUR; MCCARTHY, 2007; LIN *et al.*, 2016).

3.2.5 Estrutura interna e cristalinidade do amido

Internamente, o material do grânulo está organizado em anéis concêntricos, conhecidos como anéis de crescimento. Os anéis de crescimento são organizados em regiões cristalinas e amorfas alternadas, motivo pelo qual é frequentemente descrito como um polímero semicristalino ou parcialmente cristalino. A fusão desses cristais e o rompimento dessa estrutura organizada formam a base para a gelatinização (BLAZEK; GILBERT, 2011; LIN *et al.*, 2016).

Uma técnica bastante utilizada no estudo da estrutura dos grânulos de amido é o uso da luz polarizada através de um microscópio óptico, o que permite visualizar, como consequência da cristalinidade do grânulo, uma cruz de malta, que se caracteriza pela orientação radial das

macromoléculas, tendo o “hilum” no centro da cruz, que é considerado o ponto original de crescimento do grânulo. Quando submetido a essa luz polarizada os grânulos de amido apresentam birrefringência (ELIASSON, 2004; BENINCA *et al.*, 2013). Essa propriedade de birrefringência é devida ao alto grau de orientação molecular interna, não tendo qualquer relação com a forma cristalina em particular.

A parte linear da molécula de amilopectina forma estruturas helicoidais duplas e são elas que dão origem às regiões cristalinas dos grânulos. A região amorfa é composta pelas cadeias de amilose e pelas ramificações da amilopectina (LIN *et al.*, 2016). No entanto, não existe uma demarcação entre as regiões amorfas e cristalinas; o que existe são evidências de uma estrutura supramolecular onde as fases amorfas e cristalinas são interdependentes (ELIASSON, 2004).

A zona amorfa dos grânulos de amido é a região menos densa, mais suscetível aos ataques enzimáticos e absorve mais água em temperaturas abaixo da temperatura de gelatinização (LEMOS *et al.*, 2017). Por outro lado, são as regiões cristalinas do amido que mantêm a estrutura do grânulo, controlam o seu comportamento na presença de água e os tornam mais ou menos resistentes aos ataques químicos e enzimáticos (BLAZEK; GILBERT, 2011).

A região cristalina é constituída pelas cadeias laterais da amilopectina e pode ser caracterizada em três principais padrões de difrações de raios-X, os tipos A, B e C, enquanto que os pontos de ramificação e a amilose são os principais componentes das regiões amorfas (OYEYINKA; OYEYINKA, 2018).

Segundo HUANG *et al.* (2015) estes padrões têm as seguintes características:

- Tipo A apresenta maiores picos de intensidade nos ângulos de difração em 15, 17, 18 e 23°, sendo típico dos amidos de cereais. São formados a partir de cadeias externas relativamente curtas das moléculas de amilopectina, entre 23 e 29 unidades de glicose;
- Tipo B apresenta maiores picos de intensidade nos ângulos de difração em 5,6, 15, 17, 22 e 23°, sendo mais comum nos amidos de tuberosas e frutas, amidos retrogradados e amidos ricos em amilose. São formados a partir de cadeias externas maiores das moléculas de amilopectina, entre 30 e 44 unidades de glicose. Além de serem considerados mais ricos em amilose, esses tipos de amido apresentam formatos e tamanhos semelhantes e são resistentes a hidrólise, tanto enzimática quanto ácida (BLAZEK; GILBERT, 2011).
- Tipo C é uma mistura dos precedentes sendo o amido de mandioca um exemplo típico. Classifica-se do tipo C com características de A e B, mas predominantemente A. Apresentam picos de intensidade nos ângulos de difração em 5,6; 15,3, 17,3 e 23,5°. Este tipo é característico de amido de sementes e leguminosas, como a ervilha e feijão. É composto por moléculas de amilopectina de cadeias com 26 a 29 moléculas de glicose (TESTER; KARKALAS; QI, 2004; VAMADEVAN; BERTOFT, 2015).

Na Figura 7 estão apresentados difratogramas de raios-X do tipo A, B e C respectivamente.

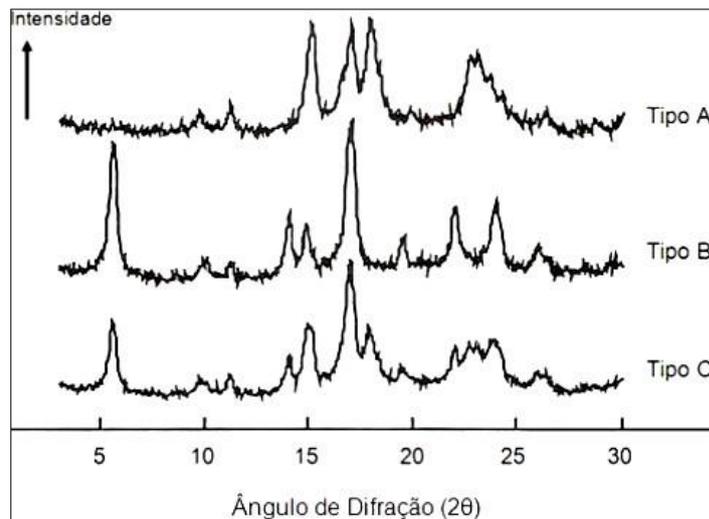


Figura 7-Diagrama de difração de raios-x dos amidos de cristalinidade tipo A, B e C.

Fonte: Adaptado de Buléon *et al.* (1998).

De acordo com Denardin & Silva (2009), todos os amidos são semicristalinos e a cristalinidade é calculada a partir da área dos picos de difração, sendo entre 15 e 45 % para a maioria dos amidos. A interpretação destes picos permite calcular a estrutura molecular dos tipos cristalinos, sendo a organização das hélices pareadas (zonas cristalinas) que diferencia os picos cristalinos.

3.3 Propriedades e técnicas de caracterização do amido

As propriedades funcionais do amido, tais como a gelatinização, a claridade de pasta, a consistência ou viscosidade da pasta de amido e a textura de sua pasta irão caracterizar o amido. Dessa forma, compreender essas propriedades é importante para o efetivo uso de amidos em composição de alimentos e outras aplicações industriais (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015).

Segundo Lemos *et al.* (2017) a estrutura granular, a quantidade e organização da amilose e amilopectina dentro do grânulo, são responsáveis pelas propriedades funcionais que o amido desempenha.

3.3.1 Gelatinização

A gelatinização de amido pode ser definida como o colapso do arranjo molecular quando o grânulo de amido sofre mudanças irreversíveis em suas propriedades, durante o aquecimento dos grânulos em água, promovendo o intumescimento do grânulo. Durante esse processo, ocorre perda da organização estrutural, com fusão da cristalinidade nativa, perda de birrefringência e solubilização parcial/total do amido presente (AI *et al.*, 2016).

Sabe-se que a gelatinização tem início no “hilum” e se expande rapidamente para a periferia, ocorrendo inicialmente nas regiões amorfas devido à fragilidade das ligações de hidrogênio nessas áreas, ao contrário do que ocorre nas regiões cristalinas (BENINCA *et al.*, 2013). O conjunto de mudanças que envolvem a ruptura da estrutura granular, o inchamento, a hidratação e a solubilização das moléculas de amido são definidos como o final da gelatinização (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015).

A gelatinização geralmente ocorre em uma faixa de temperatura característica para cada fonte de amido (entre 55 a 80 °C, dependendo do tipo de amido). Existem muitos fatores que afetam essa temperatura de gelatinização, sendo os principais deles o tamanho, a forma e a composição do amido. Isso ocorre porque a água atua como agente plastificante nos cristais de amido (AI; JANE, 2018). Alguns exemplos de amidos e suas respectivas temperaturas de gelatinização são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3- Intervalos de temperatura de gelatinização de alguns tipos de amidos.

Amido	Intervalo de gelatinização (°C)
Batata	56-66
Mandioca	58-70
Milho	62-72
Sorgo	68-75
Trigo	52-63
Arroz	61-77
Milho ceroso	63-72

Fonte: BOBBIO; BOBBIO (2001).

Devido à maior importância da amilopectina na cristalinidade do grânulo de amido, a presença da amilose reduz o ponto de fusão das regiões cristalinas e a energia necessária para o início da gelatinização uma vez que mais energia é necessária para iniciar a fusão na ausência de regiões amorfas ricas em amilose. Essa correlação indica que amidos com maior conteúdo de amilose, por apresentarem mais regiões amorfas e menos regiões cristalinas, apresentam menores temperaturas de gelatinização (DENARDIN; SILVA, 2009; LEMOS *et al.*, 2017).

3.3.2 Poder de inchamento (PI) e índice de solubilização (IS)

O poder de inchamento é definido como o peso do sedimento intumescido (g) por grama de amido, e pode ser determinado pelo aquecimento do amido em excesso de água. A solubilidade é expressa como a porcentagem (em peso) da amostra que é dissolvida após o aquecimento e pode ser

determinada na mesma suspensão (LEACH; McCOWEN; SCHOCH, 1959).

Os grânulos de amido intactos não são solúveis em água fria, mas podem reter pequenas quantidades de água, ocasionando um pequeno intumescimento, porém de forma reversível no momento em que esses grânulos são desidratados (WATERSHOOT *et al.*, 2015). No entanto, se a superfície do grânulo tiver sido destruída pela moagem, a absorção de água pode ser facilitada. O poder de inchamento é uma medida da capacidade de hidratação dos grânulos, porque a sua determinação consiste no peso do grânulo intumescido (inchado) e da água oclusa (NÚÑEZ-SANTIAGO; BELLO-PÉREZ; TECANTE, 2004).

De acordo com Ai & Jane (2018), quando o amido é aquecido em excesso de água, acima da temperatura de empastamento, a estrutura cristalina é rompida devido ao relaxamento das interações de ponte de hidrogênio e à interação das moléculas de água com os grupos hidroxilas da amilose e da amilopectina. Isso causa um aumento do tamanho dos grânulos devido ao inchamento e também ocorre parcial solubilização, resultando no aparecimento das propriedades viscoelásticas do amido. Segundo Núñez-Santiago, Bello-Pérez & Tecante (2004) com a entrada de água, grande parte da amilose deixa os grânulos de amido, contribuindo para o índice de solubilização, determinado após centrifugação do gel de amido, no sobrenadante.

A tendência para a saída da amilose depende da conformação do grânulo e do envolvimento desta com as regiões amorfas. Assim, a avaliação do poder de inchamento e do índice de solubilização contribui para estimar o tipo de organização existente no interior dos grânulos de amido (LEACH; McCOWEN; SCHOCH, 1959).

A amilopectina contribui para o intumescimento do grânulo, enquanto a amilose e os lipídios o inibem. De acordo com Lemos *et al.* (2017) a amilose desempenha um papel importante na restrição do intumescimento inicial já que a expansão prossegue mais rapidamente depois da amilose ter sido exsudada.

3.3.3 Capacidade de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (CAO)

Segundo Ai & Jane (2018), as moléculas de água intimamente absorvida às macromoléculas são denominadas “água ligada” e refletem a capacidade de uma superfície molecular em formar ligações fracas, não-covalentes, com a água. O teor de água ligada associado aos grânulos de amido influencia as características de expansão dos mesmos. A capacidade de ligação dos grânulos com a água é atribuída à perda de associação das moléculas de amilose e amilopectina do amido no grânulo nativo (VAMADEVAN; BERTOFT, 2015).

Amidos que apresentam alta capacidade de absorção de água são desejáveis para o preparo de sopas, mingaus e pudins instantâneos. Já a baixa capacidade de absorção de óleo é um atributo desejável em produtos de fritura, como snacks e biscoitos. Quanto maior a fração de amilopectina,

maior a absorção de óleo. Já, em relação ao teor de amilose apresenta comportamento inversamente proporcional (ROSICKA-KACZMAREK *et al.*, 2018).

3.3.4 Estabilidade ao congelamento e descongelamento

De acordo com White, Abbas & Johnson (1989), a análise de resistência a ciclos de congelamento e descongelamento é importante para caracterizar o amido em termos de sua aplicabilidade em alimentos refrigerados e/ou congelados, visto que a liberação de água causa alterações na textura, com perda de fluidos acelerando assim a perda de qualidade final do produto.

A retrogradação é um processo de cristalização das moléculas de amido que ocorre pela forte tendência de formação de interações de hidrogênio entre moléculas adjacentes. A associação das moléculas do amido propicia o desenvolvimento de uma rede tridimensional mantida coesa pelas áreas cristalinas. Esta rede é formada por grânulos de amido parcialmente inchados e componentes do amido em solução. A formação desta rede durante o resfriamento resulta na formação de géis (ARUNYANART; CHAROENREIN, 2008). Com o tempo, este gel formado se torna gomoso e tem a tendência de liberar água. Esse fenômeno é conhecido como sinérese, que é uma propriedade indesejável principalmente para produtos prontos como pudins, flans, entre outros produtos os quais são congelados e descongelados (ROSICKA-KACZMAREK *et al.*, 2018).

Segundo Vamadevan & Bertoft (2015) o nome retrogradação é dado porque o amido volta à sua condição de insolubilização em água fria, fenômeno frequentemente encontrado em pastas de amido envelhecidas e/ou refrigeradas e/ou congeladas. A retrogradação é um fenômeno complexo e varia de acordo com diversos fatores, como temperatura e tempo de armazenamento, fonte de amido, concentração dos grânulos e a presença de outros componentes como lipídeos e açúcares, que podem influenciar o comportamento geral do amido (ZHANG; TONG; REN, 2012).

3.3.5 Claridade de pasta

A claridade da pasta de amido é um atributo importante de qualidade de um produto e varia consideravelmente conforme a fonte botânica. Quanto a sua utilização, amidos usados como espessantes em recheios de tortas e geléias devem apresentar alta clareza, por outro lado, amidos usados em molhos para saladas, sopas e pudins devem ser opacos (CRAIG *et al.*, 1989).

A claridade de pasta de amidos também tem relação com outras características tecnológicas. De maneira geral, amidos com alta tendência a retrogradação produzem pastas mais opacas (AI; JANE, 2018). De acordo com Lemos *et al.* (2017), maiores teores de amilose no amido resultam em pastas mais opacas enquanto teores menores propiciam pastas mais claras. A transparência da pasta é afetada também pelo pH, presença de sais e procedimentos de solubilização.

3.3.6 Viscosidade de pasta

De acordo com Waterschoot *et al.* (2015) a viscosidade é uma das propriedades mais importantes dos materiais amiláceos. A forma de uma curva produzida por um viscoamilógrafo é o reflexo do processo que ocorre durante o período de gelatinização de uma amostra do amido. Ou seja, sua curva apresenta o comportamento do amido durante o aquecimento e proporciona a avaliação das características da pasta formada, pelas alterações estruturais das moléculas de amido e também pela tendência a retrogradação durante o resfriamento.

As mudanças que ocorrem nos grânulos de amido durante a gelatinização e retrogradação são os principais determinantes do comportamento de pasta desses amidos, as quais têm sido medidas principalmente pelas mudanças de viscosidade durante o aquecimento e resfriamento de dispersões de amido usando equipamentos denominados viscoamilógrafos (DENARDIN; SILVA, 2009; AI *et al.*, 2016).

O perfil de empastamento de amidos inclui pico de viscosidade, quebra de viscosidade, viscosidade mínima, tendência à retrogradação, viscosidade final e temperatura de pasta como mostrado na Figura 8.

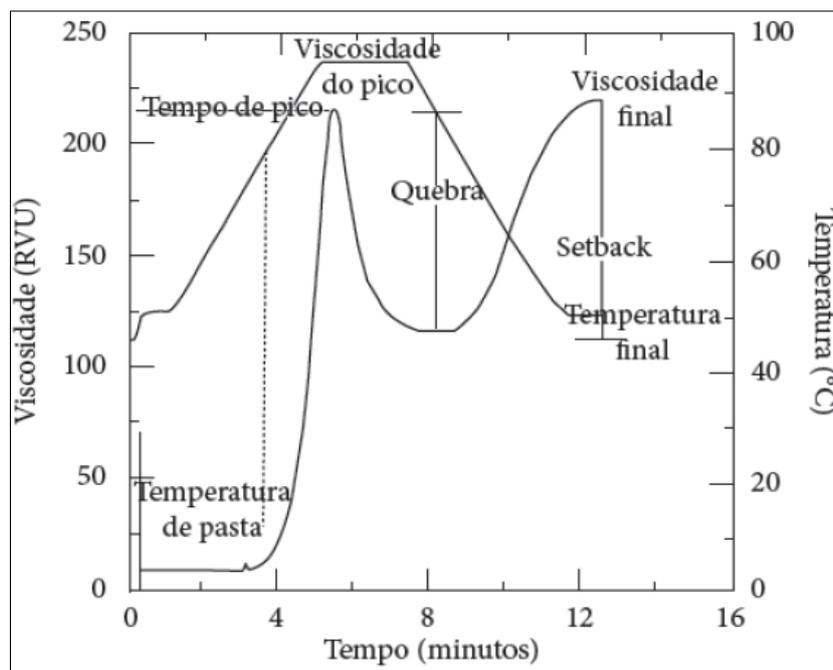


Figura 8- Curva de viscosidade típica do RVA mostrando os parâmetros comumente avaliados.

Fonte: Newport Scientific (1998).

A análise viscoamilográfica ocorre em três fases, aquecimento, manutenção e resfriamento. Durante a fase de aquecimento é registrado um aumento na viscosidade quando os grânulos começam a inchar. Neste ponto, polímeros com baixo peso molecular, particularmente moléculas de amilose, começam a ser lixiviadas dos grânulos (CORDOBA *et al.*, 2016). Um pico de viscosidade é obtido indicando que a maioria dos grânulos está totalmente inchados e intactos e o alinhamento molecular

de qualquer polímero solubilizado ainda não ocorreu. A altura do pico para uma dada concentração reflete a característica do grânulo intumescer com absorção de água até o seu colapso (PÉREZ-PACHECO *et al.*, 2014). Durante a fase de temperatura constante (95 °C) os grânulos começam a se romper e a solubilização dos polímeros continua. Neste ponto ocorre uma queda na viscosidade. Durante a fase de resfriamento, polímeros de amilose e amilopectina solubilizados começam novamente a se associarem e outro aumento na viscosidade é registrado. Este segundo aumento da viscosidade é conhecido como tendência a retrogradação (VAMADEVAN; BERTOFT, 2015; AI; JANE, 2018).

3.4 Aditivos em Alimentos

Durante a preparação ou fabricação de alimentos, dependendo do produto final desejado, outras substâncias são adicionadas ao sistema de amido e podem interagir e influenciar suas propriedades térmicas e físico-químicas devido a mudanças nas transições de fase do amido (WATERSCHOOT *et al.*, 2015). Ocasionalmente, podem ser adicionadas diferentes substâncias, por exemplo, água extra, ácidos para conservação de alimentos e aromatizantes, açúcares e edulcorantes para aumentar o teor de sólidos, controlar a doçura ou gerar uma cor desejada. Sais como fosfato ou cloreto de sódio, cálcio e potássio podem ser adicionados para criar estruturas únicas para melhorar as propriedades de sensação na boca e fornecer estabilidade durante o armazenamento (FU *et al.*, 2015; LEDEZMA, 2018). Portanto, uma compreensão clara dessas interações pode levar a alcançar a qualidade desejada dos alimentos, controlando o processo durante a preparação, fabricação, armazenamento e consumo de alimentos.

3.4.1 Açúcares

A sacarose é um dos principais ingredientes alimentares, e comum em alimentos cozidos e processados (ARUNYANART; CHAROENREIN, 2008). Os efeitos da sacarose na retrogradação e estabilidade de géis de amido foi tema de algumas pesquisas (AHAMAD; WILLIAMS, 1999; ACQUARONE; RAO, 2003; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004; ARUNYANART; CHAROENREIN, 2008; ZHANG; TONG; REN, 2012; PLOYPETCHARA; GOHTANI, 2018; ALLAN; RAJWA; MAUER, 2018). Segundo essas pesquisas a adição de açúcares provou melhorar as propriedades texturais e estabilidade de armazenamento de produtos contendo amido.

Ahmad & Williams (1999) investigando o efeito dos açúcares nas propriedades térmicas e reológicas do amido de sagu verificou que os açúcares aumentam a temperatura de gelatinização e a entalpia de gelatinização (ΔH). Arunyanart & Charoenrein (2008) mostraram que a adição de sacarose poderia diminuir a retrogradação e efetivamente aumentar a estabilidade do amido mesmo após 5 ciclos de congelamento-descongelamento em géis de amido de arroz.

Segundo Ployetchara & Gohtani (2018), a sacarose impede o inchamento dos grânulos em água quente, devido à sua capacidade de absorção de água, e pressão osmótica. Esse efeito inibitório provocado pela presença de açúcares no intumescimento do grânulo de amido pode ser atribuído à redução da mobilidade do solvente (água) e a redução da atividade de água, conseqüentemente menor quantidade de água estará disponível para penetrar no grânulo de amido. De acordo com Allan, Rajwa & Mauer (2018), as interações amido-açúcar estabilizam as regiões amorfas (que são regiões desordenadas e de fácil acesso a penetração da água) pela interação das moléculas de açúcar com as cadeias de amido e por isso ocorre aumento da energia requerida para gelatinização do amido e conseqüentemente aumenta também a temperatura de gelatinização.

3.4.2 Lipídeos

Os emulsificantes, como um dos principais aditivos alimentares, são conhecidos por modificar significativamente as propriedades texturais dos amidos, uma vez que tendem a formar complexos com a amilose. Eles desempenham papéis significativos na antiretrogradação de alimentos ricos em amido. A inibição da retrogradação do amido é determinada pelas características do emulsificante. Emulsificantes podem interagir com moléculas de amido para formar compostos estáveis, o que ajuda a manter a qualidade dos alimentos ricos em amido (DE PILLI *et al.*, 2015). A amilose e os lipídeos interagem entre si e simultaneamente formam complexos amilose-lipídeos, a quantidade e estabilidade desses complexos podem ser determinados pelo tipo de amido, comprimento da cadeia de amilose, natureza do lipídeo, solvente e condições de processamento (FU *et al.*, 2015). Os lipídeos na superfície do grânulo de amido atuam como uma barreira, dependendo da concentração lipídica uma camada de espessura diferente é formada e controla a difusão de água e amilose dentro e fora do grânulo de amido, respectivamente (LEDEZMA, 2018).

Segundo Putseys, Lamberts & Delcour (2010), na forma helicoidal da amilose, ocorre a formação de um canal lipofílico, provocado pelos grupos C-H e o oxigênio glicosídico, já os grupos polares OH ficam situados no exterior da cadeia. Dessa forma, a hélice é estabilizada pelas longas cadeias de hidrocarbonetos do lipídeo, que se introduz no canal hidrofóbico, formando um complexo insolúvel em água, em um processo irreversível.

Uma suspensão de amido com alto teor lipídico geralmente gelatiniza em temperaturas mais altas e em entalpias mais baixas, a viscosidade começa a aumentar em temperaturas mais altas e a viscosidade máxima também é alcançada em temperaturas maiores (KAUR; SINGH; SINGH, 2005; ZHOU *et al.*, 2007)

A presença de lipídeos na suspensão de amido diminui a capacidade de inchamento do amido, a solubilidade e a ruptura dos grânulos (ALI; HASNAIN, 2013). Portanto, o desengorduramento em um efeito oposto, porque a formação do complexo não ocorre ou os complexos de amido-lipídeo são

rompidos, resultando em sistemas com baixas temperaturas de gelatinização e baixa viscosidade de gel (PUTSEYS; LAMBERTS; DELCOUR, 2010).

Os complexos de amido-lipídeo têm sido usados há algum tempo em alimentos ricos em amido para reduzir a viscosidade, melhorar a estabilidade do produto aos ciclos de congelamento-descongelamento, retardar o endurecimento e como condicionadores de massa e amaciadores em produtos de panificação, e também são usados como substitutos de gordura, estabilizadores e espessantes (ALI; HASNAIN, 2013). Muitos estudos foram realizados para investigar complexos amido-lipídico em batata, milho, arroz, feijão-caupi e amido de mandioca na adição de emulsificantes (KAWAI *et al.*, 2012; KAUR; SINGH; SINGH, 2005; ZHOU *et al.*, 2007; RADHIKA; SHANAVAS; MOORTHY, 2008).

3.4.3 Sais

Nos sistemas alimentares os sais são adicionados para melhorar a qualidade, aceitabilidade (textura, sabor e intensificador de cor), e vida de prateleira (conservante) dos alimentos, modificando as propriedades térmicas e físico-químicas do amido (FU *et al.*, 2015). Os complexos sal-amido dependem principalmente da natureza do sal, isto é, valência e carga iônica, concentração de sal, presença de grupos funcionais do amido como grupos sulfato e fosfato, e tipo de cristalinidade do amido: difração de raios-X A, B e C. Por exemplo, amidos com padrão do tipo A (amidos de milho e arroz) são mais resistentes ao cloreto de sódio e produzem maior potencial de Donnan (caráter eletronegativo do amido) do que amidos com padrão B (amido de batata e cana) (CIESIELSKI; TOMASIK, 2004; JYOTHI *et al.*, 2005).

Em geral, as interações sal-água, amido-água e sal-amido são importantes porque controlam o comportamento de todo o sistema, Íons fortemente hidratados tendem a aumentar a ordem da estrutura da água (SAMUTSRI; SUPHANTHARIKA, 2012), aumentam a viscosidade do sistema e diminuem a concentração de moléculas livres de água (LII *et al.*, 2002), porque os ânions (SO_4^- , F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , I^- , SCN^-) são atraídos pelos átomos de hidrogênio dos grupos hidroxila do amido com subsequente desprotonação (H^+), deixando assim o núcleo do amido carregado negativamente, o que causa uma estabilização dos grânulos de amido devido às forças de repulsão eletrostática entre moléculas carregadas e agregação de água em torno do amido. Por outro lado, os cátions (Mg^+ , Li^+ , Na^+ , K^+ e NH_4^+) são atraídos pelos grupos hidroxila do amido e desestabilizam os grânulos de amido (CHIOTELLI; PILOSIO; MESTE, 2002; BECK; JEKLE; BECKER, 2011). Os efeitos dos ânions são maiores que os cátions (EGUCHI; YOSHIMURA; KOHYAMA, 2012).

Em geral, em sistemas de amido-cloreto de sódio, a temperatura de gelatinização aumenta até um valor máximo (cerca de 6 e 9 %) e depois diminui à medida que a concentração aumenta ainda mais; a entalpia de gelatinização diminui e o processo de gelatinização é retardado especialmente em

baixas concentrações salinas (AHMED, 2012; LEDEZMA, 2018).

3.4.4 Ácidos

Substâncias ácidas são adicionadas em muitos alimentos como acidulantes ou conservadores. Os efeitos dos ácidos na retrogradação de géis de amido foi tema de pesquisas recentes (BENINCA *et al.*, 2013; FU *et al.*, 2015; FALADE; AYETIGBO, 2015; PORNSUKSOMBOON *et al.*, 2016; ZHOU *et al.*, 2016).

Os ácidos agem primeiramente hidrolisando a região amorfa antes de atacarem as regiões cristalinas, o H^+ na solução quebra as ligações glicosídicas entre as moléculas de amido, resultando em menores frações de amido durante a gelatinização, impedindo a retrogradação (WANG; WANG, 2001; GUERREIRO; MENEGUELLI, 2009).

Quando o ácido cítrico é adicionado a mistura de amido e plastificantes, o amido exibe uma esterificação parcial, baixo peso molecular e uma interação mais forte com os plastificantes. A adição de ácidos impede a retrogradação, promove a compatibilidade com poliésteres, melhora a capacidade de processamento e aumenta a degradação do amido (SHI *et al.*, 2007; FU *et al.*, 2015). Além disso, ao adicionar ácido cítrico, o pH do sistema diminui.

Pesquisadores estudaram o comportamento reológico de amido de milho em diferentes ácidos e pH adicionados aos géis de amido antes e depois da gelatinização. Hirashima, Takahashi & Nishinari (2005), concluíram que a viscosidade independe do tipo de ácido e sim em função do pH. A viscosidade das pastas foi aumentada diminuindo o pH (entre 5,5 e 3,6), enquanto a viscosidade das amostras com pH abaixo de 3,5 diminuiu mais do que a do controle (pH 6,3). A hidrólise das cadeias de amilose e amilopectina ocorreu pela adição de substâncias ácidas e levou à diminuição da viscosidade em pH mais baixo. No entanto, a adição de uma pequena quantidade de substâncias ácidas promoveu a lixiviação das cadeias de amilose e amilopectina e levou ao aumento da viscosidade. Já em alguns estudos feitos por Vallés-Pàmies *et al.*, (1997); Sriburi, Hill & Mitchell (1999); Sriburi & Hill (2000), relataram que a viscosidade da pasta de amido decresce na presença de ácidos.

3.5 Textura em géis de amido

A textura é um termo bastante comum empregado na indústria de alimentos e apresenta grande importância para o desenvolvimento de novos produtos e testes com novos ingredientes. As propriedades texturais de um alimento são um grupo de características físicas que surgem a partir de elementos estruturais de alimentos, são relacionados com a deformação, desintegração e fluxo do alimento sob uma força, e são medidos objetivamente como função da massa, tempo e distância (NISHINARI *et al.*, 2013; YILDIZ *et al.*, 2013).

Para o estudo da textura de alimentos vários instrumentos foram desenvolvidos onde simulam o processamento de mastigação e proporcionam a quantificação das propriedades de textura. Um dos métodos instrumentais mais comumente utilizados é o de compressão de TPA (Texture Profile Analysis), onde ocorre a deformação do alimento por meio de um movimento articulado que simula as condições do processo de mastigação. De acordo com o método do TPA, a amostra deve ser submetida a dois ciclos de compressão, por um probe anexado a um sistema de acionamento, simulando os movimentos mecânicos da mastigação. Essa simulação é convertida em um gráfico de força x tempo (Figura 9) (BOURNE, 2002; CHAROENREIN *et al.*, 2011).

A curva de força gerada como uma função do tempo é conhecida como perfil de textura. O pico de força e as áreas sob as curvas são usadas para determinar várias propriedades dos alimentos como: fraturabilidade, dureza, coesividade, adesividade, elasticidade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência (NISHINARI *et al.*, 2013).

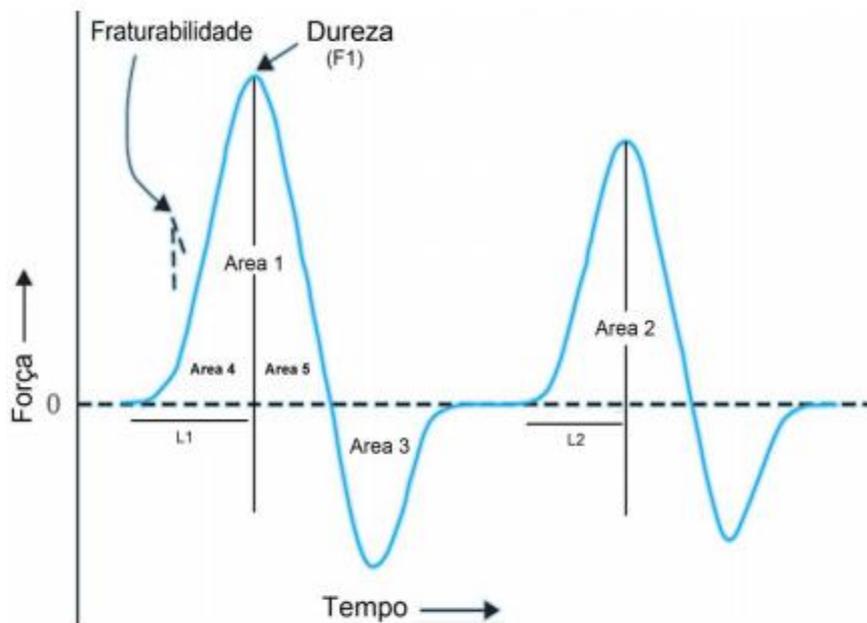


Figura 9- Curva típica de análise de perfil de textura (TPA). Dureza: F1; Coesividade: $A2/A1$; Adesividade: A3; Gomosidade: $F1 \times (A2/A1)$; Elasticidade: $L2/L1$; Mastigabilidade: Gomosidade x Elasticidade; Resiliência: $A5/A4$. Fonte: Adaptado de Bourne (2002).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Os abacates (*Persea americana* Mill cv. Hass) utilizados nesse estudo, assim como os aditivos (sal comercial, açúcar cristal, ácido cítrico e emulsificante) foram obtidos de fornecedores locais. As frutas foram selecionadas de acordo com a similaridade de estágio de maturação e coloração da casca, neste caso frescos e verdes (Figura 10-A), afim de se obter um lote homogêneo.

O projeto de pesquisa foi realizado nos laboratórios do Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana-Bahia, e nos laboratórios da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia. O amido obtido foi dividido em três lotes de igual quantidade. O experimento foi conduzido com três repetições.

4.2 Métodos

4.2.1 Extração do amido

A extração do amido foi realizada com base no método de Loos, Hood & Graham (1981) adaptado por Silva *et al.* (2017), apresentada na Figura 10. Os frutos foram cortados e retirados os caroços (Figura 10-B). Depois de retiradas as películas que os envolve, os caroços foram lavados (Figura 10-C) e cortados em pequenos pedaços, sendo que cada metade do caroço foi cortado em 4 partes (Figura 10-D), foram triturados em um liquidificador doméstico a 900 W de potência, por 10 min adicionados de solução de metabissulfito de sódio a 0,2 % (v / v) (Figura 10-E). O material obtido foi disperso em água destilada e filtrado em tecido *voil* (Figura 10-F). O bagaço retido foi lavado com água destilada para remover o amido aderido. Em seguida, uma decantação foi realizada por 24 h sob refrigeração, o amido decantado foi submetido a três intervalos de ressuspensão em água destilada, de 1 h cada (Figura 10-G). Logo após foi centrifugado (Figura 10-H), em centrífuga Excelsa 4, modelo MOD. 280R, a uma força rotacional de 1105 g por 12 min, sendo o sobrenadante descartado e o decantado posto em bandejas de alumínio (Figura 10-I). O resíduo obtido foi seco em estufa de secagem e esterilização Marconi, modelo MA 033, a 40 °C durante 12 h (Figura 10-J). O amido seco (Figura 10-L) foi triturado em almofariz (Figura 10-M), peneirado em malha de 60 mesh (0,250 mm) de forma a obter um pó (Figura 10-N) e armazenado num recipiente limpo e seco sob temperatura ambiente (Figura 10-O).

O rendimento (RSA) do amido do caroço de abacate foi obtido de acordo com a Equação 1, onde (me) é a massa do amido seco após a extração e (mc) a massa do caroço sem casca.

$$RSA \left(g \cdot 100 g^{-1} \right) = \frac{me \text{ (g)}}{mc \text{ (g)}} \cdot 100 \quad \text{(Equação 1)}$$



Figura 10- Esquema da extração do amido do caroço de abacate.

Fonte: Autora.

4.2.2 Características físico-químicas do amido extraído

A caracterização físico-química do amido foi realizada de acordo com as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2005). Onde as seguintes análises foram realizadas em três repetições: Umidade por dessecação a 105 °C até peso constante; proteínas totais pelo método de Kjeldahl ($N \times 6,25$); cinza por incineração em mufla a 550 °C; lipídios totais pelo método de Bligh & Dyer. O teor de amilose aparente foi determinado em espectrofotômetro (BIOSPECTRO SP-220), de acordo com a metodologia de Martínéz & Cuevas (1989).

4.2.3 Características morfológicas e tecnológicas do amido extraído

4.2.3.1 Análise de tamanho, forma e densidade absoluta

A análise de tamanho foi realizada no Mastersizer, modelo 3000- Malvern, equipamento utilizado para análise de tamanho em faixa micro. São fornecidos D10, D50, D90 que representam as faixas de tamanhos de 10 %, 50 % e 90 % da população das partículas. A análise foi realizada no laboratório de Nanomateriais do Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente (CIEnAm II) da Universidade Federal da Bahia.

Para a análise de forma, foi utilizada a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), os grânulos de amido foram colocados em fita dupla face e revestido com ouro, processo chamado de metalização, em metalizador da DENTON VACUUM, modelo DESCK V. A forma dos grânulos de amido do caroço de abacate foi analisada pelo microscópio eletrônico de varredura da JEOL, modelo JSM-6390LV, com 10 kV de voltagem. Cinco campos foram selecionados aleatoriamente e fotografados. A análise foi realizada no Instituto Gonçalo Moniz – Fiocruz Bahia.

A densidade absoluta do amido foi realizada segundo metodologia recomendada por Schoch e Leach (1964), por meio de deslocamento de líquido em picnômetro de 25 mL. O picnômetro foi pesado antes e após o preenchimento com xileno. Após a retirada do mesmo do frasco, foi pesada 1 g de amostra e xileno até cobrir completamente o amido. O frasco foi agitado por 5 min e deixado em repouso por 10 min. O frasco foi preenchido com xileno, tampado e pesado após a retirada do líquido da superfície externa com papel toalha. A densidade absoluta foi calculado da seguinte forma:

$$D \left(\frac{g}{mL} \right) = \frac{\text{peso do amido}(g) \times \text{densidade do xileno} \left(0,860 \frac{g}{cm^3}\right)}{\text{peso do amido} + \text{peso do frasco com xileno} - \text{peso do frasco com xileno e amostra}} \quad (\text{Equação 2})$$

4.2.3.2 Difração de Raios-X (DRX)

O difratograma de difração de raios X foi obtido a partir do amido a forma de pó contendo aproximadamente 16 % de umidade. Os parâmetros de operação do Difratômetro de Raios- X Shimadzu, modelo XRD-6000 com monocromador de grafite foram: radiação CuK ($\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$), a uma potência de 40 kV/30 mA, com velocidade de varredura de 1,2 °/min, sob ângulo de 2θ , variando de 3-35°, e intervalos de 0,02°. A análise foi realizada no laboratório da CATAM – Grupo de Catálise e Meio Ambiente da Universidade Federal da Bahia.

O grau de cristalinidade foi estimado quantitativamente, seguindo o método de Nara & Komiy (1983), pela equação 3 abaixo:

$$Dc (\%) = \frac{A_c}{A_c + A_a} \cdot 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde, Dc refere-se ao grau de cristalinidade, Ac refere-se à área cristalina no difratograma de raios-X; Aa refere-se à área amorfa sobre o difratograma de raios-X.

4.2.3.3 *Clareza da pasta e tendência a retrogradação*

A clareza de pasta e tendência a retrogradação foram determinadas de acordo com Lawal & Adebawale (2005). Foram pesadas 0,5 g de amostras de amido nativo do caroço de abacate suspensas em 5 mL de água destilada em tubos de ensaio vedados com algodão. Os tubos foram aquecidos em um banho-maria fervente, com ocasional agitação, durante 30 min. Logo após ao resfriamento em temperatura ambiente, a clareza de pasta foi determinada de acordo com sua porcentagem de transmitância (%T) a 650 nm, em espectrofotômetro (BIOSPECTRO SP-220). As suspensões foram estocadas na geladeira a 4 °C por 24 h para nucleação, e depois armazenadas a 30 °C por 9 dias, para o monitoramento a tendência a retrogradação das amostras, sendo determinada a absorvância das mesmas nos dias 1, 2, 3, 5, 7, 8 e 9 de armazenamento.

4.2.3.4 *Poder de inchamento (PI)*

O poder de inchamento do amido do caroço de abacate foi determinado de acordo com o método adaptado descrito por Adebawale, Afolabi & Lawal (2002). Foram pesadas 3 amostras de 8 g de amido cada em tubos de centrífuga previamente pesados e adicionados 100 mL de água destilada. As suspensões foram agitadas e colocadas em banho-maria por 30 min com agitação a cada 5 min a temperaturas diferentes (50, 60, 70, 80 e 90 °C) e centrifugadas em centrífuga (Excelsa 4, modelo MOD. 280R), por 5 min a uma força rotacional de 1306 g. A massa do resíduo (gel) da centrifugação foi coletada e pesada. O poder de inchamento foi determinado do seguinte modo:

$$\text{Poder de inchamento (PI)} = \frac{\text{Massa do gel (g)}}{\text{Massa da amostra em base seca (g)}} \quad (\text{Equação 4})$$

4.2.3.5 *Capacidade de absorção de água e óleo*

O método de Beuchat (1977) foi utilizado para determinar a capacidade de absorção de água e óleo do amido extraído. 30 mL de água destilada foi adicionado à 3 g de amostra, pesada em tubos de centrífuga, formando uma suspensão. A mesma foi homogeneizada e colocada em repouso por 30 min. Logo após as suspensões foram centrifugadas em centrífuga (Excelsa 4, modelo MOD. 280R), por 15 min, a uma força rotacional de 3400 g e os tubos foram pesados. O mesmo procedimento foi utilizado com o óleo de soja para a determinação da capacidade do amido de absorver o óleo. A massa da água ou do óleo absorvidas foi expressa em g.100g⁻¹ de amido em base seca.

$$CA = \frac{Pc}{Ps} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: CA= Capacidade de absorção (água ou óleo); pc= peso do tubo com amostra após centrifugação; ps= peso do tubo com amostra seca.

4.2.3.6 Estabilidade ao congelamento e descongelamento

A estabilidade do gel de amido ao congelamento e descongelamento foi avaliada pelo método de White, Abbas & Johnson (1989). Uma suspensão aquosa de amido (5 %) foi aquecida a 95 °C com agitação constante durante 30 min, e depois se arrefeceu à temperatura ambiente num banho de água com gelo. A pasta foi pesada (20 g) em tubos de centrífuga e sujeitas a 7 ciclos de congelamento e descongelamento. Cada ciclo consistiu por sucessivos congelamentos a -18 °C durante 24h e descongelamento a 30 °C durante 30 min, seguido por centrifugação em centrífuga (Excelsa 4, modelo MOD. 280R), a uma força rotacional de 3800 g durante 30 min no último ciclo. O sobrenadante foi pesado e a extensão da sinérese, calculada conforme a Equação 6. Os valores foram expressos em porcentagem de água exsudada, em relação à massa inicial da pasta.

$$\text{Sinérese (\%)} = \frac{\text{Massa de água do sobrenadante (g)}}{\text{Massa total da pasta (g)}} \cdot 100 \quad (\text{Equação 6})$$

4.2.3.7 Viscoamilografia

A determinação das propriedades de pasta ocorreu em equipamento BRABENDER VISCOGRAPHE (USB) Version 4.4. com amostras, na concentração de 35 g em 465 mL de água destilada. Nessa análise foram obtidos os valores de temperatura de pasta, viscosidades máxima, mínima e final e tendência à retrogradação (diferença entre a viscosidade final e mínima).

4.2.4 Análise de perfil de textura (TPA)

Géis de amido na concentração de 4 % p/p foram preparados com adição de sal comercial, açúcar cristal, ácido cítrico e emulsificante nas concentrações de 2, 7, 0.3 e 3 % respectivamente e individualmente, além da amostra controle composta apenas por amido. Os géis foram colocados em copos descartáveis com capacidade de 50 mL, utilizados como moldes, e levadas para refrigeração durante 24 h. Pouco antes da análise, as amostras gelatinizadas foram retiradas dos moldes. A textura do gel foi determinada segundo método descrito por Yang *et al.* (2007) com algumas adaptações. O perfil de textura de gel dos amidos foi avaliado em Texturômetro Texture Analyser, modelo TA.XT.plus, e os resultados obtidos da curva força x tempo foram calculados pelo programa *Stable Micro Systems* para TPA. As configurações detalhadas de teste foram: probe 36 mm, velocidade pré-teste 1,0 mm/s, velocidade de teste 0,5 mm/s e velocidade pós-teste 0,5 mm/s com distância de compressão de 10 mm e tempo de 5 s entre as compressões. Foram avaliados os perfis de dureza, coesividade e gomosidade dos géis de amido. A análise foi realizada no Laboratório de Embalagens do Departamento de Tecnologia da UEFS. A análise de textura foi realizada com três repetições e duplicatas.

4.2.5 Análise estatística

Os resultados obtidos na análise textura foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias avaliados pelo teste Dunnett ao nível de 5% de significância. Para realização das análises estatísticas foi utilizado o programa *Statistic 7.0*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características físico-químicas

O amido extraído dos caroços de abacate apresentou-se como um pó castanho claro com textura aveludada. Os resultados da análise da composição centesimal do amido do caroço de abacate cv. "Hass" juntamente com o rendimento do seu processo de extração estão na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados médios das análises do amido do caroço de abacate (*Persea americana* Mill).

Composição	g.100 g ⁻¹
Umidade	15.36 ±0.09
Proteínas totais	1.97 ±0.34
Lipídeos	0.42 ±0,07
Cinzas	0.02 ±0.00
Teor de amilose aparente	30.41 ±0.22
Rendimento da extração	10.67 ±0.01

* Cada valor representa a média e o desvio-padrão de três determinações.

O teor de umidade obtido 15,36 g·100·g⁻¹ foi superior ao observado por Silva *et al.* (2013) em amido de abacate variedade “Manteiga” de 4,57 g·100·g⁻¹, Pérez-Pacheco *et al.* (2014) em amido da semente de romã encontrou um valor de 7,49 g·100·g⁻¹ e para amido de milho 8,14 g·100·g⁻¹. Outros diferentes tipos de amidos não-convencionais como o encontrado por De Castro *et al.* (2018) na semente de pitomba, obtiveram valor de umidade de 8,41 g·100·g⁻¹. Já Melo Neto *et al.* (2015), encontraram no amido da fruta da pupunha um valor de 14,0 g·100·g⁻¹. O teor de umidade obtido apresentou um valor ainda dentro do limite estabelecido pela ANVISA, RDC n° 263 de 2005 que preconiza a umidade para farinhas, amido de cereais e farelos, máxima 15,0 %, para amido de batata, máxima 21,0 % e para amido de mandioca, máxima 18,0 % (BRASIL, 2005).

Por meio desses resultados, verificam-se, ainda, percentual de proteínas de 1,97 g·100·g⁻¹ e lipídeos de 0,42 g·100·g⁻¹, enquanto o teor de cinzas observado foi de 0,02 g·100·g⁻¹. Baixos teores de proteínas (0,52 g·100·g⁻¹), lipídeos (0,38 g·100·g⁻¹) e cinzas (0,19 g·100·g⁻¹) também foram obtidos por Silva *et al.* (2013) na variedade “manteiga”. Já Mendes, Ribeiro & Almeida (2015), encontraram em semente de manga “tommy atkins” valores significativos de proteínas de 5,60 g·100·g⁻¹ e lipídeos de 7,30 g·100·g⁻¹, enquanto o valor das cinzas observado foi de 0,40 g·100·g⁻¹. Batista,

Silva & Liberato (2010), encontraram para o amido de milho um teor de cinzas de $0,02 \text{ g} \cdot 100 \cdot \text{g}^{-1}$ semelhante ao presente estudo, porém obtiveram valores inferiores de umidade de $11,70 \text{ g} \cdot 100 \cdot \text{g}^{-1}$ e proteínas de $0,65 \text{ g} \cdot 100 \cdot \text{g}^{-1}$. As cinzas encontradas no presente estudo estão de acordo com o que preconiza a legislação brasileira (BRASIL, 1978), que estabelece limite máximo de 0,5 % de cinzas.

O amido presente nos vegetais após sua extração e purificação sempre carrega parte dos componentes presentes como proteínas, lipídios e cinzas. Embora estejam presentes em pequenas quantidades no amido estas substâncias podem interferir nas propriedades físico-químicas e funcionais dos mesmos, o ideal é que o teor destes constituintes seja o mais baixa possível (OYEYINKA; OYEYINKA, 2018).

Em relação à análise de teor de amilose aparente o valor encontrado foi de 30,41 %. Durante a análise a amilose é capaz de formar complexo helicoidal com iodo, que exhibe uma cor azul e pode ser detectada na região visível (cerca de 630 nm) (HERRERO-MARTÍNEZ; SCHOENMAKERS; KOK, 2004). No entanto, o iodo também forma um complexo de cor vermelha devido à complexação com polímeros de amilopectina de cadeia longa (cerca de 540 nm) (ZHU *et al.*, 2008). O teor de amilose é responsável por vários fatores que afetam a propriedade de poder de inchamento, solubilidade e formação de gel do amido. Na literatura, uma ampla variação no teor de amilose tem sido relatada para diferentes amidos, uma vez que é influenciada por características botânicas e métodos de determinação (KAUR; SINGH, 2016).

Lemos *et al.* (2017), relataram percentuais de amilose de 19.7, 20.46, 16.36 e 11.19 % em amidos nativos de milho, batata, banana e mandioca, respectivamente, teores esses menores que o obtido no presente estudo. Já Builders *et al.* (2010) e Santos *et al.* (2016) reportaram teores de 32,5 % e 21,5 % respectivamente para amilose em amido nativo do caroço de abacate. O valor encontrado sugere que o amido extraído do caroço de abacate possui alto teor de amilose. Esse tipo de amido é muito utilizado para fins de obtenção de biopolímeros, a literatura ressalta a importância de serem utilizados amidos contendo altos teores de amilose, pois estes contribuem para a resistência do filme, além de melhorar as propriedades de barreira a oxigênio, reduzir a solubilidade em água e conferir propriedades mecânicas mais estáveis em umidades relativas altas (WOGGUM; SIRIVONGPAISAL; WITTAYA, 2014). Para indústria de alimentos, pode ser indicado em produtos empanados como *nuggets*, aos quais confere crocância e previne a penetração excessiva de óleo durante a fritura.

A extração do amido do caroço do abacate resultou em um rendimento de 10,67 %, um valor dentro da faixa de rendimento de amido das tuberosas araruta entre $8-16 \text{ g} \cdot 100 \cdot \text{g}^{-1}$ e mandioquinha entre $5-23 \text{ g} \cdot 100 \cdot \text{g}^{-1}$. No entanto, se apresentou inferior a batata inglesa com rendimento de $18 \text{ g} \cdot 100 \cdot \text{g}^{-1}$ e mandioca de $22-27 \text{ g} \cdot 100 \cdot \text{g}^{-1}$, que são fontes de amido convencionais mais utilizadas atualmente (FRANCO *et al.*, 2001).

De acordo com o rendimento, teor de umidade no limite da legislação apresentados, o amido do caroço de abacate também apresentou valores de lipídeos, cinzas e proteínas relativamente baixos, sugerindo a preservação das suas características funcionais e facilidade de aplicações industriais.

5.2 Características morfológicas e tecnológicas do amido extraído

5.2.1 Análise de tamanho, forma e densidade absoluta

A morfologia dos grânulos de amido é um parâmetro importante usado para identificar o amido de diferentes origens botânicas. Os tamanhos dos grânulos variaram entre 10,1 a 42,5 μm , com um tamanho médio de 35,1 μm . A Figura 11 mostra as fotomicrografias obtidas por meio do MEV. A análise mostrou que em relação à morfologia do grânulo de amido do caroço de abacate, pode-se evidenciar que as formas geométricas predominantes são as ovais com alguns grânulos alongados.

Observou-se ainda uma superfície lisa, sem fissuras ou porosidade, o que demonstra grânulos íntegros. Essas características também foram observadas no amido do grão de tamarindo por Kaur & Singh (2016) e no amido do caroço de Lichia por Thory & Sandhu (2017). Ainda são consistentes com os resultados obtidos por Builders *et al.* (2010), Santos *et al.* (2016) e Silva *et al.* (2017) em amidos de caroço de abacate. Segundo Chmelik (2001), um pré-requisito para uma análise de imagem bem-sucedida é que as amostras devem ser homogêneas e os grânulos não sejam danificados durante o isolamento do amido.

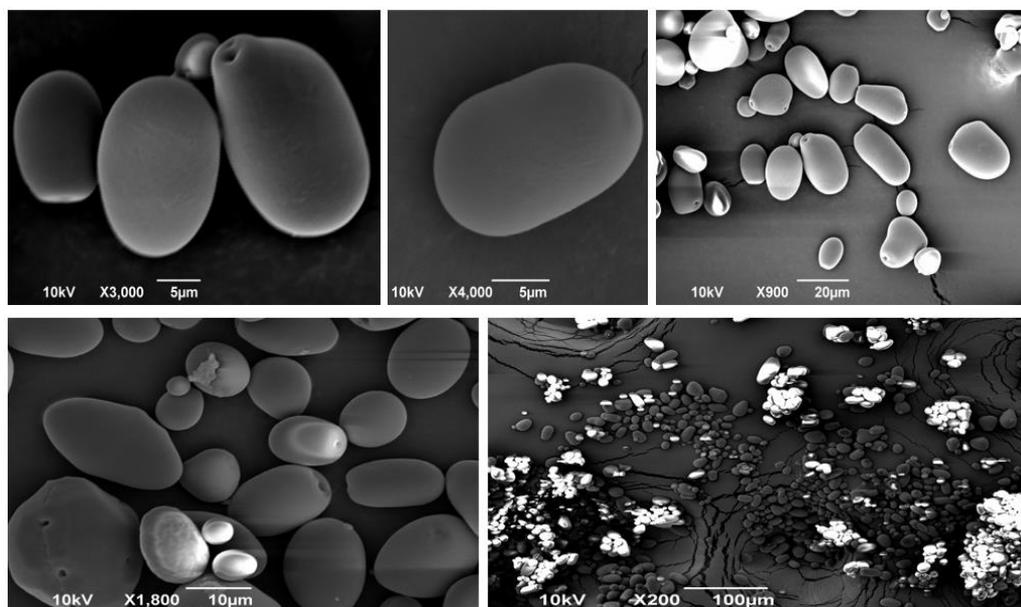


Figura 11- Fotomicrografia obtida por MEV dos grânulos de amido extraído do caroço de abacate (*Persea americana* Mill).

Rengsutthi & Charoenrein (2011), comparando amido do caroço de jaca, milho e batata observaram que os grânulos de jaca são semiovais ou com formato de sino, que os de milho são

poligonais e irregulares e que os de batata são grandes e ovais. Encontraram também que o tamanho médio do grânulo de amido de jaca foi 10 μm , o do amido de milho foi de 13,7 μm e o de batata foi de 30,5 μm , sendo que este último tem forma mais parecida com o amido do caroço de abacate. Convém ressaltar que o tamanho e forma dos grânulos de amido variam conforme a espécie, enquanto que a distribuição de tamanho varia com o estágio de desenvolvimento da planta (OYEYINKA; OYEYINKA, 2018).

A densidade absoluta encontrada foi de $1,47 \pm 0,03 \text{ (g} \cdot \text{mL}^{-1}\text{)}$ valor semelhante ao encontrado por Amorim (2017) em amido nativo de fruta-pão. Zhang *et al.* (2018) estudando o amido extraído do caroço de nove diferentes espécies de jaca da China, encontraram valores de densidade que variaram de 1,42 a 1,46 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$. Já Builders *et al.* (2010) encontrou no amido do caroço de abacate uma densidade de $1,53 \pm 0,05 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

5.2.2 Difração de Raio-X (DRX)

O padrão de cristalinidade obtido no difratograma de raios X (Figura 12) evidenciou picos de maior intensidade em 5,68; 15,32; 17,14 e 22,84, indicando um padrão de cristalinidade do tipo B, resultado consistente ao encontrado por Kahn (1987), Chel-Guerrero *et al.* (2016) e Santos *et al.* (2016) em amidos de caroço de abacate. Castanha *et al.* (2018) também encontraram o padrão de cristalinidade do tipo B, em estudo com três variedades de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). O padrão B é típico de tubérculos, frutas e milho com alto teor de amilose (HUANG *et al.*, 2015).

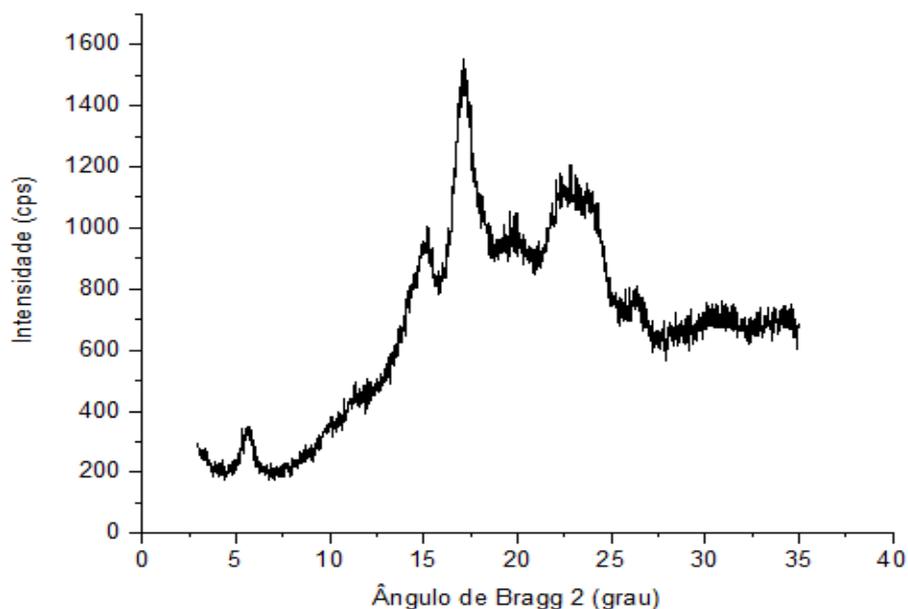


Figura 12- Gráfico que representa um Difratograma de Raios-X de amido extraído do caroço de abacate (*Persea americana* Mill).

O grau de cristalinidade obtido neste estudo foi de 56,09 %, superior ao valor encontrado por Lacerda *et al.* (2015) de 13,03 % cv. “Hass” e Santos *et al.* (2016) de 25,7 % cv. “Margarida”, para amido do caroço de abacate. Já Cordoba *et al.* (2016) encontrou um valor de 22,58 % para o amido de pinhão, enquanto Di-Medeiros *et al.* (2014) um valor de 38 % para amido de *S. lycocarpum*.

O grau de cristalinidade é um parâmetro valioso a considerar como influência nas propriedades do amido ou produtos contendo amido. Os tipos de cristais são inerentes às propriedades moleculares de amido e são resultados diretos do teor de amilose e do comprimento médio da cadeia de amilopectina correspondente (LEMOS *et al.*, 2017). Apesar de alguns autores relacionarem o teor de amilose com a cristalinidade dos amidos, outros parâmetros, como tamanho dos cristais, quantidade de regiões cristalinas (influenciadas pelo comprimento da cadeia e da amilopectina), orientação da dupla hélice dentro do cristalino e a extensão da interação entre hélices duplas também são importantes para determinar o grau de cristalinidade (JOSHI *et al.*, 2013).

5.2.3 Claridade de pasta e tendência a retrogradação

Quando a dispersão aquosa de amido de abacate foi aquecida, formou uma pasta gelatinosa semelhante à do amido de milho, uma propriedade que é característica de todos os amidos não modificados. Quando completamente gelatinizado, o amido do caroço de abacate nativo formou uma pasta castanho-clara opaca, e um valor de 6,67 % de transmitância no tempo zero. O efeito do armazenamento sobre a claridade de pasta e tendência a retrogradação estão expostos na Figura 13.

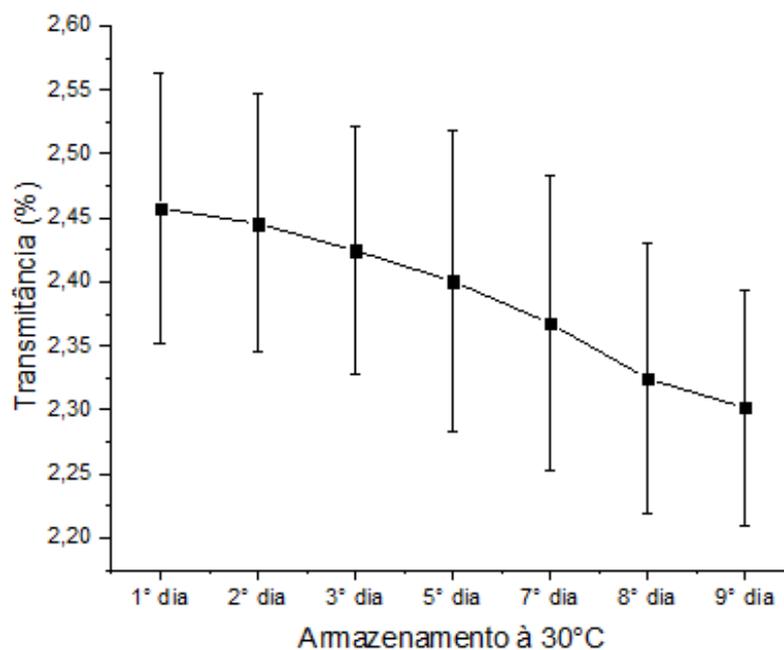


Figura 13. Gráfico que representa o efeito do tempo de estocagem a 30 °C em função da transparência do gel do amido extraído do caroço de abacate (*Persea americana* Mill).

A claridade da pasta é comumente determinada pelo percentual de transmitância de uma

solução diluída de amido (1% p/p) a um comprimento de onda de 650 nm. Quando toda a luz é absorvida a transmitância é zero e a absorbância é infinita, ou seja, quanto maior a transmitância maior a claridade da pasta (menor a turbidez e menor a absorbância) (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015).

Elevados teores de amilose resultam em pastas mais opacas, enquanto que teores mais baixos produzem pastas mais claras. Pois, a transparência da pasta está relacionada com a dispersão da luz resultante da associação da amilose e outros componentes dentro do amido, como as fibras, lipídeos e pigmentos. Além disso, pastas opacas apresentam estrutura granular mais organizada, com maior associação entre cadeias, o que dificulta a passagem da luz (CRAIG *et al.*, 1989; WATERSCHOOT *et al.*, 2015).

O estudo sobre o efeito do período de armazenamento na transparência do gel revelou que o amido estocado durante nove dias sob temperatura de 30 °C teve sua transmitância reduzida. Esse resultado está principalmente relacionado à retrogradação da amilose e amilopectina. Em geral, os amidos que apresentam baixa retrogradação não reduzem a clareza de suas pastas, ou seja, não apresentam géis opacos (MADRUGA *et al.*, 2014).

Tendências similares a esse estudo foram encontrados por Thory & Sandhu (2017) quando estudaram os amidos de lichia e manga, observaram que a claridade da pasta diminuiu de 5,66 para 0,46 % e 8,96 para 1,16 %, respectivamente, durante o armazenamento a 4 °C após 120 h (5 dias). E por Kaur & Singh (2016) para o amido de tamarindo, com transmitância de 2,2 %, após 5 dias sob as mesmas condições. Em comparação com outras fontes de amido convencionais, o amido do caroço de abacate apresentou menor transmitância que os amidos de milho, trigo, mandioca e batata, de 19,5; 13,5; 50,6 e 42,2 % respectivamente relatados por Nuwamanya *et al.* (2011).

As características observadas para as pastas formadas revelaram que o amido do caroço de abacate pode ser de interesse em uso em formulações que não requerem transparência, como molhos, cremes e sopas.

5.2.4 Poder de Inchamento (PI)

O Poder de Inchamento (PI) está representado na Figura 14. O PI apresentou aumento em função da elevação da temperatura. A influência da temperatura sobre o poder de inchamento do amido é causada pela maior vibração das moléculas dos grânulos em altas temperaturas, causando a quebra das ligações intermoleculares, permitindo que os locais de ligação liberados façam ligações de hidrogênio com a molécula de água (NÚÑEZ-SANTIAGO; BELLO-PÉREZ; TECANTE, 2004). DE CASTRO *et al.* (2018) destacaram que, dentro da faixa de temperatura de gelatinização, o inchamento é limitado no grânulo de amido, e apenas uma pequena porção de carboidratos é solubilizada. No entanto, à medida que a temperatura aumenta, acima da temperatura de

gelatinização, há um aumento no poder de inchamento e uma grande porção de carboidratos é lixiviada do grânulo de amido.

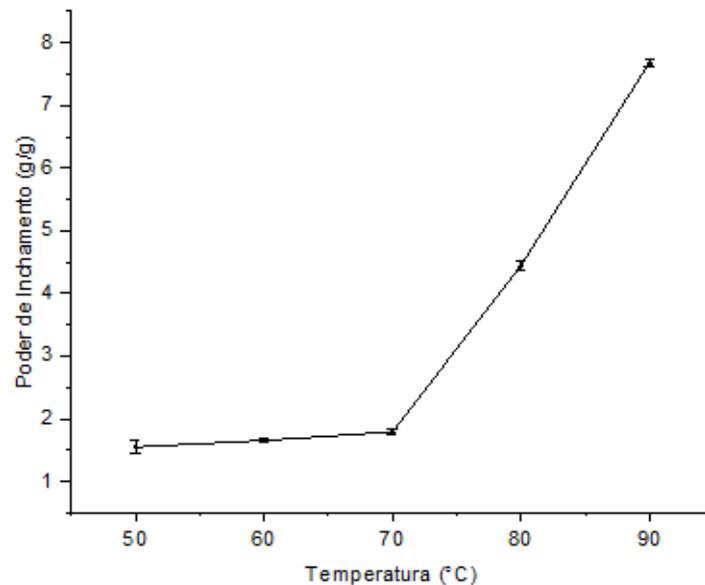


Figura 14. Gráfico que representa o poder de inchamento (g/g) em função da temperatura para o amido extraído do caroço de abacate (*Persea americana* Mill)

Os padrões de absorção de água (Fig. 14) mostram que os seus grânulos não incham apreciavelmente a temperaturas inferiores a 70 °C. O amido apresentou maior PI a temperaturas acima de 70 °C, o que sugere o início da formação da pasta. Os perfis observados aqui são consistentes com aqueles relacionados em estudos anteriores envolvendo amidos do caroço de abacate das variedades “Manteiga” e “Hass”, que mostraram o aumento considerável do PI acima de 75 °C (BUILDERS *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2017; CHEL-GUERRERO *et al.*, 2016). Semelhantes tendências também foram relatadas por Zhu, Mojel & Li (2018) para o amido de pimenta preta, que apresentou baixa variação no poder de inchamento na faixa de temperatura de 50-70 °C.

Na temperatura de 90 °C, o amido do caroço de abacate apresentou valor de PI de 7,68 g/g (Figura 14). De Castro *et al.* (2018) em recente estudo encontraram um valor próximo, com PI de 6,59 g/g no amido de pitomba. Esse valor é distante do relatado por Lin *et al.* (2016), com PI de 21,9 g/g à 95 °C, e por Chel-Guerrero *et al.* (2016), com PI de 17,0 g/g à 90 °C, ambos para amido nativo de milho. A comparação desses dados indica que o amido do caroço de abacate apresenta inchamento limitado, ou seja, baixa absorção de água.

O poder de inchamento do amido reflete a capacidade de absorção de água do amido durante o aquecimento, e é afetado pelo tamanho do grânulo de amido, conteúdo de amilose, estrutura da amilopectina, estrutura cristalina, proteína e conteúdo lipídico (FAN *et al.*, 2016). Algumas espécies de amido que contêm complexos amilose-lipídios exibem capacidade de inchamento e solubilidade restritas. Baixo PI pode ser atribuído à presença de vários cristais formados pela associação de longas

cadeias de amilopectina. Maior cristalinidade implica em maior estabilidade granular o que conseqüentemente reduz a capacidade de inchamento do grânulo (SINGH; SANDHU; KAUR, 2004).

5.2.5 Capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO)

Os valores para CAA e CAO estão apresentados na Figura 15, onde foi exposta a tendência do amido nativo do caroço de abacate de absorver água, apresentando um valor de 1,17 g/g, e óleo de 1,19 g/g.

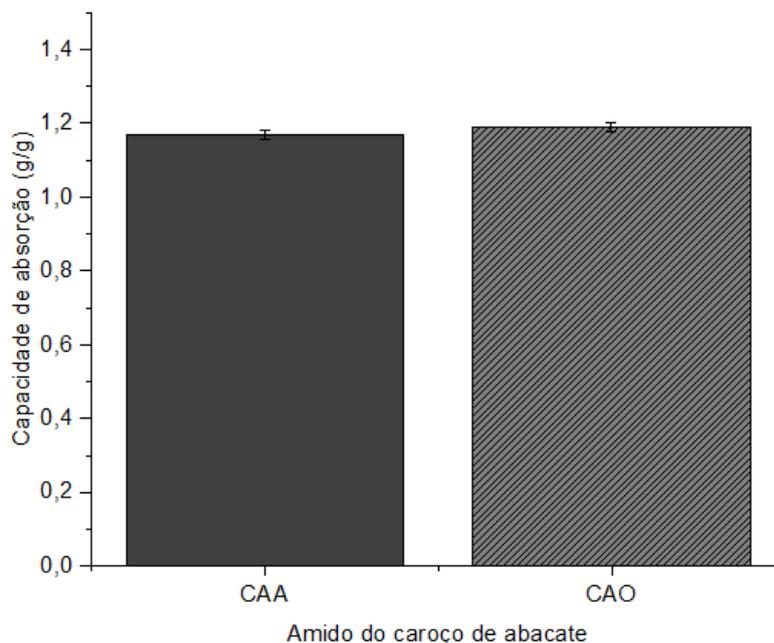


Figura 15. Gráfico que representa a capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) do amido extraído do caroço de abacate (*Persea americana* Mill)

Segundo Waterschoot *et al.* (2015), a capacidade de absorção de água corresponde à quantidade de água que o grânulo de amido é capaz de absorver e a capacidade de inchamento está relacionada com a capacidade de reter essa água. Já a capacidade de absorção de óleo do amido é devida principalmente ao aprisionamento físico de óleo dentro da estrutura do amido.

Em comparação ao estudo de Silva *et al.* (2017) os valores obtidos foram acima do encontrado para a CAA de 0,80 g/g e CAO de 0,82 g/g para amido nativo do caroço de abacate, variedade “manteiga”. De-Castro *et al.* (2018) encontrou uma CAA de 0,90 g/g e uma CAO de 0,85 g/g para o amido de pitomba, resultado semelhante aos relatados por Zhang *et al.* (2016), que encontraram variação de 0,70 a 0,85 g/g na capacidade de absorção de óleo de amidos de sementes de jaca. Os valores reportados de CAA no presente estudo são inferiores aos valores encontrados para amido de feijão (1,4-1,7 g/g) (SHIMELIS; MEAZA; RAKSHIT, 2006) e feijão mucuna (1,21 g/g) estudado por Adebowale & Lawal (2003).

Uma baixa CAO é um atributo desejável em produtos de fritura, como *snacks* e biscoitos. Já uma alta CAA e CAO é uma característica desejável em um amido a ser utilizado como espessante e estabilizador em fluidos e emulsões (ROSICKA-KACZMAREK *et al.*, 2018).

5.2.6 Estabilidade ao congelamento e descongelamento

A Figura 16 mostra a estabilidade do amido do caroço de abacate, após sete ciclos de congelamento e descongelamento. Essa avaliação consiste em verificar a expulsão da água (sinérese) contida nos géis como consequência da reorganização das moléculas de amido (ARUNYANART; CHAROENREIN, 2008).

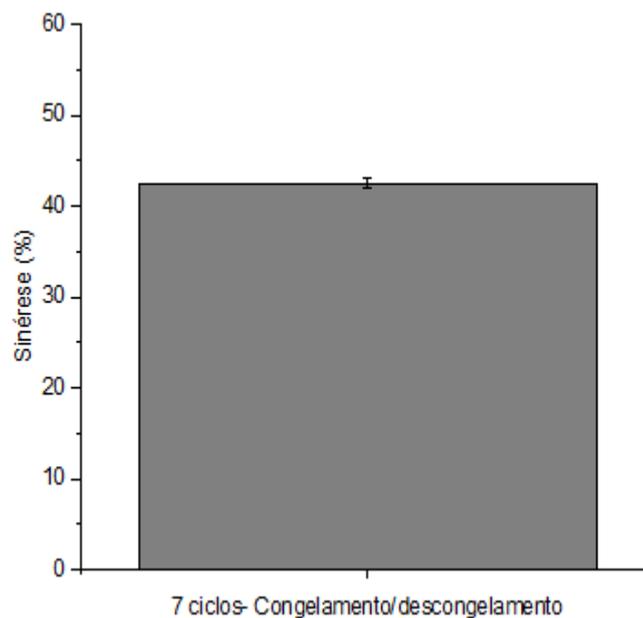


Figura 16. Gráfico que representa o percentual de sinérese do amido extraído do caroço de abacate (*Persea americana* Mill) após 7 ciclos de Congelamento/Descongelamento.

Foi obtido uma sinérese de 42,5 % após 7 ciclos. Pode-se observar com isso que o amido é suscetível à sinérese após o congelamento e descongelamento do mesmo, demonstrando sua baixa resistência ao processo. Builders *et al.* (2010) em seus estudos encontraram após 4 ciclos um valor de aproximadamente 73,0 % no amido do caroço de abacate. Pérez-Pacheco *et al.* (2014) em seus estudos com amido de romã e de milho encontraram valores similares de 78 % e 76,33 % de sinérese respectivamente, após 5 ciclos. Já Santos *et al.* (2016) obteve 29,1 % de sinérese após 4 ciclos de refrigeração, em amido do caroço de abacate.

Em muitos alimentos congelados, o amido é usado como agente espessante e exerce a função de melhorar a consistência e a textura, devido às suas propriedades de pasta e capacidade de geleificação (VAMADEVAN, V.; BERTOFT, 2015). No processo de congelamento, a água presente no alimento transforma-se em cristais de gelo, muitas vezes resultando em *stress* físico para a matriz

estrutural do alimento. Quando o alimento é descongelado para o consumo, a água é facilmente exsudada da matriz, o que provoca uma perda geral da qualidade do alimento, principalmente com relação à perda da textura (LEE *et al.*, 2002).

Quando submetidos ao congelamento lento após tratamento térmico os géis de amido sofrem transformações em suas estruturas, que no conjunto são relatadas como retrogradação. Uma alta tendência à retrogradação é típico de amidos com alto teor de amilose pela maior facilidade dessa molécula em se reassociar com o resfriamento da pasta. Essa liberação de água é denominada de sinérese (ZHANG; TONG; REN, 2012). Nesses casos, é mais indicado o uso do amido com baixo teor de amilose que apresenta maior estabilidade a baixas temperaturas. Os géis feitos com esse amido são fracos, altamente viscosos no cozimento, claros e coesivos. A sinérese no gel de amido se correlaciona positivamente com sua retrogradação e o teor de amilose (LEMOS *et al.*, 2017).

5.2.7 Viscoamilografia

Os resultados dos parâmetros de viscosidade do amido do caroço de abacate foram agrupados de acordo com os valores médios obtidos na análise em função do tempo e temperatura (Figura 17). Durante os primeiros 22 min, os grânulos de amido não mostraram alteração na viscosidade. A temperatura da viscosidade inicial da pasta foi de 83,5 °C, valor distante ao relatado por Sandhu & Singh (2007) para amido de milho (76,5 °C). A temperatura inicial de pasta corresponde àquela em que a suspensão de amido começa a aumentar sua viscosidade. Thory & Sandhu (2017) comparando amidos de manga e lichia encontraram, os valores mais próximos de temperatura de pasta do presente estudo (83,2 °C e 82,4 °C, respectivamente).

A curva viscoamilográfica obtida para o amido de Lichia também foi semelhante ao amido de abacate. Assim como, no estudo de HUANG *et al.*, (2007) com amido de feijão caupi, grão-de-bico e ervilha, onde os gráficos de RVA não apresentaram picos de viscosidade de pasta, a viscosidade se manteve constante durante o aquecimento e aumentou durante o resfriamento.

A viscosidade aumenta com o aquecimento na presença de excesso de água, um fenômeno causado pelo inchaço dos grânulos de amido em resposta à transferência de calor e umidade. Após atingir a viscosidade inicial de pasta (15 BU), os grânulos de amido começaram a inchar, aumentando a viscosidade, quando os polímeros de baixa massa molecular (amilose) passaram a ser lixiviados dos grânulos. A viscosidade máxima (616 BU) foi alcançada a 95,1 °C, quando os grânulos estavam completamente inchados, esse valor é superior ao encontrado por Chel-Guerrero *et al.* (2016) na viscosidade máxima de amido de milho (252 BU) a 92 °C.

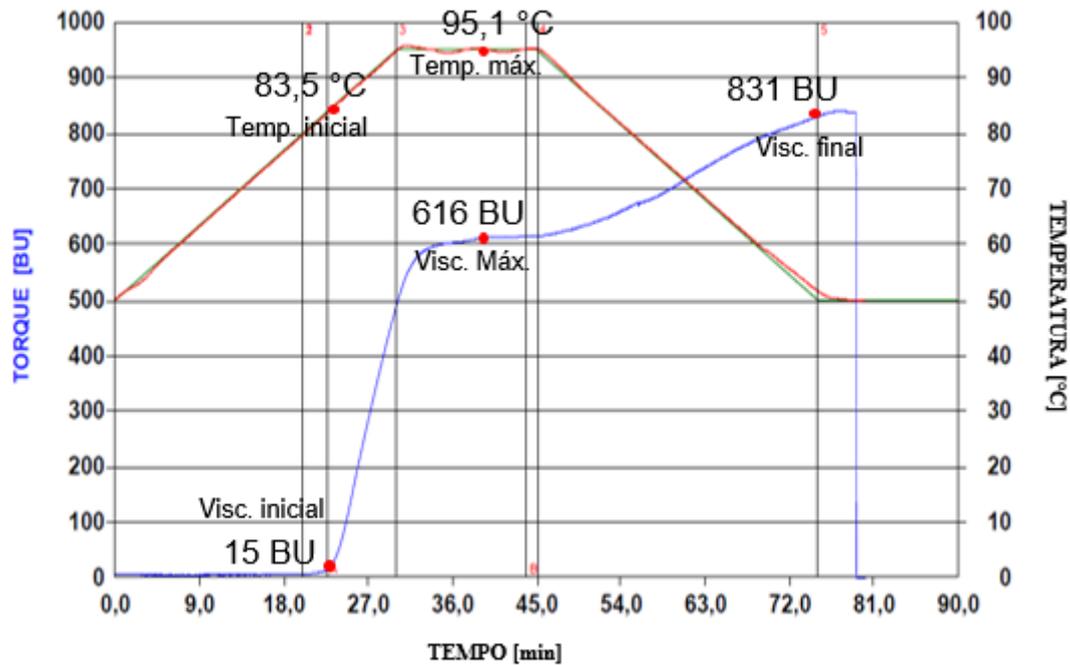


Figura 17. Viscoamilograma do amido extraído do caroço de abacate (*Persea americana* Mill).

Durante o aquecimento do amido do caroço de abacate a 95 °C durante 15 minutos, a viscosidade praticamente se manteve constante. Porém, à medida que foi resfriado a 50 °C, a viscosidade apresentou um aumento considerável e continuou a aumentar quando mantido a esta temperatura por mais 15 min, chegando a uma viscosidade final de 831 BU e um *Setback* (Retrogradação) de 215 BU. A retrogradação, está associada à elevada reassociação molecular durante o resfriamento e estocagem, fazendo com que as moléculas de água sejam liberadas em maior quantidade. A viscosidade elevada durante resfriamento permite manter as propriedades de alimentos formulados durante e após o processamento térmico (AI; JANE, 2018).

A quebra de viscosidade permite avaliar a estabilidade do produto a altas temperaturas sob agitação mecânica e está diretamente relacionada ao pico de viscosidade (VAMADEVAN; BERTOFT, 2015). O amido do caroço de abacate não apresentou quebra (*Breakdown*) com isso pode-se afirmar que o amido é resistente ao aquecimento e à agitação mecânica, sem perda de viscosidade durante o processo, considerando assim que o mesmo é estável mesmo a altas temperaturas.

Geralmente os amidos de baixa viscosidade a quente são usados em balas gelificadas, pastilhas, entre outros. Já os de alta viscosidade a quente são usadas em sopas, molhos, recheio de tortas, mistura para panificação e pudins (JOSHI *et al.*, 2013).

5.3 Efeito dos aditivos nos géis de amido

As respostas do perfil de textura (dureza, coesividade e gomosidade) obtidas pelo Texturômetro para os géis de amido na presença de diferentes aditivos encontram-se na Tabela 2. As propriedades de textura dos géis dependem dos constituintes do amido, da amilose, do volume e da

deformação dos grânulos, e da interação entre as fases contínuas e dispersas (NISHINARI *et al.*, 2013).

Tabela 2. Resultados médios do perfil de textura dos géis de amido do caroço de abacate (*Persea americana* Mill) controle e adicionados de aditivos.

Parâmetros	Amido nativo 4% (controle)	Aditivos			
		Amido (4%) + Cloreto de sódio 2%	Amido (4%) + Sacarose 7%	Amido (4%) + Ácido cítrico 0,3%	Amido (4%) + Emulsificante 3%
Dureza (g)	195,62	106,24	162,31	111,23	156,24
Coabilidade ¹	0,32 ^a	0,29 ^a	0,33 ^a	0,25	0,29 ^a
Gomosidade (g)	63,11 ^a	30,71	53,19 ^a	27,72	45,37

*Médias não assinaladas com a letra (a), nas linhas, diferem significativamente do controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

¹ Medida adimensional

Como observado na Tabela 2, a presença dos aditivos levou a diminuição significativa ($P < 0,05$) do parâmetro de dureza quando comparado ao controle (195,62 g) do gel, sendo a adição de cloreto de sódio a que mais afetou (106,24 g). A dureza do gel é, principalmente, causada pela retrogradação do amido, que é associada à perda de água (sinérese) e à cristalização da amilopectina, tornando o gel mais duro (NISHINARI *et al.*, 2013). Segundo Samutsri & Suphantharika, (2012), vários sais inorgânicos são capazes de aumentar ou reduzir a velocidade de retrogradação do amido. Íons fracamente hidratados são incapazes de separar prótons na molécula de amido, mas são capazes de atrair dipolos de água; conseqüentemente, menos água está disponível para a hidratação do amido e, portanto, a solubilidade e a retrogradação diminuem, levando a redução da dureza, ou firmeza do gel.

O ácido cítrico apresentou valores significativamente diferentes do controle para todos os perfis de textura, e o único a apresentar diferença no parâmetro da coabilidade. Segundo Yildiz *et al.* (2013) a coabilidade é a resistência das ligações internas que compõem o corpo do produto, ou seja, é a extensão até a qual o material pode ser distendido antes de romper irreversivelmente, isso significa que a adição do ácido cítrico proporciona baixa resistência das ligações no gel, rompendo-se mais facilmente, e formando géis menos firmes. De acordo com Guerreiro & Meneguelli (2009), o H^+ do ácido quebra as ligações glicosídicas entre o amido na solução, inibindo a retrogradação do gel, devido a isso todos os parâmetros de textura estudados tendem a diminuir.

Quanto ao parâmetro da gomosidade, o gel adicionado de sacarose (53,19 g) não apresentou diferença significativa do controle (63,11 g) enquanto que os demais aditivos diminuiram o valor desse parâmetro. YILDIZ *et al.* (2013) consideram a gomosidade como a força necessária para

desintegrar um material semi-sólido. O resultado obtido sugere que o gel de amido adicionado de sacarose necessita de uma força maior para a desintegração do gel que os demais aditivos analisados, e o que menos afetou negativamente os parâmetros de textura. Pode-se afirmar com isso que a sacarose apresentou um gel mais firme que os demais.

Ribeiro & Oliveira (2016) estudaram os perfis de textura de géis de amido nativo de diferentes fontes botânicas, e encontraram valores próximos ao amido nativo do presente estudo. No perfil de dureza do gel de amido de milho obtiveram 198,70 g, e para a coesividade e gomosidade no gel de fécula de mandioca encontraram os valores de 0,44 e 64,14 g.

As respostas obtidas com a adição dos diferentes aditivos no amido do caroço de abacate foram compatíveis com a teoria, em que a maioria dos autores sugerem que esses aditivos reagem inibindo a retrogradação no gel de amido. Tal efeito torna-se desejável, visto que o amido do caroço de abacate apresentou alta taxa de sinérese, limitando sua aplicabilidade em alguns produtos específicos, como os que dependem da estabilidade ao congelamento-descongelamento.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos é possível afirmar que o amido extraído do caroço de abacate (*Persea americana* Mill) tem potencial de uso como matéria-prima amilácea não-convencional em sistemas alimentares, pois o mesmo apresentou baixos valores de constituintes e um bom teor de rendimento, assim como, teor de umidade e cinzas dentro dos limites preconizados pela legislação brasileira. Sendo assim, a utilização desse subproduto, o caroço de abacate, favorece o aproveitamento dos resíduos das indústrias de óleo de abacate, evitando danos ambientais.

O amido do caroço de abacate apresentou uma pasta opaca, alta tendência a retrogradação, baixo PI e alto teor de amilose. Devido a taxa de sinérese obtida pode-se afirmar que o uso do amido do caroço de abacate não é recomendado em alimentos sujeitos à conservação sob congelamento e resfriamento, como sorvetes e cárneos. Porém, pode ser de interesse em uso em formulações que não requerem transparência, como molhos, cremes e sopas desidratadas.

No estudo de viscoamilografia, o amido do caroço de abacate apresentou elevada viscosidade durante resfriamento permitindo o desenvolvimento de produtos estáveis, mantendo suas propriedades durante e após tratamento térmico.

No estudo do efeito dos aditivos no perfil de textura dos géis os resultados mostram que para o parâmetro da dureza todos os aditivos em diferentes concentrações variaram significativamente ($p < 0,05$) da amostra controle, isso porque os aditivos provocaram a inibição da retrogradação, ampliando se certa forma sua aplicabilidade industrial. No entanto seria de grande relevância o estudo do amido do caroço de abacate em outros tipos de aditivos e em diversas concentrações, utilizados na indústria de alimentos.

Sugere-se ainda o estudo aprofundado de aplicações do amido do caroço de abacate em outras áreas industriais como a têxtil, farmacêutica, mas principalmente a de embalagens e filmes biodegradáveis, já que o mesmo apresentou características apreciáveis para esse tipo de produto, para assim um maior e total aproveitamento desse resíduo.

REFERÊNCIAS

- ACQUARONE, V. M.; RAO, M. A. Influence of sucrose on the rheology and granular size of cross-linked waxy maize dispersions heated to two temperatures. **Carbohydrate Polymers**, v. 51, p. 451-458, 2003.
- ADEBOWALE, K. O.; T. AFOLABI, A.; LAWAL, O. S. Isolation, chemical modification and physicochemical characterisation of Bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*) starch and flour. **Food Chemistry**, v.78, p. 305–311, 2002.
- ADEBOWALE, K. O.; LAWAL, O. S. Foaming, gelation and electrophoretic characteristics of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) protein concentrates. **Food Chemistry**, v. 83, p. 237-246, 2003.
- AHAMAD, F. B.; WILLIAMS, P. A. Effect of sugars on the thermal and rheological properties of sago starch. **Biopolymers**, v. 50, p. 401-412, 1999.
- AHMED, J. Rheometric non-isothermal gelatinization kinetics of mung bean starch slurry: effect of salt and sugar - part 1. **Journal of Food Engineering**, v. 109, p. 321-328, 2012.
- AI, Y.; JANE, J. Starch in Food: Structure, Function and Applications. Chapter 3- Understanding Starch Structure and Functionality. **Food Science, Technology and Nutrition**, 2 ed., p. 151-178, 2018.
- AI, Y.; GONG, L. X.; REED, M.; HUANG, J. Q.; ZHANG, Y.; JANE, J. Characterization of starch from bamboo seeds. **Starch/Stärke**, v. 68, p. 131-139, 2016.
- ALLAN, M. C.; RAJWA, B., MAUER, L. J. Effects of sugars and sugar alcohols on the gelatinization temperature of wheat starch. **Food Hydrocolloids**, v. 84, p. 593-607, 2018.
- ALCÁZAR-ALAY, S. C.; MEIRELES, M. A. A. Physico chemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology** v. 35, n. 2, p. 215-236, 2015.
- ALI, T. M.; HASNAIN, A. Effect of emulsifiers on complexation, pasting, and gelling properties of native and chemically modified white sorghum (*Sorghum bicolor*) starch. **Starch/Stärke**, v.65, p. 490-498, 2013.
- AMORIM, T. S. **Extração, reticulação e caracterização físico-química, térmica e funcional do amido de fruta-pão (*Artocarpus altilis*)**. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2017.
- ARUNYANART, T.; CHAROENREIN, S. Effect of sucrose on the freeze–thaw stability of rice starch gels: Correlation with microstructure and freezable water. **Carbohydrate Polymers**, v. 74, p. 514–518, 2008.
- BALDWIN, P. M. Starch-granule associated proteins and polypeptides: a review. **Starch/Stärke**, v. 53, p. 475–503, 2001.
- BATISTA, W.P.; SILVA, C.E.M; LIBERATO, M.C. Chemical and mass properties of phosphorylated wheat and maize starches. **Food Science and Technology**, v. 30, n. 1, p.88- 92, 2010.
- BECK, M., JEKLE, M., BECKER, T. Starch re-crystallization kinetics as a function of various cations. **Starch/Stärke**, v. 63, p. 792-800, 2011.
- BENINCA, C.; COLMAN, T. A. D.; LACERDA, L. G.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; BANNACH, G.; SCHNITZLER, E. The thermal, rheological and structural properties of cassava starch granules modified with hydrochloric acid at different temperatures. **Thermochimica Acta**, V.552, p65-69, 2013.
- BEUCHAT, L.R. Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 25, p. 258-261, 1977.

BLAZEK, J.; GILBERT, E. P. Application of small-angle X-ray and neutron scattering techniques to the characterisation of starch structure: a review. **Carbohydrate Polymers**, n. 85, p. 281-293, 2011.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Química do processamento dos alimentos**. 3 ed. São Paulo: Varela, 144 p., 2001.

BOURNE, M. C. **Food texture and Viscosity: Concept and measurement**. 2 ed. Academic Press: USA, 426 p., 2002.

BRASIL. **Normas técnicas especiais relativas a alimentos e bebidas. Leis, decretos, etc. Decreto nº 12484 de 20 de outubro de 1978**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 21 out. p. 20. 1987.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC n. 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**.

Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/RDC_263_2005.pdf/e9aa3580-f130-4eb5-91cb-8b8818bcf6b2>. Acesso em: novembro, 2018.

BUILDERS, P. F.; NNURUM, A.; MBAH, C. C.; ATTAMA, A. A.; MANEK, R. The physicochemical and binder properties of starch from *Persea americana* Mill (*Lauraceae*). **Starch/ Stärke**, v. 62, p 309–320, 2010.

BULÉON, A., COLONNA, P., PLANCHOT, V; BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 23, n. 2, p. 85-112, 1998.

CAMPBELL, C, W.; MALO, S. E. A survey of avocado cultivar. In: INTERNATIONAL TROPICAL FRUIT SHORT COURSE: the avocado. 1., Miami Beach. **Proceedings...** Gainesville: University of Florida, p. 24-33, 1976.

CASTANHA, N.; VILLAR, J.; DA MATTA JUNIOR, M. D.; DOS ANJOS, C. B. P.; AUGUSTO, P. E. D. Structure and properties of starches from Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 117 p. 1029–1038, 2018.

CEAGESP, 2016. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/abacate.pdf> Acesso em: Novembro, 2018.

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

CHEL-GUERRERO, L.; BARBOSA-MARTÍN, E.; MARTÍNEZ-ANTONIO, A.; GONZÁLEZ MONDRAGÓN, E.; BETANCUR-ANCONA, D. Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 86, p. 302-308, 2016.

CHIOTELLI, E.; PILOSIO, G.; MESTE, M. Effect of sodium chloride on the gelatinization of starch: a multi measurement study. **Biopolymers**, v. 63, p. 41-58, 2002.

CHMELIK, J. Comparison of size characterization of barley starch granules determined by electron and optical microscopy, low angle laser light scattering and gravitational fieldflow fractionation. **Journal Inst. Brewing**, v. 107, p. 11–17, 2001.

CIESIELSKI, W.; TOMASIK, P. Complexes of amylose and amylopectins with multivalent metal salts. **Journal Inorg. Biochemical**, v. 98, p. 2039–2051, 2004.

- CORDOBA, L. P.; RIBEIRO, L. S.; ROSA, L. S.; LACERDA, L. G.; SCHNITZLER, E. Effect of enzymatic treatments on thermal, rheological and structural properties of pinhão starch. **Thermochemica Acta**, v. 642, p. 45–51, 2016.
- CRAIG, S.A.S.; MANINGAT, C.C.; SEIB, P.A.; HOSENEY, R.C. Starch Paste Clarity. **Cereal Chemistry**, v. 66, n. 3, p. 173-182, 1989.
- DAIUTO, É. R.; TREMOCOLDI, M. A.; ALENCAR, S. M. De; VIEITES, R. L. Composição química e atividade antioxidante da polpa e resíduos de abacate “Hass”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, p. 417–424, 2014.
- DE CASTRO, D. S.; MOREIRA, I S.; SILVA, L. M. M.; LIMA, J. P.; DA SILVA, W. P, GOMES, J. P.; FIQUEIRÊDO, R. M. F. Isolation and characterization of starch from pitomba endocarp. **Food Research International**, 2018.
- DEMBITSKY, V. M.; POOVARODOM, S.; LEONTOWICZ, H.; LEONTOWICZ, M.; VEARASILP, S.; TRAKNTENBERG, S.; GORINSTEIN, S. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1671-1701, 2011.
- 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.
- DE PILLI, T.; LEGRAND, J.; DEROSI, A.; SEVERINI, C. Effect of proteins on the formation of starch-lipid complexes during extrusion cooking of wheat flour with the addition of oleic acid. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, p. 515-521, 2015.
- DI-MEDEIROS, M. C. B.; PASCOAL, A. M.; BATISTA, K. A.; BASSINELLO, P. Z. LIÃO, L. M.; LELES, M. I. G.; FERNANDES, K. F. Rheological and biochemical properties of Solanum lycocarpum starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 104, p. 66– 72, 2014.
- DONADIO, L. C. **Abacate para exportação: aspectos técnicos da produção**. 2. ed. Brasília: DENACOO, 53 p., 1995.
- DUARTE, P. F.; CHAVES, M. A., BORGES, C. D., MENDONÇA, C. R. B. Avocado: Characteristics, health benefits and uses. **Ciência Rural**, v. 46, p. 747–754, 2016.
- EGUCHI, S.; YOSHIMURA, M.; KOHYAMA, K. Physical properties and texture of Japanese white salted noodles mixed with tapioca starch. **Journal. Japan. Soc. Food Science Technology**, v. 59, p. 268–278, 2012.
- ELIASSON, A.C. **Starch in food – Structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC, 605 p, 2004.
- FALADE, K. O.; AYETIGBO, O. E. Effects of annealing, acid hydrolysis and citric acid modifications on physical and functional properties of starches from four yam (*Dioscorea* spp.) cultivars. **Food Hydrocolloids**, v. 43, p. 529-539, 2015.
- FAN, X.; ZHANG, S.; LIN, L.; ZHAO, L.; LIU, A.; WEI, C. Properties of new starches from tubers of *Arisaema elephas*, *yunnanense* and *erubescens*. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 183–190, 2016.
- FERRARI, R. A. Physico chemical characterization of avocado oil extracted by centrifugation and of the process byproducts. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 1, p. 79-84, 2015.
- FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Fundação Cargil, v. 1, 224 p, 2001.

FU, Z.; CHEN, J.; LOU, S. J.; LIU, C. M.; LIU, W. Effect of food additives on starch retrogradation: a review. **Starch/Stärke**, v. 67, p. 69-78., 2015.

GUERREIRO, L. M. R.; MENEGUELLI, F. C. Heat treatment and acidity influence on the rheological behavior of commercial organic waxy corn starch. **Food Science and Technology**, v. 29, p. 412-419, 2009.

HERRERO-MARTÍNEZ, J.M.; SCHOENMAKERS, P.J.; KOK, W.T. Determination of the amylose-amylopectin ratio of starches by iodine-affinity capillary electrophoresis. **Journal Chromatography A.**, v.34 2004.

HIRASHIMA, M.; TAKAHASHI, R.; NISHINARI, K. Effects of adding acids before and after gelatinization on the viscoelasticity of corn starch pastes. **Food Hydrocolloids**, v. 19, n.5, p. 909-914, 2005.

HUANG, J.; SCHOLS, H.A.; VAN SOEST, J.J.G.; JIN, Z.; SULMANN, E.; VORAGEN, A.G.J. Physicochemical properties and amylopectin chain profiles of cowpea, chickpea and yellow pea starches. **Food Chemistry**, v. 101, p. 1338-1345, 2007.

HUANG, J; ZHAO, L.; MAN, J.; WANG, J.; ZHOU, W.; HUAI, H.; WEI, C. Comparison of physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 78, p. 165–172, 2015.

IBGE, 2016. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado> Acesso em: Novembro 2018.

INSTITUTO ADOLF LUTZ, **Determinações gerais.** Normas analíticas do Instituto Adolf Lutz. 3 ed, São Paulo, 2005.

JOSHI, M.; ALDRED, P.; MCKNIGHT, S.; PANOZZO, J. F.; KASAPIS, S.; ADHIKARI, R.; ADHIKARI, B. Physicochemical and functional characteristics of lentil starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, p. 1484–1496, 2013.

JYOTHI, A. N.; SASIKIRAN, K.; SAJEEV, M. S.; REVAMMA, R.; MOORTHY, S. N. Gelatinization properties of cassava starch in the presence of salts, acids and oxidising agents. **Starch/Stärke**, v. 57, p. 547-555, 2005.

KAHN, V. Characterization of Starch Isolated from Avocado Seeds. **Journal Food Science.** V. 52, p. 1646–1648, 1987.

KAUR, L.; SINGH, J.; SINGH, N. Effect of glycerol monostearate on the physico-chemical, thermal, rheological and noodle making properties of corn and potato starches. **Food Hydrocolloids**, v. 19, p. 839– 849, 2005.

KAUR, M.; SINGH, S. Physicochemical, Morphological, Pasting, and Rheological Properties of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Kernel Starch. **International Journal of Food Properties**, v.19, p. 2432–2442, 2016.

KAWAI, K.; TAKATO, S.; SASAKI, T.; KAJIWARA, K. Complex formation, thermal properties, and in-vitro digestibility of gelatinized potato starch-fatty acid mixtures, **Food Hydrocolloid**, v. 27, p. 228–234, 2012.

KOLLER, O. **Abacate: produção de mudas, instalação, manejo de pomares, colheita e pós-colheita.** Porto Alegre: Cinco Continentes, 154 p, 2002.

LACERDA, L.G.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; BAUAB, T. DEMIATE, I. M.; COLMAN, T. A. D.; ANDRADE, M. M. P.; SCHNITZLER, E. The effects of heat-moisture treatment on avocado starch granules Thermo analytical and structural analysis. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 120, p 387–393, 2015.

- LACERDA, L. G.; COLMAN, T. A. D.; BAUAB, T.; DA SILVA CARVALHO FILHO, M. A.; DEMIATE, I. M.; DE VASCONCELOS, E. C.; SCHNITZLER, E. Thermal, structural and rheological properties of starch from avocado seeds (*Persea americana* Mill) modified with standard sodium hypochlorite solutions. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115, n. 2, p. 1893-1899, 2014.
- LAWAL, O. S.; ADEBOWALE, K. O. Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified Jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, p. 331-341, 2005.
- LEACH, H. W.; McCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v. 36, n. 6, p. 534- 544, 1959.
- LEDEZMA, C. C. Q. Starch in Food: Structure, Function and Applications. Chapter 20 - Starch Interactions With Native and Added Food Components. **Food Science, Technology and Nutrition**, 2 ed., p. 769-801, 2018.
- LEE, M. H.; BAEK, M. H.; CHA, D. S.; PARK, H. J.; LIM, S. T. Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gums. **Food Hydrocolloids**, v. 16, p.345-352, 2002.
- LEITE, J. J. G., BRITO, E.H. S.; CORDEIRO, R. A.; BRILHANTE, R. S. N.; SIDRIM, J. J. C.; BERTINI, L. M.; MAIA DE MORAIS, S.; ROCHA, M.F. G. Composição química, toxicidade, atividade larvicida e antifúngica de extratos de semente de *Persea americana* (abacate). **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 42, p.110-113, 2013.
- LEMONS, P. V. F.; BARBOSA, L. S.; RAMOS, I. G.; COELHO, R. E.; DRUZIAN, J. I. The important role of crystallinity and amylose ratio in thermal stability of starches. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 130, p. 1–13, 2017.
- LEONEL, M., Analysis of the shape and size of starch granules from different botanical sources. **Food Science and Technology**, v. 27, p. 579-588, 2007.
- LEONEL, S.; SAMPAIO, A. C. **Abacate**: aspectos técnicos da produção. São Paulo: UNESP, Cultura Acadêmica, 239 p., 2008.
- LII, C. Y.; TOMASIK, P.; HUNG, W. L.; LAI, V. M. F. Revised look at the interaction of starch with electrolyte: effect of salts of metals from the first non-transition group. **Food Hydrocolloids**, v. 16, p. 35-45, 2002.
- LIN, L.; GUO, D.; ZHAO, L.; ZHANG, X.; WANG, J.; ZHANG, F.; WEI, C. Comparative structure of starches from high-amylose maize inbred lines and their hybrids. **Food Hydrocolloids**, v. 52, p. 19–28, 2016.
- LINDEBOOM, N.; CHANG, P. R.; TYLER, R. T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. **Starch/Stärke**, v. 56, n 4, p. 89-99, 2004.
- LOOS, P.J.; HOOD, L.F.; GRAHAM, H.D. Isolation and characterization of starch from breadfruit. **Cereal Chemistry**, v. 54, p. 282-286, 1981.
- LUSTOSA, B. H. B., LEONEL, M., LEITE, T. D., FRANCO, C. M. L., & MISCHAN, N. M. Cassava instant flour: Effect of extrusion conditions on thermal and viscosity properties. **Acta Scientiarum Technology**, 31, 231–238, 2009.
- MADRUGA, 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**, v. 143, p. 440–445, 2014.

- MARTÍNEZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz: Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad auditorial sobre el mismo tema.** 3.ed. Cali: CIAT, p. 73, 1989.
- MELO NETO, B. A.; BARBOSA, A. A.; LEITE, C. X. S.; ALMEIDA, P. F.; BONOMO, R. C. F.; PONTES, K. V. Chemical composition and functional properties of starch extracted from the pejibaye fruit (*Bactrisgase paes* Kunth). **Acta Scientiarum Technology**, v. 31, p105, 2015.
- MENDES, M. L. M.; RIBEIRO, A. P. L.; ALMEIDA, E. C. Efeito da acidificação nas propriedades físico-químicas e funcionais do amido de sementes de manga (*Mangifera indica* L.), variedade Tommy Atkins. **Revista Ceres**, v. 62, n.3, p. 225-232, 2015.
- MOOZ, E. D.; GAIANO, N. M.; SHIMANO, M. Y. H.; AMANCIO, R. D.; SPOTO, M. H. F. Physical and chemical characterization of the pulp of different varieties of avocado targeting oil extraction potential. **Food Science and Technology**, v. 32, p. 274-280, 2012.
- NARA, S.; T. KOMIY. Studied on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. **Starch/ Stärke**, v. 35, p. 407-410, 1983.
- NEWPORT SCIENTIFIC. **Instruction Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyzer.** Newport Scientific Pty. Ltd., Australia, 1998.
- NISHINARI, K.; KOHYAMA, K.; KUMAGAI, H.; FUNAMI, T.; BOURNE, M. C. Parameters of Texture Profile Analysis. **Food Science and Technology Research**, v. 19, n.3, p.51, 2013.
- NÚÑEZ-SANTIAGO, M.C.; BELLO-PÉREZ, L. A.; TECANTE, A. Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiacal*) starch. **Carbohydrate Polymers**. v. 56, p. 65- 75, 2004.
- NUWAMANYA, E.; BAGUMA, Y., WEMBABAZI, E., RUBAIHAYO, P. A comparative study of the physicochemical properties of starches from root, tuber and cereal crops. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, p. 12018-12030, 2011.
- OLIVEIRA, M. C.; PIO, R.; RAMOS, J. D.; LIMA, L. C. O.; PASQUAL, M.; SANTOS, V. A. Fenologia e características físico-químicas de frutos de abacateiros visando à extração de óleo. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 411-418, 2013.
- OYEYINKA, S. A.; OYEYINKA, A. T. A review on isolation, composition, physicochemical properties and modification of Bambara groundnut starch. **Food Hydrocolloids**, v. 75, p. 62–71, 2018.
- PARKER, R.; RING, S.G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v. 34, p. 1-17, 2001.
- PASCOAL, A. M.; DI-MEDEIROS, M. C. B.; BATISTA, K. A.; LELES, M. I. G.; LIÃO, L. M.; ERNANDES, K. F. Extraction and chemical characterization of starch from *S. lycocarpum* fruits. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, p. 1304– 1310, 2013.
- PEREIRA, L.H.G., **Obtenção e estudo das propriedades físico-químicas de amidos de mandioca oxidados e ácidos-modificados** - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. 108 p, 2008.
- PÉREZ, S.; BERTOFT, E. The Molecular Structures of Starch Components and their Contribution to the Architecture of Starch Granules: A Comprehensive Review. **Starch/Stärke**, v. 62, p. 389–420, 2010.
- PÉREZ-PACHECO, E., MOO-HUCHIN, V. M., ESTRADA-LEÓN, R. J., ORTIZ-FERNÁNDEZ, A., MAY-HERNÁNDEZ, L. H., RÍOS-SOBERANIS, C. R., BETANCUR-ANCONA, D. Isolation and characterization of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz Seeds. **Carbohydrate polymers**, v. 101, p. 920-927, 2014.

PLOYPETCHARA, T.; GOHTANI, S. Effect of sugar on starch edible film properties: plasticized effect. **Journal Food Science and Technology**, v. 55, p. 3757–3766, 2018.

PORNSUKSOMBOON, K.; BARTAHOLLÓ, B.; SZÉCSÉNYI, K. M.; KAEWTATIP, K. Properties of baked foams from citric acid modified cassava starch and native cassava starch blends. **Carbohydrate Polymers**, v. 136, p. 107-112, 2016.

PUTSEYS, J.A.; LAMBERTS, L.; DELCOUR, J.A. Amylose-inclusion complexes: formation, identity and physico-chemical properties. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 238-247, 2010.

RADHIKA, G. S.; SHANAVAS, S.; MOORTHY, S. N. Influence of lipids isolated from soybean seed on different properties of cassava starch. **Starch/Stärke**, v. 60, p. 485–492, 2008.

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

RIBEIRO, R. S.; OLIVEIRA, T. O. **Extração, caracterização e estudo da aplicação do amido do pinhão (*Araucaria angustifolia*) como ingrediente alimentício**. X CIGR Section IV International Technical Symposium- Food: the tree that sustains life. FAURGS- Gramado/RS, Out. 2016.

ROSICKA-KACZMAREK, J.; KWAŚNIEWSKA-KAROLAK, I.; NEBESNY, E.; KOMISARCZYK, A. Starch in Food: Structure, Function and Applications. Chapter 8 - The Functionality of Wheat Starch. **Food Science, Technology and Nutrition**, 2 ed., p. 325-352, 2018.

SAMUTSRI, W.; SUPHANTHARIKA, M. Effect of salts on pasting, thermal, and rheological properties of rice starch in the presence of non-ionic and ionic hydrocolloids. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, p. 1559–1568, 2012.

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

SANTANA, Á. L.; MEIRELES, M. A. A. New starches are the trend for industry applications: a review. **Food and Public Health**, v. 4, p. 229- 241, 2014.

SANTOS, D. M.; ASCHERI, D. P.; BUKZEM, A. L.; MORAIS, C. C.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Physicochemical properties of starch from avocado seed (*Persea Americana* Mill). **B.CEPPA**, Curitiba, v. 34, n. 2, 2016.

SCHOCH, T. J.; LEACH, H. W. Determination of absolute density-liquid displacement. In: WHISTLER, R. L. (Ed). **Methods in carbohydrate chemistry**. New York: Academic Press, v. 4. p. 101-103, 1964.

SECRETARÍA DE ECONOMÍA: **El aguacate mexicano, presente em la edición 51 del Súper Bowl**, 2017. Disponível em:<https://www.gob.mx/se/articulos/el-aguacate-mexicano-presente-en-la-edicion-51-del-super-bowl>. Acesso em: abril, 2019.

SNA (SERVIÇO NACIONAL DE AGRICULTURA), 2018. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/abacate-cai-no-gosto-dos-consumidores-e-engorda-exportacao/>. Acesso em: fevereiro, 2019.

SHI, R.; ZHANG, Z.; LIU, Q.; HAN, Y.; ZHANG, L.; CHEN, D.; TIAN, W. Characterization of citric acid/glycerol co-plasticized thermoplastic starch prepared by melt blending. **Carbohydrate Polymers**, v. 69, p. 748-755, 2007.

- SHIMELIS, E.; MEAZA, M.; RAKSHIT, S. Physico-chemical Properties, Pasting Behavior and Functional Characteristics of Flours and Starches from Improved Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Varieties Grown in East Africa". *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript , 2006.
- SILVA, I. R. A.; ALBUQUERQUE, F. S. M.; AQUINO, J. S.; QUEIROGA NETO, V. Q. Efeito da modificação química por reação de cross-linking nas propriedades do amido de semente de abacate (*Persea americana* Mill). **B. CEPPA**, Curitiba, v. 31, n. 2, p. 295-308, 2013.
- SILVA, I. R. A.; MAGNANI, M., ALBUQUERQUE, F. S. M.; BATISTA, K. S.; AQUINO, J. S.; QUEIROGA NETO, V. Characterization of the chemical and structural properties of native and acetylated starches from avocado (*Persea americana* Mill.) seeds. **International Journal of Food Properties**, V. 20, p. 279-289, 2017.
- SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L. SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219-231, 2003.
- SINGH, N.; SANDHU, K.S.; KAUR, M. Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 4, p. 441-449, 2004.
- SINGH, J.; KAUR, L.; MCCARTHY, O. J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications- A review. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 1-22, 2007.
- SRIBURI, P.; HILL, S. E. Extrusion of cassava starch with either variations in ascorbic acid concentration or pH. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 141-154, 2000.
- SRIBURI, P.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. Effects of ascorbic acid on the conversion of cassava starch. **Food Hydrocolloids**, v. 13, n. 2, p. 177-183, 1999.
- TAKIZAWA, F.F.; SILVA, G.O.; KONKEL, F.E.; DEMIATE, I.M. Characterization of tropical starches modified with potassium permanganate and lactic acid. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, v. 47, n. 6, p. 921-931, nov., 2004.
- TANGO, J. S.; CARVALHO, C. R. L.; SOARES, N. B. Caracterização física e química de frutos de abacate, visando o seu potencial para extração de óleo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 17-23, 2004.
- TESTER, R.F.; KARKALAS, J.; QI, X. Review. Starch-composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**. v. 39, n. 2, p. 151-165, 2004.
- THORY, R.; SANDHU, K. S. A Comparison of mango kernel starch with a novel starch from litchi (*Litchi chinensis*) kernel: Physicochemical, morphological, pasting, and rheological properties. **International Journal of Food Properties**, v. 20, p. 911-921, 2017.
- VALLÉS-PÀMIÉS, B.; BARCLAY, F.; HILL, S. E.; MITCHEL, J. R.; PATERSON, L. A.; BLANSHARD, J. M. V. The effects of low molecular weight additives on the viscosities of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 34, n.1-2, p. 31-38, 1997.
- VAMADEVAN, V.; BERTOFT, E. Structure-function relationships of starch components. **Starch/Stärke**, v. 67, p. 55-68, 2015.
- VANDEPUTTE, G.E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v.58, p. 245-266, 2004.
- WANG, L.; WANG, Y. Structure and physico chemical properties of acid-thinned corn, potato and rice starches. **Starch/Stärke**, v. 53, n. 11, p. 570-576, 2001.

- WATERSCHOOT, J.; GOMAND, S. V.; FIERENS, E.; DELCOUR, J. A. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. **Starch/Stärke**, v. 67, p. 14-29, 2015.
- WHITE, P.J.; ABBAS, I.R.; JOHNSON, L.A. Freeze-thaw stability and refrigerated-storage retrogradation of starches. **Starch/ Stärke**, v. 41, p. 176-181, 1989.
- WOGGUM, T.; SIRIVONGPAISAL, P.; WITTAYA, T. Properties and characteristics of dual-modified rice starch based biodegradable films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 67, p. 490-502, 2014.
- YANG, H.; WANG, Y.; IANG, M.; OH, J-H; HERRING, J.; ZHOU, P. 2-step optimization of the extraction and subsequent physical properties of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) skin gelatin. **Journal of Food Science**, v.72, n.4, p. 188-195, 2007.
- YILDIZ, Ö.; YURT, B.; BASTÜRK, A.; TOKER, Ö. S.; YILMAZ, M. T.; KARAMAN, S.; DAĞLIOĞLU, O. Pasting properties, texture profile and stress–relaxation behavior of wheat starch/dietary fiber systems. **Food Research International**, v. 53, p. 278-290, 2013.
- YUAN, Y., ZHAN, L., DAÍ, Y.; YU, J. J. Physicochemical properties of starch obtained from *Dioscorea nipponica* Makino comparasion with other tuber starches. **Journal of Food Engineering**, 82, 436–442, 2007.
- ZHANG, Y.; ZHU, K.; HE, S.; TAN, L.; KONG, X. Characterizations of high purity starches isolated from five different jackfruit cultivars. **Food Hydrocolloids**, v. 52, p. 785–794, 2016.
- ZHANG, X.; TONG, Q.Y.; REN, F. Manuscript Title: Influence of Glucose, Sucrose and Trehalose on the Freeze-Thaw Stability of Tapioca Starch Gels. **Adv. Journal Food Science Technology**, v. 4, n. 4, p. 225-230, 2012.
- ZHANG, Y.; HU, M. ZHU, K.; WU, G.; TAN, L. Functional properties and utilization of *Artocarpus heterophyllus* Lam seed starch from new species in China. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 107, p 1395–1405, 2018.
- ZHOU, J.; TONG, J.; SU, X.; REN, L. Hydrophobic starch nanocrystals preparations through crosslinking modification using citric acid. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 91, p. 1186-1193, 2016.
- ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Effect of the addition of fatty acids on rice starch properties. **Food Research International**, v. 40, p. 209–214, 2007.
- ZHU, T.; JACKSON, D.S.; WEHLING, R.L.; GEERA, B. Comparison of amylose determination methods and the development of a dual wavelength iodine binding technique. **Cereal Chemistry**, v. 8, 2008.
- ZHU, F.; MOJEL, R.; LI, G. Physicochemical properties of black pepper (*Piper nigrum*) starch. **Carbohydrate polymers**, v. 181, p. 986–993, 2018.