



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**IMPACTO DA SECAGEM EM LEITO DE JORRO E DAS MODIFICAÇÕES
COM CALOR-UMIDADE E PRESSÃO OSMÓTICA NAS PROPRIEDADES DO
AMIDO DA SEMENTE DE ABACATE cv. BREDA**

ANNA EMANUELLE SOARES TOMÉ

**Campina Grande - PB
2024**

ANNA EMANUELLE SOARES TOMÉ

**IMPACTO DA SECAGEM EM LEITO DE JORRO E DAS MODIFICAÇÕES
COM CALOR-UMIDADE E PRESSÃO OSMÓTICA NAS PROPRIEDADES DO
AMIDO DA SEMENTE DE ABACATE cv. BREDA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadoras: Prof^a. Dr^a. Ana Paula Trindade Rocha
Prof^a. Dr^a. Josivanda Palmeira Gomes
Coo-orientador: Dr. Newton Carlos Santos

T656i

Tomé, Anna Emanuelle Soares.

Impacto da secagem em leite de jorro e das modificações com calor-umidade e pressão osmótica nas propriedades do amido da semente de abacate cv. Breda / Anna Emanuelle Soares Tomé. – Campina Grande, 2024.

140 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Profa. Dra. Ana Paula Trindade Rocha, Prof. Dra. Josivanda Palmeira Gomes, Dr. Newton Carlos Santos".

Referências.

1. Sementes de Abacate. 2. Extração de Amido. 3. Amido Modificado. 4. Dupla Modificação. 5. Propriedades Funcionais. 6. Sulfato de Sódio. 7. Tratamento Térmico. I. Rocha, Ana Paula Trindade. II. Gomes, Josivanda Palmeira. III. Santos, Newton Carlos. IV. Título.

CDU 634.653(043)

ANNA EMANUELLE SOARES TOMÉ

**IMPACTO DA SECAGEM EM LEITO DE JORRO E DAS MODIFICAÇÕES
COM CALOR-UMIDADE E PRESSÃO OSMÓTICA NAS PROPRIEDADES DO
AMIDO DA SEMENTE DE ABACATE cv. BREDA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovado em: 18 de julho de 2024

Banca Examinadora

Josivanda Palmeira Gomes - Orientador(a)

Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola – CTRN – Universidade Federal de Campina Grande

Ana Paula Trindade Rocha - Orientador(a)

Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola – CTRN – Universidade Federal de Campina Grande

Newton Carlos Santos - Coorientador(a)

Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – CTRN - Universidade Federal de Campina Grande

Rossana Maria Feitosa de Figueiredo - Examinador(a) Interno(a)

Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola – CTRN – Universidade Federal de Campina Grande

Ana Nery Alves Martins Pereira - Examinador(a) Externo(a)

Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – CTRN - Universidade Federal de Campina Grande

Anna Emanuelle Soares Tomé – Discente

Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – CTRN - Universidade Federal de Campina Grande

JULHO DE 2024



Documento assinado eletronicamente por **Newton Carlos Santos, Usuário Externo**, em 20/08/2024, às 13:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSIVANDA PALMEIRA GOMES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/08/2024, às 13:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ROSSANA MARIA FEITOSA DE FIGUEIREDO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 20/08/2024, às 14:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Anna Emanuelle Soares Tomé, Usuário Externo**, em 22/08/2024, às 08:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANA NERY ALVES MARTINS PEREIRA LEITE, Usuário Externo**, em 23/10/2024, às 07:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANA PAULA TRINDADE ROCHA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 03/02/2025, às 10:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4720928** e o código CRC **9512DA45**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e Nossa Senhora que ao longo da minha caminhada me sustentou para enfrentar os obstáculos e os tempos de deserto, me ensinando a confiar nos planos de Deus e ter fé para que tudo venha dar certo.

Aos meus pais, Emanuel e Maritana, por todo apoio e por toda confiança depositada em mim. Essa é uma conquista que eu dedico especialmente para minha mãe, que é meu grande amor e minha motivação diária. Obrigada por tudo!

A minha vó Ana Elvira por todo apoio e ser minha segunda mãe. E toda minha família que contribuem sempre pelo meu bem estar e por me ajudarem em todas as ocasiões.

Às minhas orientadoras, Prof^ª. Dr.^a Ana Paula Trindade Rocha e Prof^ª. Dr.^a Josivanda Palmeira Gomes por toda dedicação, confiança, disponibilidade e contribuições para minha formação acadêmica.

Aos meus amigos Juvêncio e Elizabeth que trilham comigo essa trajetória e tornam a pós-graduação mais leve. A minha amiga Juane Queiroz e Dayane Luna, obrigada por todo companheirismo durante esses anos, e por serem meu suporte no cotidiano. Sou grata por ter vocês em minha vida e por todos os momentos preciosos que compartilhamos.

Um agradecimento especial para Newton Carlos, por todo suporte durante a conclusão da dissertação, além de coorientador é um grande amigo, e meus dias se tornaram menos cansativos com sua companhia e pela troca de conhecimento.

A UFCG e CAPES pelo apoio financeiro e estrutural para a realização deste trabalho. Por fim, expresso minha gratidão a todos os participantes deste estudo, cuja colaboração foi fundamental. A todos vocês, meu sincero agradecimento por fazerem parte desta jornada.

“Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais.”

(Augusto Cury)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo extrair amido de sementes de abacate e avaliar o impacto das temperaturas de secagem (50, 60, 70 e 80 °C) em leito de jorro e o efeito das modificações simples e duplas por calor-umidade (HMT) e pressão osmótica (OPT) quanto às propriedades físico-químicas, físicas e funcionais, texturais, morfológicas (MEV), estruturais (DRX e FT-IR) e térmicas (DSC) do amido. Os resultados demonstraram que a secagem em leito de jorro é uma técnica alternativa e viável para secagem de pastas de amido de sementes de abacate (rendimento entre 52,3-58,5%), no entanto, o processo conduzido a 70 °C se destacou por apresentar os maiores teores de amido, amilose e amilopectina, boas características de fluxo e poder de inchamento superior a 50%. Além disso, todas as amostras apresentaram partículas lisas, sem rachaduras ou cavidades, classificadas como do tipo B, com cristalinidade relativa entre (23,29-24,27%) e sem a formação de novos grupos funcionais. Ao avaliar o efeito das modificações físicas (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) foi observado uma redução nos parâmetros físico-químicos e funcionais, texturais, estrutural e térmico, no entanto, houve um aumento no diâmetro das partículas ao avaliar seus aspectos morfológicos, e os tratamentos combinados (HMT+OPT e OPT+HMT) apresentaram os maiores valores para este parâmetro. O HMT apresentou os menores valores de sinérese, e o tratamento OPT apresentou o maior valor de cristalinidade (23,55%). As amostras foram classificadas como amido do tipo A, e também não houve formação de novos grupos funcionais após modificação, e a combinação na ordem OPT+HMT apresentaram as menores intensidades entre os tratamentos. Portanto, o leito de jorro proporciona uma rota simples e eficiente para secagem de amido, garantindo uma secagem rápida e uniforme. Além disso, as modificações físicas por calor-umidade e pressão osmótica são métodos inovadores para alterar as funcionalidades do amido de sementes de abacate e serem direcionadas para aplicações alimentícias adequadas, resultando em produtos finais de alta qualidade e rendimento superior.

Palavras-chave: amido modificado, dupla modificação, propriedades funcionais, sulfato de sódio, tratamento térmico.

ABSTRACT

The present work aimed to extract starch from avocado seeds and evaluate the impact of drying temperatures (50, 60, 70 and 80 °C) in a spouted bed and the effect of single and double modifications by heat-moisture (HMT) and osmotic pressure (OPT) regarding the physicochemical, physical and functional, textural, morphological (SEM), structural (XRD and FT-IR) and thermal (DSC) properties of starch. The results demonstrated that spouted bed drying is an alternative and viable technique for drying avocado seed starch pastes (yield between 52.3-58.5%), however, the process conducted at 70 °C is stood out for presenting the highest contents of starch, amylose and amylopectin, good flow characteristics and swelling power greater than 50%. Furthermore, all samples presented smooth particles, without cracks or cavities, classified as type B, with relative crystallinity between (23.29-24.27%) and without the formation of new functional groups. When evaluating the effect of physical modifications (HMT, OPT, HMT+OPT and OPT+HMT) a reduction in physicochemical and functional, textural, structural and thermal parameters was observed, however, there was an increase in particle diameter when evaluating its morphological aspects, and the combined treatments (HMT+OPT and OPT+HMT) presented the highest values for this parameter. HMT presented the lowest syneresis values, and the OPT treatment presented the highest crystallinity value (23.55%). The samples were classified as type A starch, and there was also no formation of new functional groups after modification, and the combination in the order OPT+HMT presented the lowest intensities among the treatments. Therefore, the spouted bed provides a simple and efficient route for drying starch, ensuring fast and uniform drying. Furthermore, physical modifications by heat-moisture and osmotic pressure are innovative methods to alter the functionalities of avocado seed starch and be directed to suitable food applications, resulting in high-quality final products and superior yield.

Keywords: Modified starch, Double modification, Functional properties, Sodium sulfate, Heat treatment.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1. Fruto do abacateiro.....	19
Figura 2. Semente do abacate.....	21
Figura 3. Ilustração de fontes não convencionais de amido.....	23
Figura 4. A fórmula química estrutural de (a) amilose e (b) amilopectina.....	25
Figura 5. Representação esquemática da estrutura lamelar do grânulo de amido com vista ampliada das regiões amorfas e cristalinas.....	26
Figura 6. Ilustração do processo de secagem do leite de jorro.....	31
Figura 7. Estrutura dos grânulos de amido nativo e após modificado por HMT.....	33

ARTIGO 1

Figura 1. Representação esquemática do secador de leite de jorro utilizado no processo de secagem do amido da semente de abacate.....	63
Figura 2. As amostras de amido (AS50, AS60, AS70 e AS80) da semente de abacate obtidas por secagem em leite de jorro.....	64
Figura 3. Teores de amido (A), amilose (B) e amilopectina (C) do amido da semente de abacate obtido por secagem em leite de jorro nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C.....	69
Figura 4. Micrografias da superfície dos amidos da semente de abacate obtidos por secagem em leite de jorro nas temperaturas de 50 °C –AS50 (A), 60 °C –AS60 (B), 70 °C – AS70 (C) e 80 °C – AS80 (D).....	80
Figura 5 - Padrões de difração de raios-X (A) e espectros de FT-IR (B) do amido nativo da semente de abacate obtido por secagem em leite de jorro nas temperaturas de 50, 60 70 e 80 °C.....	82
Figura 6. Termogramas de DSC do amido de semente de abacate seco em leite de jorro.....	85

ARTIGO 2

Figura 1. Índice de sinérese do amido da semente de abacate nativo (SN) e modificados (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) no decorrer de 168 horas de armazenamento refrigerado (4 °C).....	115
---	-----

Figura 2. Propriedades texturais (A) firmeza (B) elasticidade (C) adesividade (D) coesividade (E) gomosidade dos géis de amido de semente de abacate nativo (SN) e modificado (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT).....	116
Figura 3 - Imagens de micrografia eletrônica de varredura (MEV) do amido da semente de abacate nativo (A) e modificado por HMT (B), OPT (C), HMT+OPT (D) e OPT+HMT.....	119
Figura 4. Padrões de difração de raios-X do amido nativo (SN) e modificado (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) da semente de abacate.....	122
Figura 5. Espectros de FT-IR do amido nativo (SN) e modificado (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) da semente de abacate.....	124
Figura 6. Termogramas de DSC do amido de semente de abacate nativo e modificados.....	125

LISTA DE TABELAS

REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1. Estudos da literatura referente a amido seco por diferentes técnicas de secagem.....	29
Tabela 2. Estudos sobre modificações de amido utilizando HMT e OPT.....	35

ARTIGO 1

Tabela 1. Propriedades físicas e funcionais do amido da semente de abacate obtido por secagem em leito de jorro nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C.....	72
Tabela 2. Índice de sinérese do amido da semente de abacate obtido por secagem em leito de jorro nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C no decorrer de 168 horas de armazenamento refrigerado (4 °C).....	77
Tabela 3. Propriedades texturais das pastas de amido, diâmetro média dos grânulos, cristalinidade relativa, propriedades térmicas (T_o , T_p e T_c) e entalpia de gelatinização estruturais do amido da semente do abacate.....	78

ARTIGO 2

Tabela 1. Propriedades físico-química e funcionais do amido da semente de abacate nativo (SN) e modificado.....	109
Tabela 2. Cristalinidade relativa (CR), propriedades térmicas (T_o , T_p e T_c) e entalpia de gelatinização (ΔH) do amido nativo (SN) e modificado (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) da semente do abacate.....	126

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.2 Estrutura da dissertação.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo Geral.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 Abacate.....	19
3.2 Semente do abacate.....	20
3.3 Amido.....	22
3.4 Composição e estrutura do amido.....	24
3.5 Secagem.....	27
3.6 Leite de jorro.....	30
3.7 Modificação do amido.....	32
3.8 Modificação por calor-umidade.....	32
3.9 Pressão Osmótica.....	34
3.10 Modificação dupla.....	36
REFERÊNCIAS.....	38
Artigo 1.....	58
1 Introdução.....	60
2 Material e métodos.....	62
2.1 Matéria prima.....	62
2.2 Extração do amido.....	62
2.3 Secagem da pasta de amido.....	63
2.3.1 Identificação das amostras.....	63
2.4 Rendimento.....	64
2.5 Teor de água e atividade de água.....	65
2.6 Teor de amido, amilose e amilopectina.....	65
2.7 Capacidade de absorção de água, óleo e leite.....	65
2.8 Densidade aparente e compactada.....	65
2.9 Fator de Hausner e índice de Carr.....	66
2.10 Poder de intumescimento (PI) e solubilidade.....	66
2.12 Sinérese.....	66

2.13 Textura instrumental.....	67
2.14 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	67
2.15 Difração de raio-X (DRX).....	67
2.16 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).....	68
2.17 Calorimetria exploratória diferencial (DSC).....	68
2.18 Análise estatística	68
3 Resultados e discussão	68
3.1 Rendimento do amido nativo.....	68
3.2 Teor de amido, amilose e amilopectina	69
3.3 Propriedades físicas e funcionais do amido de semente de abacate	71
3.4 Índice de sinérese do amido.....	75
3.5 Textura dos géis de amido	76
3.6 Morfologia e área de superfície específica	78
3.7 Propriedades estruturais (DRX e FTIR)	80
3.8 Propriedades térmicas (DSC)	83
4 Conclusões.....	84
Referências	85
Artigo 2.....	99
1. Introdução.....	101
2 Material e métodos	103
2.1 Matéria prima	103
2.2 Extração do amido e secagem da pasta	103
2.3 Modificação por HMT e OPT	104
2.3.1 Identificação das amostras.....	104
2.4 Caracterização físico-química e funcional das amostras de amido nativo e modificado.....	104
2.4.1 Teor de amido, amilose e amilopectina	105
2.4.2 Capacidade de absorção de água, óleo e leite.....	105
2.4.3 Poder de intumescimento (SP) e solubilidade	105
2.4.4 Sinérese.....	106
2.5 Perfil instrumental de textura	106
2.6 Propriedades morfológicas, estruturais e térmicas	106
2.6.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	106
2.7 Difração de raio-X (DRX) e cristalinidade relativa (RC).....	106

2.8 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR).....	107
2.9 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)	107
2.10 Análise estatística	107
3. Resultados e discussões	108
3.1 Teor de amido, amilose e amilopectina e propriedades físicas	108
3.2 Capacidade de absorção de água, óleo e leite.....	110
3.3 Solubilidade e poder de intumescimento.....	111
3.4 Índice de sinérese.....	112
3.5 Textura dos géis de amido	114
3.5 Morfologia e área da superfície específica	117
3.6 Difração de Raio X (DRX).....	119
3.7 Análise da espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR).....	121
3.8 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)	122
4. Conclusões.....	125
Referências	126
CONSIDERAÇÕES FINAIS	137
CONSIDERAÇÕES FINAIS	138

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O abacate (*Persea Americana* Mill.) é uma planta originária do México e da América Central, e está entre as três frutas tropicais mais populares. De acordo com Wang *et al.* (2019) o abacate é responsável por mais de 50% do comércio global por muitos anos consecutivos devido ao seu alto conteúdo nutricional e benefícios à saúde. Segundo relatório emitido pela FAO (2024), projeta-se que o abacate se torne a fruta tropical mais comercializada até 2030, com as exportações globais superando os quatro milhões de toneladas. Porém, o processamento industrial do abacate gera grandes quantidades de resíduos, principalmente casca e semente (Llamosas *et al.*, 2023). A semente pode representar cerca de 22–30% do peso total da fruta, gerando cerca de 1,45 milhão de toneladas por ano que são desperdiçadas (Nyakang'i *et al.*, 2023). A partir disso, pesquisas recentes mostraram que a semente de abacate apresenta alto teor de amido, comprovando ser uma alternativa como matéria-prima frente as principais fontes vegetais tradicionais de amido (Menzel *et al.*, 2020).

O amido é um carboidrato complexo que compreende duas cadeias de glucana diferentes ligadas por uma ligação glicosídica: amilose e amilopectina (Dhull *et al.*, 2023). É considerado um polímero biodegradável, renovável, de baixo custo e de considerável importância, aplicado em indústrias alimentícias e não alimentícias de acordo com suas propriedades físico-químicas e microestruturais (Dhull *et al.*, 2022). As propriedades físico-químicas, estruturais e térmicas do amido são fatores importantes que influenciam na sua aplicação, e a partir disso, diferentes regimes de temperatura no processo de secagem do amido extraído é uma das principais limitações que pode vir a alterar seus constituintes (Palanivelu *et al.*, 2022).

O amido recém-extraído geralmente necessita de desidratação imediata para garantir o armazenamento e transporte seguros devido ao seu alto teor de água (Almeida *et al.*, 2021). Assim, a secagem é uma técnica bem estabelecida, mas pode levar a alterações indesejáveis. Com isso, a utilização de tecnologias como a secagem em leito de jorro tem sido explorada para melhorar a qualidade final de produtos desidratados. Segundo Huang *et al.* (2023), a secagem com partículas inertes é considerada uma técnica de secagem alternativa flexível para a produção de pós a partir de alimentos líquidos e pastosos devido ao seu menor custo e menor temperatura operacional em comparação com outros métodos de secagem. O estudo do comportamento do amido durante o aquecimento em diferentes temperaturas, resfriamento e armazenamento é importante, pois o mesmo tem uma forte tendência a retrogradação e sofrer sinérese (Pascoal *et al.*,

2013), afetando a textura, a estabilidade, a digestibilidade, a funcionalidade (Medeiros *et al.*, 2014) e a vida útil dos produtos (Yu *et al.*, 2018).

Porém mesmo após uma secagem eficiente, o amido apresenta limitações inerentes que podem ser superadas pela sua modificação através de métodos físicos, químicos e/ou enzimáticos (Lacerda *et al.*, 2015; Molavi *et al.*, 2018). Os métodos físicos e térmicos ganharam ampla aceitação por seu baixo custo, segurança e características eficazes, sendo uma alternativa verde (que não requer reagentes químicos) para melhorar a aplicabilidade do amido, ao alcançar propriedades aprimoradas específicas para tipos específicos de aplicações (Punia, 2020). Processos hidrotérmicos, como por calor-umidade (HMT), são realizados aquecendo os grânulos de amido em temperaturas acima da temperatura de gelatinização (84 a 140 °C), com teor de água entre 10-35% para gelatinizar o amido, e submetidos a um período de tempo específico, mantendo a integridade granular (Fonseca *et al.*, 2021).

Além do tratamento por calor-umidade, a pressão osmótica (OPT) também surge como um método de modificação física inovador. O amido tratado por pressão osmótica pode ser preparado por meio de altas concentrações de sal, que exercem a pressão necessária para impedir o fluxo de uma solução/solvente através de uma membrana semipermeável, através da qual ele não pode penetrar (Fasuan e Akabi, 2018). O excesso de sulfato de sódio não apenas aumenta a pressão osmótica da mistura da solução, mas inibe a gelatinização dos grânulos de amido durante o tratamento com alta temperatura (Pukkahuta *et al.*, 2008).

Essas mudanças estruturais no amido causadas pelo calor-umidade e pressão osmótica podem ser benéficas para melhorar o desempenho do processamento do amido. Até onde se sabe na literatura atual, o amido de sementes de abacate seco em leite de jorro e modificado por calor-umidade e pressão osmótica, não foi ainda estudado. Desta forma, visando melhorar o potencial do amido de sementes de abacate, o presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto da secagem em leite de jorro e avaliar o efeito da modificação simples e combinada por calor-umidade e pressão osmótica nas propriedades físico-químicas, físicas, funcionais, texturais, morfológicas, estruturais e térmicas do amido.

1.2 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada e organizada em 6 capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma breve introdução voltada para o tema trabalhado na dissertação. O Capítulo 2 apresenta e especifica os objetivos propostos do trabalho. O Capítulo 3 traz a revisão bibliográfica, na qual são destacadas as considerações gerais sobre o abacate, seus subprodutos, amido e seus constituintes, secagem e métodos de modificação relacionados a temática investigada. Os Capítulos 4 e 5 compreendem os artigos produzidos e em processo de submissão. O artigo: *Efeito da secagem em leito de jorro nas propriedades físico-químicas, funcionais e morfo-estruturais de amido do subproduto de abacate cv. Breda* encontra-se no capítulo 4. E o artigo: *Efeito sinérgico do tratamento com calor-umidade e pressão osmótica nas propriedades físico-químicas e térmicas do amido da semente de abacate cv. Breda* encontra-se no capítulo 5. Por fim, as principais conclusões da dissertação estão presentes no capítulo 6.

CAPÍTULO 2
OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar a extração do amido de sementes de abacate e avaliar o efeito da temperatura de secagem em leito de jorro e do impacto das modificações físicas (por calor-umidade e pressão osmótica) nas propriedades físico-químicas, físicas, funcionais, texturais, morfológicas, estruturais e térmicas do amido desidratado.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar a extração do amido nativo de sementes de abacate e avaliar o efeito das temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C) na secagem do amido em leito de jorro;
- Avaliar o efeito da temperatura de secagem nas propriedades físico-químicas, físicas, funcionais, texturais, morfológicas, estruturais e térmicas do amido nativo;
- Modificar o amido nativo de sementes de abacate usando os tratamentos de calor-umidade e pressão osmótica;
- Caracterizar os amidos modificados quanto aos parâmetros físico-químicos, funcionais, texturais, morfológicos, estruturais e térmicos.

CAPÍTULO 3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Abacate

O abacateiro é uma planta pertencente ao reino Plantae, família Lauraceae, ordem Laurales, gênero *Persea* e espécie *americana* (Araújo *et al.*, 2018). Essa espécie é nativa do México e América Central e os principais cultivares são mexicanos, indianos e guatemaltecos (Figueroa *et al.*, 2018). Seus frutos, o abacate (*Persea americana* Mill) crescem em climas tropicais e subtropicais, aumentando seu consumo em todo o mundo devido aos seus inúmeros benefícios para a saúde humana (Tabeshpour *et al.*, 2017; Masina *et al.*, 2017), dos quais pode-se destacar (diabetes mellitus tipo 2, hipertensão e hipocolesterolemia) (Al-Juhaimi *et al.*, 2021). Assim, a sua produção mundial vem aumentando há pelo menos 40 anos. Em 2018, mais de 6,4 milhões de toneladas foram colhidas e 918.531 hectares de terra foram dedicados à sua produção em mais de 60 países (FAOSTAT, 2020).

O fruto apresenta grande variabilidade em tamanho, forma e peso. Isso ocorre devido a atividades metabólicas complexas que podem ser afetadas por condições climáticas e práticas agrícolas durante o crescimento, além das diferentes variedades existente (Mayol *et al.*, 2019). O abacate, pode ser encontrado em diferentes formas, sabores, texturas, cores e cheiros de acordo com o clima em que cresce, e os frutos mais conhecidos e comercializados são das variedades Hass e Fuerte (Araújo *et al.*, 2018). O fruto (Figura 1) é formado pelo pedúnculo, semente, endocarpo, mesocarpo (polpa) e, finalmente, pelo epicarpo (casca).

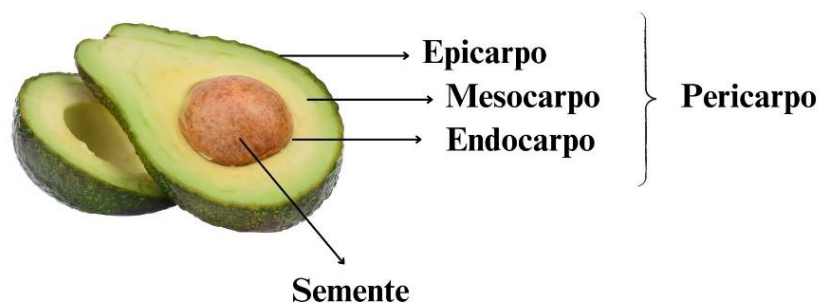


Figura 1. Fruto do abacateiro

O abacate é conhecido por seu alto conteúdo nutricional e benefícios à saúde, que são essencialmente devido à fonte de nutrientes lipossolúveis e fitoquímicos bioativos (Araújo *et al.*, 2018). É considerado um dos alimentos mais saudáveis por possuir mais de 25 nutrientes essenciais, incluindo vitaminas (B, C e E), minerais (potássio, fósforo, cálcio, ferro, sódio), aminoácidos essenciais (valina, lisina, fenilalanina, isoleucina, treonina e metionina), fibras e uma composição única de lipídios (Wang *et al.*, 2019; Dávila *et al.*, 2017). Os altos níveis de ácidos graxos, como por exemplo os ômega, beneficiam a saúde cardiovascular e estimulam o sistema imunológico (Wang *et al.*, 2019).

A composição nutricional da polpa de abacate tem um teor de água variando de 67 a 78%, teor de lipídios variando de 12 a 24%, teor de carboidratos variando de 0,8 a 4,8%, teor de proteína variando de 1,0 a 3,0%, teor de cinzas variando de 0,8 a 1,5%, teor de fibras variando de 1,4 a 3,0% e energia entre 140 e 228 kcal por abacate (Cowan e Wolstenholme, 2016; Duarte *et al.*, 2016; Carpena *et al.*, 2011). Em decorrências das suas excelentes propriedades, o fruto é consumido in natura e utilizado por diversos setores industriais, como cosméticos, alimentos e farmacêuticos (Guerrero *et al.*, 2016; Nyakang'i *et al.*, 2023). No setor alimentício, é utilizado na produção de bebidas, polpas, sorvetes, guacamole, maionese, produtos refrigerados, congelados, desidratados, sanduíches, conservas, óleos, entre outros (Moreno *et al.*, 2016; Dávila *et al.*, 2017; Guerrero *et al.*, 2016; Navarro *et al.*, 2017). Isso gera grandes quantidades de subprodutos do abacate, como as cascas e sementes, proporcionando uma oportunidade para as indústrias interessadas em se engajar na sustentabilidade com uma produção econômica e ecológica (Rozan *et al.*, 2022; Ahmad e Danish, 2022; Guerrero *et al.*, 2016).

3.2 Semente do abacate

A produção de resíduos agroindustriais vem crescendo ao longo dos anos, com o aumento da população mundial e do consumo de alimentos (Maina *et al.*, 2017). Com a produção de mais de 8,06 milhões de toneladas de frutos de abacate todos os anos, mais de 1,45 milhão de toneladas de sementes são descartadas anualmente (Tesfaye *et al.*, 2022). Com isso, a maioria das sementes de abacate (Figura 2) acaba sendo descartada, apesar de seu potencial para aplicação industrial e reaproveitamento.



Figura 2. Semente do abacate

As sementes de abacate contêm compostos bioativos, principalmente taninos condensados, ácidos fenólicos, flavonoides, flavonóis, ácidos hidroxibenzóico, hidroxicinâmico (Araújo *et al.*, 2020; Roseiro *et al.*, 2019) e alto teor de amido (Teskaye *et al.*, 2022). Segundo Fu e Netravali (2020), as sementes de abacate contêm aproximadamente 30% de amido, dependendo da espécie e das condições de cultivo. Logo, as sementes de abacate têm sido amplamente exploradas como fonte para filmes comestíveis (Ramesh *et al.*, 2021) e na produção de compósitos poliméricos (Fu e Netravali, 2020), bem como no desenvolvimento de uma variedade de alimentos, incluindo sopa líquida, produtos de panificação, substitutos de carne, bebidas e outros.

Seu uso nessas aplicações tem demonstrado impacto significativo nas propriedades tecnológicas dos produtos finais. Portanto, o subproduto do abacate pode ser aproveitado a partir de sua semente, sendo uma fonte alternativa e não convencional para extração de amido e ser amplamente utilizado nas indústrias cosméticas, farmacêuticas e de alimentos (Pires *et al.*, 2024).

3.3 Amido

Amido é um polissacarídeo vegetal abundante, encontrado em vários tipos de vegetais como cereais e leguminosas e em uma variedade de órgãos, tais como raízes, tubérculos, rizomas e sementes (Vanier *et al.*, 2017). É um carboidrato de baixo custo, renovável, biodegradável e não tóxico que tem sido amplamente utilizado (Hedayati *et al.*, 2016), sendo considerado a principal e mais barata fonte de energia para os seres humanos.

É um polissacarídeo versátil utilizado em diversos setores industriais, podendo ser usado no controle da uniformidade, estabilidade e textura dos alimentos, como agente gelificante; agente espessante; agente de volume e para aumentar a vida útil dos produtos (Punia, 2020). As aplicações não alimentares incluem produtos farmacêuticos, têxteis, papéis, indústrias de materiais de construção, mineração, agente encapsulante, bioetanol e produção de adesivos (Vanier *et al.*, 2017; Punia, 2020; Mbougoueng *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2019).

Em função da enorme demanda por esse polímero em indústrias alimentícias e não alimentícias, pesquisas têm sido feitas para exploração de novas fontes de amidos que possam satisfazer as necessidades comerciais. Tem sido investigado ainda, fontes de amidos provenientes de resíduos vegetais oriundos de diferentes setores industriais, como as indústrias de alimentos, que produzem grandes quantidades de resíduos com alto valor nutricional, como as sementes obtidas de jaca (Suryadevara *et al.*, 2017), manga (Ferreira *et al.*, 2019), maçã vermelha malaia (*Syzygium malaccense*) (Santos *et al.*, 2024), nêspera (Kong *et al.*, 2023) entre outros. A presença de alto teor de amido nesses subprodutos, fazem destes, uma fonte potencial de polissacarídeo, com oportunidades atraentes para melhorar a agroindústria, agregar valor econômico a um material negligenciado e evitar problemas ambientais (Ribeiro, 2021).



Figura 3. Ilustração de fontes não convencionais de amido

Estudos mostraram que o amido de algumas sementes tem melhores propriedades funcionais, como maior solubilidade em água, temperatura de gelatinização e viscosidade do que os amidos convencionais (milho, batata, mandioca), e esses amidos têm usos potenciais para produtos alimentícios à base de amido (Bangar *et al.*, 2021; Avila *et al.*, 2022; Ferraz *et al.*, 2019; Indarti *et al.*, 2022; Jiménez *et al.*, 2022). É utilizado ainda, no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, os quais têm atraído atenção desde o surgimento de problemas de escassez de petróleo e o crescente interesse em diminuir a carga ambiental, devido ao uso extensivo de polímeros petroquímicos, o que tem impulsionado a implementação de regulamentações para diminuição de plásticos descartáveis em vários países (Jiang *et al.*, 2020). No entanto, os amidos nativos podem apresentar limitações em suas propriedades funcionais, como baixa estabilidade térmica, perda de viscosidade, alta tendência à retrogradação, entre outras (Ashogbon, 2021; Fan e Picchioni, 2020).

Os amidos de fontes alternativas devem ter suas características físico-químicas e tecnológicas investigadas, pois o mesmo varia muito em forma e funcionalidade entre as espécies botânicas e até mesmo na mesma cultivar quando cultivada sob diferentes condições (Copeland *et al.*, 2009). O estudo dessas propriedades é importante pois a variabilidade das características físico químicas representa, não apenas problemas no processamento dos alimentos, devido à inconsistência das matérias-primas, mas também

porque permite determinar sua aplicabilidade em diferentes funcionalidades (Ribeiro, 2021).

A seleção de um amido para uso industrial é feita considerando sua disponibilidade, suas propriedades reológicas, térmicas e físico-químicas, como tamanho molecular, grau de cristalinidade, teor de amilose e, principalmente, as propriedades viscosas (Fukase e Martin, 2020) que determinarão sua funcionalidade. As propriedades reológicas e térmicas são as que conduzem o processo de gelatinização e o seu conhecimento é essencial para melhor controle do processamento e qualidade do produto final (López *et al.*, 2020), com isso, as principais características do amido (propriedades de pasta, formação de gel e temperatura de gelatinização) definem suas diferentes aplicações em vários domínios industriais.

3.4 Composição e estrutura do amido

O amido é um biopolímero formado por unidades de glicose unidas por ligações α -glicosídicas. A forma e o tamanho dos grânulos de amido nativo variam de acordo com sua origem botânica; o tamanho pode variar de 0,1 a 100 μm e as formas variam de esferas, polígonos, túbulos irregulares e elipsóides (Bertoft, 2017; Vamadevan e Bertoft, 2015). O amido nativo existe como grânulos e exibe diferentes morfologias dependendo de sua fonte. Os grânulos de amido semicristalino são compostos por dois tipos de moléculas (amilose e amilopectina) empilhadas de acordo com certas regras (Chen *et al.*, 2020).

A amilose é um polímero essencialmente linear e simples, formado por até 3000 moléculas de glicose interconectadas por ligação α -(1 \rightarrow 4) (Beninca *et al.*, 2013). O peso molecular da amilose é de aproximadamente $1 \times 10^6 \text{ g. mol}^{-1}$, e a molécula exibe um grau de polimerização de 250 - 1000 unidades de D-glicose (Vanier *et al.*, 2017). Devido à presença de ligações do tipo α -D-(1 \rightarrow 4), a amilose apresenta conformação em hélice, com aproximadamente seis resíduos de glicose por passo de hélice (Tester *et al.*, 2004). O teor de amilose influencia bastante as propriedades físico-químicas e funcionais do amido.

A amilopectina é uma molécula altamente ramificada e complexa, formada por unidades de D-glicopiranosil, com ligações α -(1 \rightarrow 4) que serve como coluna vertebral e ligações α -(1 \rightarrow 6) nos pontos de ramificação (Vanier *et al.*, 2017). As cadeias dos ramos da amilopectina formam uma dupla hélice e montam uma estrutura de cluster para constituir a estrutura esquelética dos grânulos de amido (He e Wei, 2020). É uma das

maiores moléculas encontradas na natureza, com um peso molecular da ordem de 1×10^7 até 1×10^9 g.mol⁻¹ e um grau de polimerização de 5000 - 50.000 unidades D-glicose (Vanier *et al.*, 2017). A Figura 4 representa a fórmula química estrutural de (a) amilose e (b) amilopectina.

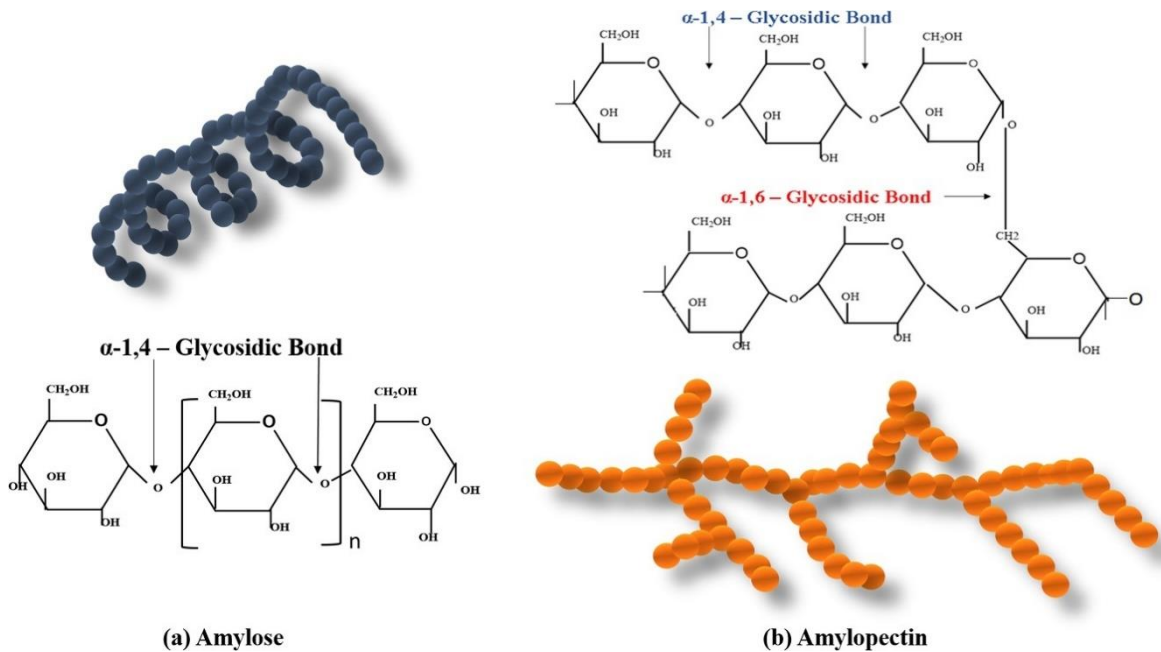


Figura 4. A fórmula química estrutural de (a) amilose e (b) amilopectina

Fonte: Surendren *et al.* (2022)

A arquitetura interna dos grânulos de amido é caracterizada por anéis de crescimento concêntricos originários do hilo do grânulo (Vanier *et al.*, 2017), constituídos de camadas amorfas e semicristalinas alternadas (Buléon *et al.*, 1998). A amilopectina é considerada estruturalmente a mais importante das duas frações, porque sozinha é suficiente para formação dos grânulos, como ocorre em amidos cerosos que são desprovidos de amilose (Oates, 1997).

A amilose e a amilopectina podem formar uma estrutura semicristalina, uma estrutura semicristalina alternativa e anéis de crescimento amorfs. A região semicristalina é formada alternadamente por lamelas amorfas e cristalinas (Lin *et al.*, 2016). A orientação das moléculas de amilose e amilopectina dentro do grânulo de amido tem sido intensamente investigada, sendo relatado que o grânulo possui regiões amorfas e cristalinas dispostas em uma estrutura semelhante à cebola (Soykeabkaew *et al.*, 2015). O grânulo semicristalino (Figura 5) exibe uma periodicidade estrutural hierárquica e

possui uma organização em camadas com anéis de crescimento semicristalinos e amorfos alternados, com uma distância de repetição regular de 9 a 10 nm (Lin *et al.*, 2016). As cadeias de amilopectina são as principais responsáveis pela cristalinidade do amido, formando uma estrutura helicoidal dupla, empacotadas lateralmente em uma rede cristalina (He e Wei, 2020).

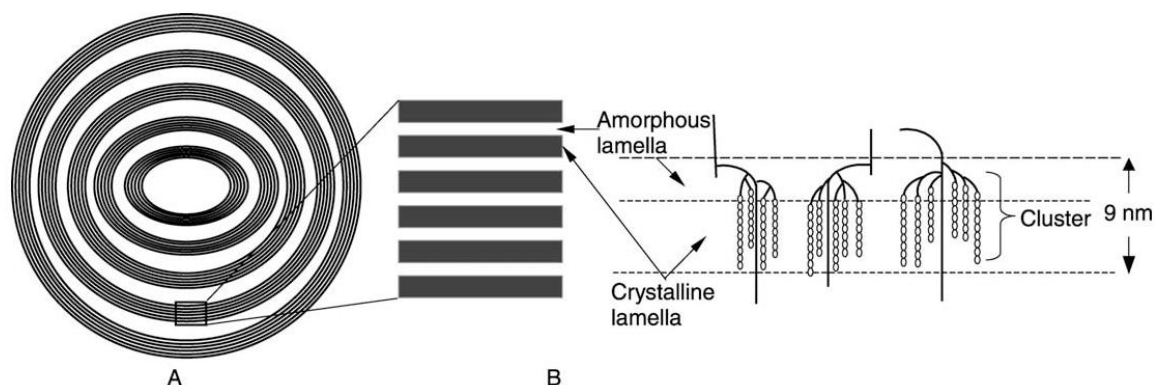


Figura 5. Representação esquemática da estrutura lamelar do grânulo de amido com vista ampliada das regiões amorfas e cristalinas

Fonte: Tester, Karkalas e Qi (2004)

Segundo Buléon *et al.* (1998), o grau de cristalinidade é muito importante para o estudo das características hidrodinâmicas dessa molécula, uma vez que, a estrutura cristalina vai conferir a este polímero uma menor solubilidade. A natureza cristalina do amido depende provavelmente do controle genético e das condições climáticas durante o crescimento da planta. O comprimento das cadeias envolvidas na fase cristalina e o padrão de ramificação nas moléculas de amilopectina influenciam a cristalinidade e o tipo cristalino. No entanto, as condições de temperatura e hidratação durante o crescimento da planta também podem induzir algumas mudanças importantes no padrão de cristalinidade do amido (Buléon *et al.*, 1998).

Cai *et al.* (2015) provaram que o poder de inchaço do amido está positivamente correlacionado com cadeias curtas de amilopectina e negativamente correlacionado com amilose. Dependendo dos diferentes tamanhos dos grânulos de amido, estes grânulos podem ser divididos em três tipos: tipo A em forma de disco ou lenticular ($>10 \mu\text{m}$), tipo B esférico ou poligonal ($5\text{--}10 \mu\text{m}$) e tipo C ($<5 \mu\text{m}$) amidos (Wei *et al.*, 2008). Grânulos de amido com tamanhos diferentes afetam as propriedades físico-químicas devido às diferentes microestruturas. Yang e outros. (2021) descobriram que grânulos grandes podem determinar o poder de expansão, cristalinidade e pasta durante o congelamento e

pequenos grânulos de amido são mais sensíveis ao tratamento de congelamento do que grandes grânulos. Esses resultados de pesquisa demonstram que a distribuição de tamanho dos grânulos de amido pode determinar o método de processamento do amido.

A proporção do teor de amilose e amilopectina, bem como o padrão de ramificação da amilopectina, podem afetar muito as propriedades físicas e funcionais do amido. Por exemplo, os amidos com alto teor de amilose tendem a formar géis com baixo intumescimento e baixa viscosidade, enquanto os amidos com alto teor de amilopectina tendem a ter alto intumescimento e alta viscosidade. O comprimento e a frequência de ramificação da amilopectina também podem afetar suas propriedades, com ramificações mais curtas e frequentes resultando em amidos hidrolisados mais facilmente (Shi *et al.*, 2022; Huang, 2018). Essas propriedades têm aplicações importantes em alimentos e processos industriais, como na produção de produtos de panificação, confeitaria e produtos de papel.

Além da amilose e amilopectina que representam aproximadamente 98 a 99% do peso seco do grânulo de amido, existem ainda, outros constituintes presentes no amido, como lipídios, proteínas e minerais. Os lipídios podem estar correlacionados com a fração de amilose ou podem estar dispostos na superfície como contaminantes, derivados da membrana de amiloplasto e de fontes não amiláceas (Tester *et al.*, 2004). Apesar da simplicidade de sua composição química, os amidos podem variar em suas propriedades físico-químicas em função da quantidade relativa de seus polímeros constitutivos, suas massas molares, seus graus de ramificação e sua distribuição de comprimento de cadeia. Assim, dependendo de sua composição química e características, os amidos obtidos de fontes não convencionais podem apresentar propriedades atraentes e vantagens tecnológicas em relação aos amidos comuns (Makroo *et al.*, 2021).

3.5 Secagem

As características estruturais são o principal determinante das propriedades físico-químicas e digestibilidade dos grânulos de amido nativo (Copeland *et al.*, 2009; Wang e Copeland, 2015). Os grânulos de amido nativo podem ser examinados em pelo menos cinco níveis de estrutura, variando em escala de nano a micrômetro (Wang *et al.*, 2015). Quaisquer alterações na estrutura multiescala alterariam as propriedades funcionais dos grânulos de amido. O amido é frequentemente isolado de várias sementes e frutos de plantas, e é utilizado comercialmente na forma seca para prolongar a vida útil e para economia potencial nos custos de transporte e armazenamento, e a secagem é a última

etapa essencial durante o isolamento do amido, que geralmente é realizada usando um forno convencional, liofilizador e solvente orgânico (geralmente etanol ou acetona) (Wang *et al.*, 2016).

Tem sido relatado que os métodos de secagem podem alterar a estrutura do amido, como danos à superfície e estrutura interna dos grânulos de amido, que por sua vez influenciam as propriedades funcionais e a reatividade química do amido (Apinan *et al.*, 2007; Grant, 1998; Zhang *et al.*, 2014). Por exemplo, grânulos de fécula de batata liofilizados apresentaram maior suscetibilidade enzimática do que amido seco em estufa, devido à alteração da morfologia da superfície dos grânulos de fécula de batata e degradação da ordem molecular de curto e longo alcance das moléculas de amilopectina (Apinan *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2014). Além disso, amidos isolados de farinhas de milho ou castanha submetidos a diferentes métodos de secagem apresentaram diferentes propriedades estruturais e funcionais (Correia e Costa, 2012; Setiawan *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2011).

Geralmente, a secagem também destrói a superfície superior e altera a estrutura celular interna dos amidos, finalmente influenciando suas propriedades, incluindo atividade de reação, gelatinização, retrogradação e propriedades de pasta de amido (Grant, 1998). Portanto, uma comparação entre as técnicas de secagem e a qualidade do produto precisa ser avaliada. Na literatura atual, vários estudos vêm utilizando diferentes técnicas de secagem para obtenção de amido em pó, e um resumo destes é apresentado na Tabela 1.

Entre os métodos de secagem, o ar quente é o método de secagem mais comum porque é conveniente, barato e eficaz; porém, devido às suas diferentes temperaturas, causará alterações nas propriedades e estrutura do amido (Correia e Costa, 2012). No entanto, são raras as informações sobre o impacto do leito de jorro nas propriedades físico-químicas, térmicas e morfológicas do amido extraído da semente de abacate. Pesquisas evidenciam que a utilização do secador tipo leito de jorro tem sido difundido devido às suas características, tais como: alta taxa de circulação de partículas inertes, bons coeficientes de transferência de calor, massa e a uniformidade da temperatura no leito, o que propicia principalmente à utilização dessa técnica na secagem de pasta a suspensão de materiais termossensíveis (Melo *et al.*, 2010).

Tabela 1. Estudos da literatura referente a amido seco por diferentes técnicas de secagem.

Técnica de secagem	Material	Principal observação	Referência
Liofilização	Diversos tubérculos tropicais	As moléculas de amido se desintegraram, desramificaram e apresentaram formas assimétrica.	Jayanthi <i>et al.</i> (2021)
Pulverização	Banana	Apresentou maior índice de absorção de água, poder de inchamento e pico de viscosidade de colagem.	Salazar <i>et al.</i> (2022)
Estufa	Milho	A secagem com ar quente reduziu a mudança de entalpia da gelatinização, a cristalinidade relativa e a estrutura de curto alcance do amido.	Wang <i>et al.</i> (2023)
Leito de jorro	Manga	A secagem não influenciou a morfologia, mas pode ter alterado a amilopectina de curto alcance quando comparada com outros amidos, o que poderia ter reduzido a temperatura de início da gelatinização.	Ferreira <i>et al.</i> (2019)
Leito de jorro	Banana	Comportamento reológico do amido apresentou os maiores valores de viscosidade e apresentaram baixa solubilidade sob frio e alta solubilidade sob condições quentes.	Bezerra <i>et al.</i> (2013)

Secador de leite fixo	Pipoca vermelha	Promoveu uma estrutura de grão compactada, e o maior tempo de secagem restringiu o acesso das enzimas e reduziu a digestibilidade.	Ziegler <i>et al.</i> (2020)
-----------------------	-----------------	--	------------------------------

3.6 Leito de jorro

A secagem em leito de jorro tem como principal característica um produto de alta qualidade e baixo custo, conservando compostos bioativos e oferecendo vantagem em relação ao tempo de secagem sobre outros métodos convencionais (Castro *et al.*, 2017). Segundo Soares e Pereira (2020), o processo basicamente se dá pela atomização da pasta ou suspensão sobre um leito de partículas, sendo estas revestidas com uma fina camada de material, a fragilidade da película faz com que a mesma se quebre rapidamente como consequência do choque entre as partículas, sendo esse material arrastado para fora da câmara de secagem por intermédio da corrente de ar utilizada, seguida da separação do pó por um ciclone conectado ao secador. Por se tratar de um método alternativo a secagem por spray dryer, o leito de jorro se destaca devido sua eficiência e baixo tempo de contato (Freire e Ferreira, 2009), assim, é uma operação unitária com diversas variáveis a serem controladas, torna-se fundamental o uso de um planejamento experimental com o objetivo de reduzir a quantidade de ensaios de secagem mais sem deixar de verificar a ação das variáveis independentes durante o processo e o impacto do método de secagem nas propriedades do produto (Soares e Pereira, 2020). Na Figura 6, têm-se um esquema do secador de leite de jorro cônico-cilíndrico utilizado para o processo de secagem.

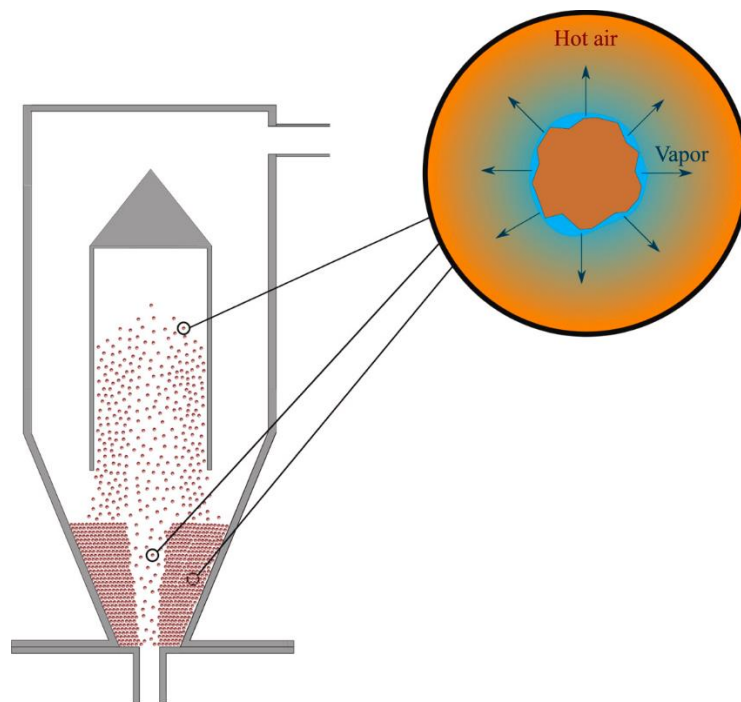


Figura 6. Ilustração do processo de secagem do leito de jorro

Fonte: Sukunza *et al.* (2022)

A influência das variáveis do processo de secagem na estrutura do amido já foi investigada, considerando que esses efeitos são importantes não apenas em termos das variáveis físicas envolvidas, mas também dos diferentes amidos obtidos aplicando estratégias específicas (Lobo e Silva, 2003). As alterações na estrutura granular do amido são frequentemente observadas com rugosidade da superfície, aumento do tamanho dos grânulos e um pequeno aumento ou diminuição da cristalinidade, quantidade de duplas hélices e ordem molecular de curto alcance (Chung *et al.*, 2009; Dias *et al.*, 2010; Gomand *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2009; Waduge *et al.*, 2006). Portanto, a escolha do método de secagem e o controle das condições de processamento são muito importantes na preparação de matrizes amiláceas secas, pois podem influenciar nas características dos produtos contendo amido devido à variação de estrutura e propriedades físicas.

Além da secagem, são utilizadas outras opções para modificação do amido. Na literatura, inúmeros estudos vêm relatando que amidos nativos são frequentemente modificados para melhorar propriedades específicas e expandir suas aplicações industriais. Com isso, diversas técnicas de modificação física, química e/ou enzimática do amido foram também desenvolvidas (Din *et al.*, 2017).

3.7 Modificação do amido

A demanda por amido na indústria alimentícia vem aumentando a cada dia em todo o mundo devido às suas inúmeras aplicações como espessante, aglutinante, ingredientes para produtos, entre outros. Contudo, o uso industrial do amido nativo tem sido restringido devido a uma série de limitações, e estes incluem a insolubilidade em água, a alta temperatura de gelatinização e a fácil retrogradação após a gelatinização (Ge *et al.*, 2021). Além disso, para amplas aplicações industriais e para melhorar o conteúdo destes, o amido pode ser modificado por vários meios, como físicos (tratamento térmico e úmido, recozimento, tratamento por pressão osmótica, pré-gelatinização), biológicos e químicos (acetilação, oxidação, reticulação) ou uma combinação dessas modificações (Chen *et al.*, 2020).

As indústrias alimentícia e farmacêutica preferem amidos que não foram alterados quimicamente (Zavareze e Dias, 2011) e é aqui que os amidos modificados fisicamente ganharam maior aceitação devido à sua relativa segurança (Adebowale *et al.*, 2005). De acordo com Zhang e Bao (2021), modificações físicas e biológicas são técnicas reconhecidamente ecologicamente corretas para modificação de amido. Esses amidos modificados são frequentemente chamados de “ingredientes de rótulo limpo”, pois não contêm ingredientes artificiais ou sintéticos (Park e Kim, 2021). O amido pode ser submetido a uma variedade de tratamentos de umidade e temperatura, incluindo tratamento de calor e umidade (HMT), campos elétricos pulsados, recozimento, pressão osmótica e muito mais, e todos esses são exemplos de alterações físicas que podem ser aplicadas ao amido (Schafranski, Ito, e Lacerda, 2021). Assim, o amido extraído da semente de abacate, além de ser oriundo de uma fonte não convencional, as suas funcionalidades podem ser substancialmente melhoradas por métodos de modificações adequados.

3.8 Modificação por calor-umidade

A modificação física no amido ocorre devido à despolimerização ou transpolimerização alterando assim a composição e funcionalidades do amido após modificação. O tratamento térmico-umidade (HMT) é um dos métodos de modificação física em que o amido é ajustado para um teor de água limitado de 10–30% e aquecido a temperatura elevada (90–120 °C) (Zavareze *et al.*, 2010; Rezzoug *et al.*, 2008). A extensão da modificação do HMT depende da composição, morfologia e fonte do amido, bem como do seu teor de amilose (Molavi *et al.*, 2018). Segundo Wang, Li e Zheng

(2021), intensificar essa modificação (como prolongar o tempo de aquecimento, adicionar tempos de ciclagem e aumentar a temperatura de tratamento) poderia promover reordenamento adicional entre as cadeias de amido, influenciando conseqüentemente as propriedades físico-químicas e estruturas de amidos submetidos ao HMT. Além disso, o HMT demonstrou a capacidade de aumentar a estabilidade térmica e a resistência ao cisalhamento do amido por meio de modificação física, o que está se tornando cada vez mais popular devido à sua segurança e ao fato de a estrutura do grânulo de amido não ser alterada (Kumar *et al.*, 2023).

O HMT promove aumento nas interações das cadeias de amido, fazendo com que a estrutura cristalina se rompa e separe a estrutura dupla hélice, e os cristais quebrados subsequentemente se reorganizam (Figura 7).

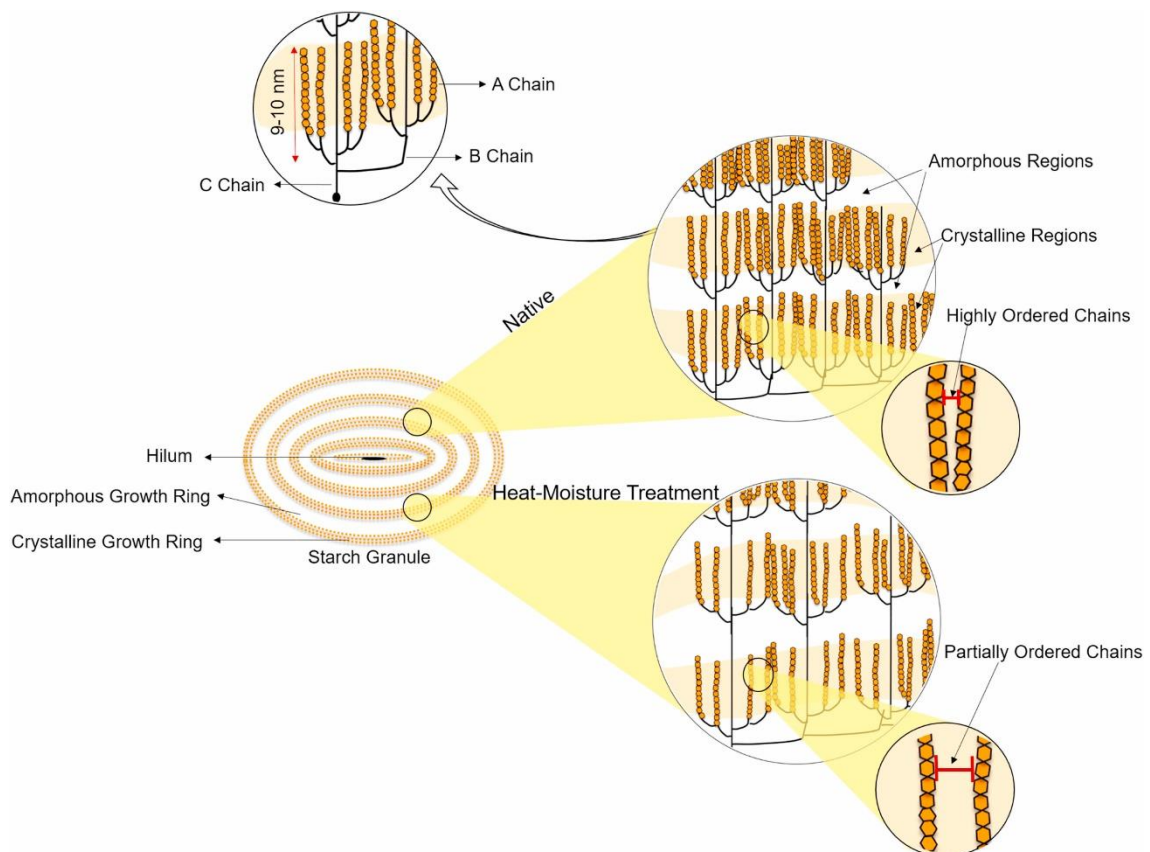


Figura 7. Estrutura dos grânulos de amido nativo e após modificado por HMT

Fonte: Schafranski *et al.* (2021)

O tratamento por HMT pode proporcionar maior estabilidade mecânica e térmica sem alteração significativa na morfologia granular do amido, e pode interferir em aspectos

como gelatinização, propriedades da pasta, características morfológicas e cristalinidade do amido, entre outros (Chen *et al.*, 2019; Dudu *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2019). As principais vantagens do HMT em comparação com outras técnicas de modificação de amido (químicas e biológicas) incluem a sua eficácia, flexibilidade em relação às fontes de calor, baixo custo e a não geração de resíduos químicos (Bet *et al.*, 2018; Xia, Li e Gao, 2016). Essas vantagens a tornam uma metodologia extremamente atrativa para as indústrias, principalmente alimentícias.

3.9 Pressão Osmótica

O amido também pode ser modificado por tratamento de pressão osmótica (OPT). O tratamento por pressão osmótica, é uma técnica de modificação relativamente nova que é empregada para efetuar mudanças nas interações da cadeia do amido, inchaço dos grânulos, lixiviação de amilose, viscosidade e retrogradação (Karmakar, Ban, & Ghosh, 2014); é um amido modificado tipo A com maior temperatura de gelatinização (em relação ao amido nativo) (Fasuan e Akanbi, 2018).

O amido tratado com pressão osmótica pode ser preparado através de altas concentrações de sal, que exercem a pressão necessária para evitar o fluxo de uma solução/solvente através de uma membrana semipermeável, através da qual não consegue penetrar. O amido nativo é suspenso em solução saturada de sulfato de sódio (Na_2SO_4) e depois aquecido a 120°C durante cerca de 15 min, arrefecido até à temperatura ambiente, centrifugado, lavado com água e centrifugado, e a presença de resíduo de sulfato de sódio é testada utilizando solução de cloreto de bário. Logo após, o amido tratado é seco (Fasuan e Akanbi, 2018).

A pressão osmótica evita o movimento espontâneo do solvente de uma concentração mais alta de solvente para uma concentração mais baixa por osmose através de uma membrana semipermeável. É relatado que a amilopectina do amido está localizada principalmente no envelope do amido ou na camada externa do grânulo de amido, que deve atuar como uma membrana semipermeável (Alsberg, 1926). Assim, a amilose no interior do grânulo é incapaz de se difundir no meio, embora a membrana seja permeável à água e aos eletrólitos (Mangels e Bailey, 1933).

Por se tratar de um processo de modificação inovador, não há muitos relatos sobre o processo de modificação por pressão osmótica em fontes não convencionais. Porém, já foi relatado que HMT e OPT melhoram a estabilidade da pasta de amido em alta temperatura, reduzem o pico de viscosidade e de quebra e aumentam a viscosidade final

no amido de sagu (Pukkahuta e Varavinit, 2007); aumentou a temperatura de gelatinização e aumentou a proporção amilose: amilopectina após modificações no amido de batata (Pukkahuta, Shobsngob e Varavinit, 2007); diminuiu a cristalinidade (Pukkahuta *et al.*, 2008; Klein *et al.*, 2013), e causou alterações na morfologia dos grânulos (Dhull *et al.*, 2021). Com isso, a seguir na Tabela 2, foi apresentado um resumo de alguns estudos que utilizaram o processo de modificação por calor-umidade e pressão osmótica no amido da semente de abacate.

Tabela 2. Estudos sobre modificações de amido utilizando HMT e OPT.

Modificação	Matéria prima	Observações	Fonte
HMT	Arroz, mandioca e pinhão	O HMT promoveu alterações nas intensidades dos picos e na cristalinidade relativa dos difratogramas de raios X.	Klein <i>et al.</i> (2013)
HMT e OPT	Arroz Ranjit	Os resultados mostraram que o OPT causou aumento nas respostas com o aumento do tempo e da temperatura, exceto o poder de inchaço. A viscosidade final, o recuo e a dureza do gel tenderam a aumentar, mas o poder de inchamento e a solubilidade reduziram no HMT com o aumento do tempo, temperatura e teor de água.	Gayary e Mahanta (2020)
HMT	Milheto Proso	Diminuiu o poder de intumescimento e a solubilidade do amido modificado.	Kumar <i>et al.</i> (2023a)
HMT e OPT	Arroz	Os dois processos de modificação aumentaram o teor de amilose, melhoraram a estabilidade da colagem e reduziram o poder de inchamento e a solubilidade.	Gayary <i>et al.</i> (2024)
HMT	Semente de jaca	Houve a diminuição da entalpia de gelatinização, apresentaram fusão granular, corrosão superficial e ficaram levemente inchados e mais irregulares.	Kittipongpatana e Kittipongpatana (2015)
HMT	Castanha da Índia (<i>Aesculus indica</i>)	O processo de modificação aumentou as temperaturas de gelatinização, Além disso, os grânulos de amidos nativos exibiram formato oval com superfícies lisas. O HMT alterou a morfologia dos grânulos com leves marcas na superfície.	Rafiq <i>et al.</i> (2016)

HMT	Miolo de manga	Houve a diminuição da cristalinidade relativa para as três cultivares. Os grânulos de amido nativo eram alongados, triangulares e irregulares, com superfície lisa., aumentou em temperatura da pasta, pico, final, e a viscosidade.	Bharti <i>et al.</i> (2019)
HMT	Inhame (pé de elefante)	HMT aumentou as temperaturas de gelatinização (To, Tp, Tc) e diminuiu ΔH . Os grânulos de amido nativo exibiram formas poligonais, esféricas, irregulares, além de superfícies lisas. Após o HMT houve agregação granular e fissuras. Aumento na temperatura da pasta, e recuo de viscosidade; e diminuiu viscosidade de pico.	Suriya <i>et al.</i> (2019)

Essas recentes pesquisas têm demonstrado resultados significativos e relevantes modificando o amido para ser utilizado na indústria alimentícia, farmacêutica, e etc. No entanto, estudos com novas matrizes alimentares são necessários para ampliar e verificar a eficácia dos métodos citados. A partir disso, processos de dupla modificação são cada vez mais utilizados para diferentes tipos de amido. Esta estratégia ganhou aceitação porque uma única modificação nem sempre é suficiente para satisfazer os diversos requisitos das aplicações alimentares e industriais. Comparado ao amido modificado simples, o amido modificado duplo pode melhorar o desempenho para melhor atender às necessidades específicas de uma ampla gama de aplicações (Ashogbon, 2021).

3.10 Modificação dupla

Atualmente, a modificação dupla de vários amidos está se tornando mais popular (Ashogbon, 2021; Chen *et al.*, 2015). Isso ocorre porque às vezes uma única modificação não consegue atender aos requisitos de aplicações alimentícias e industriais, e com isso, a modificação dupla pode adaptar as propriedades do amido a aplicações específicas e ampliar o uso do amido, otimizando a funcionalidade do amido modificado único (Sriprabom *et al.*, 2023).

A modificação dupla do amido é empregada para alterar ainda mais as propriedades do amido modificado único, usando formas iguais ou diferentes de modificação (Gayary *et al.*, 2024). Foi relatado amido duplo modificado por HMT com

outros métodos de modificação química e física (Chung *et al.*, 2009; Chung *et al.*, 2010). No entanto, o impacto do OPT e do HMT como um processo combinado nas propriedades físico-químicas e outras propriedades do amido da semente de abacate não foi estudado até agora. Portanto, em continuação ao nosso estudo, primeiro será observado os efeitos da temperatura de secagem em leito de jorro nas propriedades do amido, e posteriormente avaliar como modificações únicas e duplas (OPT, HMT, HMT+OPT e OPT+HMT) afetaram as propriedades físico químicas, físicas, texturais, funcionais, morfológicas, estruturais e térmicas do amido da semente de abacate.

REFERÊNCIAS

Adebowale, K. O.; Afolabi, T. A.; Olu-Owolabi, B. I.; Hydrothermal treatments of finger millet (*Eleusine coracana*) starch. **Food Hydrocolloids**. v. 19, n. 6, p. 974–983, 2005, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.12.007>

Ahmad, T.; Danish, M. A review of avocado waste-derived adsorbents: Characterizations, adsorption characteristics, and surface mechanism. **Chemosphere**, v. 296, 2022, 134036, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134036>.

Al-Juhaimi, F.; Uslu, N.; Özcan, M. M. Effects of drying process on oil quality, the bioactive properties and phytochemical characteristics of avocado (Fuerte) fruits harvested at two different maturity stages. **Journal Food Process Preserv**, v. 45, e15368, 2021, <https://doi.org/10.1111/jfpp.15368>

Alsberg, C. L. Studies upon starch. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. v. 18, n. 2, pp. 190–193, 1926.

Apinan, S.; Yujiro, I.; Hidefumi, Y.; Takeshi, F.; Myllarinen, P.; Forssell, P. Visual Observation of Hydrolyzed Potato Starch Granules by α -Amylase with Confocal Laser Scanning Microscopy. **Starch**, v. 59, pp. 543-548, 2007, <https://doi.org/10.1002/star.200700630>.

Araújo, R. G.; Jasso, R. M. R.; Ruiz, H. A.; Pintado, M. M. E.; Aguilar, C. N. Avocado by-products: Nutritional and functional properties, **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, pp. 51-60, 2018, ISSN 0924-2244, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>.

Araújo, R. G.; Jasso, R. M. R.; Ruiz, H. A.; Salas, M. G.; Pintado, M. E.; Aguilar, C. N. Process optimization of microwave-assisted extraction of bioactive molecules from avocado seeds, **Industrial Crops and Products**, v. 154, 2020, 112623, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112623>.

Ashogbon, A. O. Dual modification of various starches: Synthesis, properties and applications. **Food Chemistry**, v. 342, 2021, 128325, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128325>

Association Of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis, 16 ed. Arlington: AOAC, 2005.

Avila, N. D.; Gallegos, J. M. T.; Velasco, C. R.; Esquivel, G. L.; Aquino, N. I.; Flores, P. B. Z.; Virgen, M. O.; Campos, O. J. C. Physicochemical, Structural, Thermal and Rheological Properties of Flour and Starch Isolated from Avocado Seeds of Landrace and Hass Cultivars. **Molecules**. v. 27, n. 3, 910, 2022, <https://doi.org/10.3390/molecules27030910>

Bangar, S. P.; Kumar, M.; Whiteside, W. S. A sustainable and eco-friendly alternative to increasing industrial requirements. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 183, pp. 1807 - 1817, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.157>.

Beninca, C.; André, T.; Colman, D.; Gustavo, L.; Aurélio, M.; Carvalho, S.; Bannach, G.; Schnitzler, E. The thermal, rheological and structural properties of cassava starch granules modified with hydrochloric acid at different temperatures, **Thermochim Acta**, v. 552, pp. 65–69, 2013.

Bertoft, E. Compreendendo a estrutura do amido: progressos recentes. (2017). Em **Agronomia**, v. 7, ed. 3. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030056>.

Bet, C. D.; Oliveira, C. S. de.; Colman, T. A. D.; Marinho, M. T.; Lacerda, L. G.; Ramos, A. P.; Schnitzler, E. Organic amaranth starch: A study of its technological properties after heat-moisture treatment, **Food Chemistry**, v. 264, pp. 435-442, 2018, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.021>.

Bezerra, C. V.; Amante, E. R.; de Oliveira, D. C.; Rodrigues, A. M. C.; da Silva, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed – Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial**

Crops and Products, v. 41, p. 241-249, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.035>.

Bharti, I.; Singh, S.; Saxena, D. C. Exploring the influence of heat moisture treatment on physicochemical, pasting, structural and morphological properties of mango kernel starches from Indian cultivars. **LWT**, v. 110, pp. 197–206, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.082>.

Buléon, A.; Colonna, P.; Planchot, V; Ball, S. Starch granules: structure and biosynthesis, **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 23, pp. 85–112, 1998.

Cai, J.; Man, J.; Huang, J.; Liu, Q.; Wei, W.; Wei, C. Relationship between structure and functional properties of rice starches with different amylose contents, **Carbohydrate Polymers**, v. 125, pp. 35-44, 2015, ISSN 0144-8617, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.067>.

Carpena, J. G. R.; Morcuende, M. D.; Andrade, J.; Kylli, P.; Estévez, M.; Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics, in vitro antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 10, pp. 5625 – 5635, 2011, <http://dx.doi.org/10.1021/jf1048832>.

Castro, D. S. D.; Oliveira, T. K. B. D.; Lemos, D. M.; Rocha, A. P. T.; Almeida, R. D. Efeito da temperatura sobre a composição físico-química e compostos bioativos de farinha de taro obtida em leite de jorro. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016060, 2017, ISSN 1981-6723, <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.6016>

Chen, Q.; Yu, H.; Wang, L.; ul Abdin, Z.; Chen, Y.; Wang, J.; Chen, X. Recent progress in chemical modification of starch and its applications. **Rsc Advances**, v. 5, n. 83, pp. 67459-67474, 2015, <https://doi.org/10.1039/C5RA10849G>

Chen, S. H.; Li, X. F.; Shih, P. T.; Pai, S. M. Preparation of thermally stable and digestive enzyme resistant flour directly from Japonica broken rice by combination of steam

infusion, enzymatic debranching and heat moisture treatment. **Food Hydrocolloids**, v. 108, 2020, 106022, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106022>.

Chen, X.; Luo, J.; Fu, L.; Cai, D.; Lu, X.; Liang, Z.; Zhu, J.; Li, L. Structural, physicochemical, and digestibility properties of starch-soybean peptide complex subjected to heat moisture treatment, **Food Chemistry**, v. 297, 2019, 124957, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124957>.

Chen, Z. G.; Zhang, H. H.; Wade, K.; Pu, H. Y.; Yang, Q.; Fang, C. L.; Shu, G. W.; Huang, J. R. The analysis of the effects of high hydrostatic pressure (HHP) on amylose molecular conformation at atomic level based on molecular dynamics simulation. **Food Chemistry**, v. 327, 2020, 127047, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127047>

Chung, H. J.; Hoover, R.; Liu, Q. The impact of single and dual hydrothermal modifications on the molecular structure and physicochemical properties of normal corn starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 44, n. 2, pp. 203-210, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2008.12.007>

Chung, H. J.; Liu, Q.; Hoover, R. Effect of single and dual hydrothermal treatments on the crystalline structure, thermal properties, and nutritional fractions of pea, lentil, and navy bean starches. **Food Research International**, v. 43, n. 2, pp. 501-508, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.030>

Copeland, L.; Blazek, J.; Salman, H.; Tang, M. C. M. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 6, pp. 1527 – 1534, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>.

Correia, P.; Costa, M. L. B. Effect of drying temperatures on starch-related functional and thermal properties of chestnut flours. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 2, pp. 284-294, 2012, ISSN 0960-3085, <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.008>.

Cowan, A. K.; Wolstenholme, B. N. Encyclopedia of food and health, Academic Press, **Oxford**, pp. 294-300, 2016.

Dávila, J. A.; Rosenberg, M.; Castro, E.; Cardona, C. A. A model biorefinery for avocado (*Persea americana* Mill.) processing. **Bioresource. Technology Journal**, v. 243, pp. 17–29, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.063>

Dhull, S. B.; Chandak, A.; Chawla, P.; Goksen, G.; Rose, P. K.; Rani, J. Modifications of native lotus (*Nelumbo nucifera* G.) rhizome starch and its overall characterization: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 253, Part 8, 127543, ISSN 0141-8130, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127543>.

Dhull, S. B.; Chandak, A.; Collins, M. N.; Bangar, S. P.; Chawla, P.; Singh, A. Lotus Seed Starch: A Novel Functional Ingredient with Promising Properties and Applications in Food—A Review. **Starch**, v. 74, n. 9–10, 2022, 2200064, <https://doi.org/10.1002/star.202200064>

Dhull, S. B.; Punia, S.; Kumar, M.; Singh, S.; Singh, P. Effect of different modifications (physical and chemical) on morphological, pasting, and rheological properties of black rice (*Oryza sativa* L. Indica) starch: a comparative study. **Starch-Stärke**, v. 73, ed. 1–2, 2000098, 2021, <https://doi.org/10.1002/star.202000098>

Dias, A. R. G.; Zavareze, E. R.; Spier, F.; de Castro, L. A. S.; Gutkoski, L. C. Effects of annealing on the physicochemical properties and enzymatic susceptibility of rice starches with different amylose contents. **Food Chemistry**, v. 123, n. 3, pp. 711 – 719, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.040>.

Din, Z. U.; Xiong H, X.; Fei, P. Physical and chemical modification of starches: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 57, n. 12, pp. 2691–2705, <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1087379>.

Duarte, P. F.; Chaves, M. A.; Borges, C. D.; Mendonça, C. R. B. Avocado: characteristics, health benefits and uses. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 4, pp.747-754, 2016, <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141516>.

Dudu, O. E.; Oyedeji, A. B.; Oyeyinka, S. A.; Ma, Y. Impact of steam-heat-moisture treatment on structural and functional properties of cassava flour and starch,

International Journal of Biological Macromolecules, v. 126, pp. 1056-1064, 2019, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.210>.

Fan, Y.; Picchioni, F. Modification of starch: A review on the application of “green” solvents and controlled functionalization. **Carbohydrate Polymers**, v. 241, 2020, 116350, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116350>.

FAO. Major tropical fruits: Preliminary results 2021. (2022).

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Countries by commodity, 2020. Disponível em: http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. Acesso: 28 de dezembro de 2023.

Fasuan, T. O.; Akanbi, C. T.; Application of osmotic pressure in modification of *Amaranthus viridis* starch. **LWT - Food Science Technology**, v. 96, pp. 182–192, 2018, ISSN 0023-6438, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.036>.

Ferraz, C. A.; Fontes, R. L. S.; Santana, G. C. F.; Calado, V.; López, E. O.; Leão, M. H. M. R. Extraction, Modification, and Chemical, Thermal and Morphological Characterization of Starch From the Agro-Industrial Residue of Mango (*Mangifera indica* L) var. Ubá. **Starch**, v. 71, n. 1–2, 2019, <https://doi.org/10.1002/star.201800023>.

Ferreira, S.; Araujo, T.; Souza, N.; Rodrigues, L.; Lisboa, H. M.; Pasquali, M. G. Rocha, A. P. T. Physicochemical, morphological and antioxidant properties of spray-dried mango kernel starch. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 1, pp. 1–9, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2019.100012>

Figuerola, J. G.; Linares, I. B.; Sánchez, J. L.; Carretero, A. S. Comprehensive identification of bioactive compounds of avocado peel by liquid chromatography coupled to ultra-high-definition accurate-mass Q- TOF. **Food Chemistry**, v. 245, pp. 707–716, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.011>

Freire, J. T.; Ferreira, M. C. Aplicações em sistemas particulados. Ed. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora Ltda. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal de São Carlos, pp. 329-364, 2009.

Fu, D.; Netravali, A. N. Green composites based on avocado seed starch and nano- and micro-scale cellulose. **Polymer Composites**, v. 41, n. 11, pp. 4631 - 4648, 2020, <https://doi.org/10.1002/pç.25739>

Fukase, E.; Martin, W. Economic growth, convergence, and world food demand and supply. **World Development**, v. 132, pp. 1–12, 104954, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104954>

Gayary, M. A.; Mahanta, C. L. Optimization of process parameters of osmotic pressure treatment and heat moisture treatment for rice starch using response surface methodology. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 14, n. 5, pp. 2862-2877, 2020, <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00531-z>.

Gayary, M. A.; Marboh, V.; Mahnot, N. K.; Chutia, H.; Mahanta, C. L. Characteristics of rice starches modified by single and dual heat moisture and osmotic pressure treatments. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 255, 127932, ISSN 0141-8130, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127932>.

Ge, X.; Shen, H.; Su, C.; Zhang, B.; Zhang, Q.; Jiang, H.; Yuan, L.; Yu, X.; Li, W. Pullulanase modification of granular sweet potato starch: Assistant effect of dielectric barrier discharge plasma on multi-scale structure, physicochemical Properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 272, 2021, 118481, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118481>.

Gomand, S. V.; Lamberts, L.; Gommès, C. J.; Visser, R. G. F.; Delcour, J. A.; Goderis, B. Molecular and Morphological Aspects of Annealing-Induced Stabilization of Starch Crystallites. **Biomacromolecules**, v. 13, n. 5, pp. 1361 - 1370, 2012, <https://doi.org/10.1021/bm3000748>

González, G. R.; Guerra, C. A. A.; Millán, J. L. R. Physicochemical characterisation and in vitro Starch digestion of Avocado Seed Flour (*Persea americana* V. Hass) and its starch and fibrous fractions. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 7, pp. 2447-2457, 2019, <https://doi.org/10.1111/ijfs.14160>.

Grant, L. A. Effects of Starch Isolation, Drying, and Grinding Techniques on Its Gelatinization and Retrogradation Properties. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 5, pp. 590-594, 1998, <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.5.590>.

Guerrero, L. C.; Barbosa, E. M.; Martínez, A. A.; González, E. M.; Betancur, D. A. Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 86, pp. 302–308, 2016, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.052>.

He, W.; Wei, C. A critical review on structural properties and formation mechanism of heterogeneous starch granules in cereal endosperm lacking starch branching enzyme. **Food Hydrocolloids**, v. 100, 105434, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105434>.

Hedayati, S.; Shahidi, F.; Koocheki, A.; Farahnaky, A. Physical properties of pregelatinized and granular cold water swelling maize starches at different pH values. **International Journal Biological Macromolecules**, v. 91, pp. 730–735, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.020>

Huang, D.; Huang, W.; Huang, S.; Zhou, F.; Gong, G.; Li, L.; Sunden, B. Applications of spouted bed technology in the drying of food products. **LWT**, v. 182, 114880, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114880>.

Huang, R. D. Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 4, pp. 739 – 746, 2018, [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61728-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61728-3).

Indarti, E.; Muzaifa, M.; Noviasari, S.; Rozali, Z. F.; Yusup, E. M. Characteristics of avocado (*Persea americana*) and kluwih (*Artocarpus camansi*) seeds starch with

different extraction methods. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 951, n. 1, 012095, 2022, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/951/1/012095>

Kong, X.; Yang, W.; Zuo, Y.; Dawood, M.; He, Z. Characteristics of physicochemical properties, structure and in vitro digestibility of seed starches from five loquat cultivars, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 253, part 2, 2023, 126675, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126675>.

Jayanthi, B.; Divya, D.; Indran, S.; Aruna, M.; Karthika, R.; Arjunan, S.; Selvankumar, T.; Manikandan, E.; Santhi, R. Influence of freeze-drying and fresh cooking on starch morphology and physicochemical and thermal properties of various tropical tubers. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 183, p. 1794-1806, 2021, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.136>.

Jiang, T.; Duan, Q.; Zhu, J.; Liu, H.; Yu, L. Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, v. 3, n. 1, pp. 8–18, 2020, ISSN 2542-5048, <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.003>.

Jiménez, R.; Flores, G. S.; Reyna, S. A.; Castillo, S. E. A.; Adame, R. S.; Velázquez, G. Extraction of starch from Hass avocado seeds for the preparation of biofilms. **Food Science and Technology**, v. 42, pp. 1-5, e56820, 2022, <https://doi.org/10.1590/fst.56820>

Tester, R. F.; Karkalas, J.; Qi, X. Starch—composition, fine structure and architecture, **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, pp. 151-165, ISSN 0733-5210, 2004, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>.

Karmakar, R.; Ban, D. K.; Ghosh, U. Comparative study of native and modified starches isolated from conventional and nonconventional sources. **International Food Research Journal**, v. 21, n. 2, pp. 597-602, 2014.

Kittipongpatana, O. S.; Kittipongpatana, N. Resistant starch contents of native and heat-moisture treated jackfruit seed starch. **Scientific World Journal**. v. 2015, pp. 1-10, 519854, 2015, <https://doi.org/10.1155/2015/519854> 689.

Klein, B.; Pinto, V. Z.; Vanier, N. L.; Zavareze, E. da R.; Colussi, R.; Evangelho, J. A. do.; Gutkoski, L. C.; Dias, A. R. G. Effect of single and dual heat–moisture treatments on properties of rice, cassava, and pinhao starches **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 2, pp. 1578-1584, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.036>.

Kringel, D. H.; Dias, A. R. G.; Zavareze, E. R.; Gandra, E. A. Fruit wastes as promising sources of starch: extraction, properties, and applications. **Starch/Staerke**, v. 72, ed. 3-4, p. 1-9, 2020, 1900200, <https://doi.org/10.1002/star.201900200>.

Kumar, S. R.; Tangsrianugul, N.; Sriprablom, J.; Winuprasith, T.; Wansuksri, R.; Suphantharika, M. Effects of single and dual modifications with debranching and heat-moisture treatments on physicochemical, rheological, and digestibility properties of proso millet starch. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 6, 2023a, 100399, ISSN 2666-8939, <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100399>.

Kumar, S. R.; Tangsrianugul, N.; Sriprablom, J.; Wongsagon-sup, R.; Wansuksri, R.; Suphantharika, M. Effect of heat-moisture treatment on the physicochemical properties and digestibility of proso millet flour and starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 307, 2023, 120630, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120630>.

Lacerda, L. G.; Carvalho Filho, M. A. da 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: Thermoanalytical and structural analysis. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 120, pp. 387-393, 2015, <https://doi.org/10.1007/s10973-014-3987-9>.

Lin, C. L.; Lin, J. H.; Lin, J. J.; Chang, Y. H. Progressive alterations in crystalline structure of starches during heat-moisture treatment with varying iterations and holding times, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 135, pp. 472-480, 2019, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.193>.

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, pp. 19-28, 2016, ISSN 0268-005X, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.008>.

Liu, H.; Yu, L.; Simon, G.; Zhang, X.; Dean, K.; Chen, L. Effect of annealing and pressure on microstructure of cornstarches with different amylose/amylopectin ratios, **Carbohydrate Research**, v. 344, n. 3, pp. 350-354, 2009, ISSN 0008-6215, <https://doi.org/10.1016/j.carres.2008.11.014>.

Llamosas, A. D. C.; Eibes, G.; Santos, P. F.; Pérez, A. P.; Río, P. G. D.; Gullón, B. Microwave-assisted autohydrolysis of avocado seed for the recovery of antioxidant phenolics and glucose. **Bioresource Technology**, v. 385, 129432, ISSN 0960-8524, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129432>.

Lobo, R. A.; Silva, L. M. G. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista Brasileira de Nutrição**, v. 16, n. 2, pp. 219–226, 2003, <https://doi.org/10.1590/S1415-52732003000200009>

López, N. J. S.; J. Avila, A. D.; Yahia, E. M.; Herrera, B. H. B.; Medrano, A. W.; González, E. M.; Aguilar, G. A. G. Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 138, part A, 2020, 109774, ISSN 0963-9969, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109774>.

Maina, S.; Kachrimanidou, V.; Koutinas, A.; A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 8, pp. 18-23, 2017, ISSN 2452-2236, <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.07.007>.

Makroo, H. A.; Naqash, S.; Saxena, J.; Sharma, S.; Majid, D.; Dar, B. N. Recovery and characteristics of starches from unconventional sources and their potential applications: A review. **Applied Food Research**, v. 1, n. 1, 2021, Artigo 100001, <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100001>.

Mangels, C. E.; Bailey, C. H.; Relation of concentration to action of gelatinizing agents on starch1. **Journal of the American Chemical Society**, v. 55, n. 5, pp. 1981–1988, 1933, <https://doi.org/10.1021/ja01332a031>.

Masina, N.; Choonara, Y. E.; Kumar, P.; du Toit, L. C.; Govender, M.; Indermun, S.; Pillay, V. A. Review of the Chemical Modification Techniques of Starch. **Carbohydrate Polymers**. v. 157, pp. 1226 – 1236, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.094>

Mayol, I. T.; Acuna, C. L. C.; Silva, F. L.; Enos, J. E. A. Improvement of the polyphenol extraction from avocado peel by assisted ultrasound and microwaves. **Journal of Food Process Engineering**, p. 1-11, e13197, 2019, <https://doi.org/10.1111/jfpe.13197>.

Mbougoung, P. D.; Tenin, D.; Scher, J. Tchiégang, C. Influence of acetylation on physicochemical, functional and thermal properties of potato and cassava starches **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 2, pp. 320–326, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.006>.

Medeiros, M. C. B.; Pascoal, A. M.; Batista, K. A.; Bassinello, P. Z.; Lião, L. M.; Inês, M.; Leles, G.; Fernandes, K. F. Rheological and biochemical properties of *Solanum lycocarpum* starch, **Carbohydrate Polymers**, v. 104, pp. 66–72, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.023>

Melo, K. S.; Nascimento, M. A.; Gomes, W. C.; Cabral, S. B.; Rocha, A. P. T. Fluidodinâmica de leite de jorro com leite de cabra e polpa de cajá. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 4, pp. 61-67, 2010, Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/392>. Acesso em: 2 maio de 2024.

Menzel, C.; Martínez, C. G.; Vilaplana, F.; Diretto, G.; Chiralt, A. Incorporation of natural antioxidants from rice straw into renewable starch films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 146, pp. 976-986, 2020, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.222>.

Molavi, H.; Razavi, S. M. A.; Farhoosh, R. Impact of hydrothermal modifications on the physicochemical, morphology, crystallinity, pasting and thermal properties of acorn starch, **Food Chemistry**, v. 245, pp. 385-393, 2018, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.117>.

Moreno, M. A. P.; Ureña, A.; Agugliaro, F. M. Fuel properties of avocado stone. **Fuel**, v. 186, pp. 358–364, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.08.101>.

Navarro, R.; Calder, P. D.; Saavedra, J.; Fuentealba, C.; Castro, C. A.; Toledo, L.; Enrione, J., Galvez, L. Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 198, pp. 81–90, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.018>.

Nyakang'i, C. O.; Ebere, R.; Marete, E.; Arimi, J. M. Avocado production in Kenya in relation to the world, avocado by-products (seeds and peels) functionality and utilization in food products. **Applied Food Research**, v. 3, n. 1, 2023, 100275, <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100275>.

Oates, C. G. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis, **Trends in Food Science and Technology**, v. 8, n. 11, pp. 375-382, 1997, ISSN 0924-2244, [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01090-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01090-X).

Palanivelu, J.; Thanigaivel, S.; Vickram, S.; Dey, N.; Mihaylova, D.; Desseva, I. Probiotics in Functional Foods: Survival Assessment and Approaches for Improved Viability. **Applied Sciences**, v. 12, n. 1, pp. 455, 2022, <https://doi.org/10.3390/app12010455>.

Park, S.; Kim, Y. R. Clean label starch: Production, physicochemical characteristics, and industrial applications. **Food Science and Biotechnology**, v. 30, pp. 1-17, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00834-3>

Pascoal, A. M.; Di-Medeiros, M. C. B.; Batista, K. A.; Leles, M. I. G.; Lião, L. M.; Fernandes, K. F. Extraction and chemical characterization of starch from *S. lycocarpum*

fruits. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 2, pp. 1304-1310, 2013, ISSN 0144-8617, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.009>.

Pires, J. B.; dos Santos, F. N.; da Cruz, E. P.; Fonseca, L. M.; Siebeneichler, T. J.; Lemos, G. S.; Gandra, E. A.; Zavareze, E. R.; Dias, A. R. G. Starch extraction from avocado by-product and its use for encapsulation of ginger essential oil by electrospinning, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 254, part 1, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127617>.

Pukkahuta, C.; Shobsngob, S.; Varavinit, S. Effect of osmotic pressure on starch: New method of physical modification of starch. **Starch-Stärke**, v. 59, n. 2, pp. 78–90, 2007, <https://doi.org/10.1002/star.200600509>.

Pukkahuta, C.; Suwannawat, B.; Shobsngob, S.; Varavinit, S. Comparative study of pasting and thermal transition characteristics of osmotic pressure and heat–moisture treated corn starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, n. 3, pp. 527–536, 2008, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.09.024>.

Pukkahuta, C.; Varavinit, S. Structural transformation of sago starch by heat-moisture and osmotic-pressure treatment **Starch Stärke**, v. 59, n. 12, pp. 624-631, 2007, <https://doi.org/10.1002/star.200700637>.

Punia, S. Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v 144, pp. 578–585, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.088>.

Rafiq, S. I.; Singh, S.; Saxena, D. C. Effect of heat-moisture and acid treatment on physicochemical, pasting, thermal and morphological properties of Horse Chestnut (*Aesculus indica*) starch, **Food Hydrocolloids**, v. 57, pp. 103-113, 2016, ISSN 0268-005X, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.01.009>.

Ramesh, R. H., Palanivel, H.; Prabhu, S. V.; Tizazu, B. Z.; Woldesemayat, A. A. Process Development for Edible Film Preparation Using Avocado Seed Starch: Response Surface

Modeling and Analysis for Water-Vapor Permeability. **Advances in Materials Science and Engineering**, pp. 1-7, 2021, 7859658, <https://doi.org/10.1155/2021/7859658>.

Rezzoug, Z. M.; Zarguili, I.; Loisel, C.; Queveau, D.; Buleon, A. Structural modifications and thermal transitions of standard maize starch after DIC hydrothermal treatment. **Carbohydrate Polymers**, v. 74, n. 4, pp. 802-812, 2008, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.04.047>.

Ribeiro, G. O. **Caracterização de amido da semente do abacate nativo, tratado hidrotermicamente e acetilado**. 120f. Tese de Doutorado apresentada a Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Goiânia, 2021.

Roseiro, J. C.; Cruz, S.; Osório, C.; Hurtado, N. Analysis of Phenolic Composition of Byproducts (Seeds and Peels) of avocado (*Persea americana* Mill.) Cultivated in Colombia. **Molecules**, v. 24, n. 17, 2019, 3209. <https://doi.org/10.3390/molecules24173209>.

Rozan, M.; Alamri, E.; Bayomy, H. Fermented Hass avocado kernel: Nutritional properties and use in the manufacture of biscuits. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 6, 2022, 103295, ISSN 1319-562X, <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103295>.

Salazar, A. C.; Barreto, C. I. A.; Leyva, J. D. H.; Pérez, L. A. B.; Galeano, F. J. C. Drying processes of OSA-modified plantain starch trigger changes in its functional properties and digestibility, **LWT**, v. 154, 2022, 112846, ISSN 0023-6438, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112846>.

Santos, G. P.; Miranda, B. M.; Di-Medeiros, M. C. B.; Almeida, V. O.; Ferreira, R. D.; de Moraes, D. A. B.; Queiroz, D. L. A.; Leles, M. I. G.; Lião, L. M.; Fernandes, K. F. The potential exploitation of the Malay-red apple (*Syzygium malaccense*) seed as source of a phosphorylated starch, **Carbohydrate Research**, v. 535, 2024, 109008, <https://doi.org/10.1016/j.carres.2023.109008>.

Schafranski, K.; Ito, V. C.; Lacerda, L. G. Impacts and potential applications: A review of the modification of starches by heat-moisture treatment (HMT), **Food Hydrocolloids**, v. 117, 2021, 106690, ISSN 0268-005X, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106690>.

Setiawan, S.; Widjaja, H.; Rakphongphairoj, V.; Jane, J. L. Effects of drying conditions of corn kernels and storage at an elevated humidity on starch structures and properties. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n. 23, pp. 12260–12267, 2010, <https://doi.org/10.1021/jf102838j>

Shi, X. J.; Xiong, J. R.; Yang, X. L.; Siddique, K. H. M.; Du, T. S. Carbon footprint analysis of sweet sorghum-based bioethanol production in the potential saline - Alkali land of northwest China. **Journal of Cleaner Production**. v. 349, 2022, 131476, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131476>.

Silva, E. M. S.; Peres, A. E. C.; Silva, A. C.; Leal, M. C. M.; Lião, L. M.; de Almeida, V. O. Sorghum starch as depressant in mineral flotation: part 1 – extraction and characterization. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, n. 1, pp. 396-402, 2019, ISSN 2238-7854, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.04.001>.

Soares, A. C.; Pereira, N. R. Drying of jambolão (*Syzygium cumini*) pulp in spouted bed drier: effect of egg white as drying carrier agent on product quality. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, 2020, e2019075. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.07519>

Soykeabkaew, N.; Thanomsilp, C.; Suwantong, O. A review: Starch-based composite foams. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 78, pp. 246–263, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.014>.

Sriprabhom, J.; Tatikunakorn, P.; Lerdpriyanun, P.; Suphantharika, M.; Wongsagonsup, R. Effect of single and dual modifications with cross-linking and octenylsuccinylation on physicochemical, in-vitro digestibility, and emulsifying properties of cassava starch, **Food Research International**, v. 163, 2023, 112304, ISSN 0963-9969, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112304>.

Surendren, A.; Mohanty, A. K.; Liu, Q.; Misra, M. A review of biodegradable thermoplastic starches, their blends and composites: recent developments and opportunities for single-use plastic packaging alternatives, **Green Chemistry**, v. 24, n. 22, pp. 8606-8636, 2022, ISSN 1463-9262, <https://doi.org/10.1039/d2gc02169b>.

Suriya, M.; Reddy, C. K.; Haripriya, S. Functional and thermal behaviors of heat moisture treated elephant foot yam starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 137, pp. 783–789, 2019, ISSN 0141-8130 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.228>.

Suryadevara, V.; Lankapalli, S. R.; Danda, L. H.; Pendyala, V.; Katta, V. Studies on jackfruit seed starch as a novel natural superdisintegrant for the design and evaluation of irbesartan fast dissolving tablets. **Integrative Medicine Research**, v. 6, n. 3, pp. 280–291, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.imr.2017.04.001>.

Tabeshpour, J.; Razavi, B. M.; Hosseinzadeh, H. Effects of Avocado (*Persea americana*) on Metabolic Syndrome: A Comprehensive Systematic Review. **Phytotherapy research**, v. 31, n. 6, pp. 819–837, <https://doi.org/10.1002/ptr.5805>.

Tesfaye, T.; Ayele, M.; Gibril, M.; Ferede, E.; Limeneh, D. Y.; Kong, F. Beneficiation of avocado processing industry by-product: A review on future prospect. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 5, 2022, 100253, ISSN 2666-0865, <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100253>.

Vamadevan, V.; Bertoft, E. Structure-function relationships of starch components. **Starch/Staerke**, v. 67, n. 1–2, pp. 55 – 68, 2015, <https://doi.org/10.1002/star.201400188>.

Vanier, N. L.; Lisie, El, S.; Renato, M. A.; Dias, G.; Zavareze, R. Molecular structure , functionality and applications of oxidized starches : A review. **Food Chemistry**, v. 221, pp. 1546–1559, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.138>

Waduge, R. N.; Hoover, R.; Vasanthan, T.; Gao, J.; Li, J. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylose content.

Food Research International, v. 39, n. 1, pp. 59 – 77, 2006, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.05.008>.

Wang, Q.; Li, L.; Zheng, X. Recent advances in heat-moisture modified cereal starch: Structure, functionality and its applications in starchy food systems, **Food Chemistry**, v. 344, 2021, 128700, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128700>.

Wang, S.; Copeland, L. Effect of acid hydrolysis on starch structure and functionality: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 55, n. 8, pp. 1081–1097, 2015, <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.684551>

Wang, S.; Li, C.; Copeland, L.; Niu, Q.; Wang, S. Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 5, pp. 568 – 585, 2015, <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143>

Wang, S.; Liu, C.; Wang, S. Drying methods used in starch isolation change properties of C-type chestnut (*Castanea mollissima*) starches. **LWT**, v. 73, pp. 663-669, 2016, ISSN 0023-6438, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.012>.

Wang, S.; Wang, A. B.; Zang, X. P.; Tan, L.; Xu, B. Y.; Chen, H. H.; Jin, Z. Q.; Ma, W. H.; Physicochemical, functional and emulsion properties of edible protein from avocado (*Persea americana* Mill.) oil processing by-products. **Food Chemistry**, v. 288, pp. 146–153, 2019, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.098>

Wang, X.; Wang, Y.; Zhao, H.; Tao, H.; Gao, W.; Wu, Z.; Zhang, K.; Yu, B.; Cui, B. Influence of hot-air drying on the starch structure and physicochemical properties of two corn cultivars cultivated in East China. **Journal of Cereal Science**, v. 114, 2023, 103796, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103796>.

Wei, C. X.; Zhang, J.; Zhang, W. D.; Chen, Y. F.; Xu, R. G. Ultrastructural observation on the development of small starch granule (compound starch granule) of wheat endosperm. **Journal of Triticeae Crops**, v. 28, pp. 804 – 810, 2008.

Xia, H.; Li, Y.; Gao, Q. Preparation and properties of RS4 citrate sweet potato starch by heat-moisture treatment, **Food Hydrocolloids**, v. 55, pp. 172-178, 2016, ISSN 0268-005X, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.008>.

Yang, Z. X.; Dan, X.; Guo, L. N.; Zhou, H. L.; Wu, F. F.; Xu, X. M. The contribution of particle-size distribution to the physicochemical properties of total wheat starch during freezing. **Cereal Chemistry**, v. 98, n. 3, pp. 604-615, 2021, <https://doi.org/10.1002/cche.10402>.

Yu, Z.; Wang, Y.; Chen, H.; Li, Q.; Wang, Q. The gelatinization and retrogradation properties of wheat starch with the addition of stearic acid and sodium alginate. **Food Hydrocolloids**, v. 81, pp. 77–86, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.041>.

Zavareze, E. da R.; Dias, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: a review. **Carbohydrate Polymer**, v. 83, n. 2, pp. 317–328, 2011, ISSN 0144-8617, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.08.064>.

Zavareze, E. da R.; Storck, C. R.; Castro, L. de.; Schirmer, M. A.; Dias, A. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. **Food Chemistry**, v. 121, n. 2, pp. 358-365, 2010, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.036>.

Zhang, B.; Wang, K.; Hasjim, J.; Li, E.; Flanagan, B. M.; Gidley, M. J.; Dhital, S. Freeze-Drying Changes the Structure and Digestibility of B-Polymorphic Starches. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 7, pp. 1482-1491, 2014, <https://doi.org/10.1021/jf405196m>

Zhang, M.; Chen, H.; Zhang, Y. Physicochemical, thermal, and pasting properties of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Bl.) starches as affected by different drying methods. **Starch-Starke**, v. 63, n. 5, pp. 260-267, 2011, <https://doi.org/10.1002/star.201000146>

Zhang, Z.; Bao, J. Recent advances in modification approaches, health benefits, and food applications of resistant starch. **Starch/Stärke**, v. 75, ed. 9-10, 2021, 2100141, <https://doi.org/10.1002/star.202100141>.

Ziegler, V.; Timm, N. S.; Ferreira, C. D.; Goebel, J. T.; Pohndorf, R. S.; Oliveira, M. Effects of drying temperature of red popcorn grains on the morphology, technological, and digestibility properties of starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 145, pp. 568-574, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.198>.

CAPÍTULO 4:

Artigo 1: Efeito da secagem em leito de jorro nas propriedades físico-químicas, funcionais e morfoestruturais de amido do subproduto de abacate cv. Breda

Efeito da secagem em leito de jorro nas propriedades físico-químicas, funcionais e morfoestruturais de amido do subproduto de abacate cv. Breda

Resumo

A secagem em leito de jorro tem sido amplamente aplicada na indústria alimentícia devido à sua alta taxa de transferência de calor e massa. Nesse estudo, avaliou-se o impacto das temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C) do processo de secagem em leito de jorro nas propriedades físico-químicas, funcionais, morfoestruturais e térmicas do amido de sementes de abacate. O rendimento do processo para todas as temperaturas foi na faixa de 52,3 a 58,5% ($p > 0,05$), teor de amido de 59,20-60,9 g/100 g, amilose de 28,85-31,84 g/100 g e amilopectina de 29,13-30,37 g/100 g. No entanto, o processo conduzido a 70 °C (AS70) se destacou por apresentar os maiores teores. Além disso, todas as amostras apresentaram alta capacidade de absorção de água, leite e óleo (>90%), baixa solubilidade (5,22-8,35%), boas características de fluxo e poder de inchamento superior a 50%. Observou-se também uma maior liberação de água (sinérese) após 168 h de armazenamento, independentemente da temperatura de secagem, que igualmente não influenciou os parâmetros de textura. Os grânulos apresentaram superfície lisa, sem rachaduras ou cavidades, com a predominância de formato oval e parcialmente arredondados, sendo classificados como do tipo B. Na análise de FT-IR não foram observados novos grupos funcionais, apenas uma redução na intensidade dos picos com aumento da temperatura de secagem. Por fim, as propriedades térmicas indicaram altas temperaturas de conclusão (>130 °C), com entalpia de gelatinização na faixa de 14,18 a 15,49 J/g, refletindo sua resistência térmica e a sua integridade estrutural em condições de calor. Esses resultados demonstraram que a secagem em leito de jorro é uma técnica alternativa para secagem de pastas de amido de sementes de abacate.

Palavras-chave: Resíduos de frutas, Sinérese, Sistemas particulados, Polissacarídeo, Propriedades térmicas.

Resumo gráfico



1 Introdução

O abacateiro (*Persea americana* Mill.) é uma árvore perene popular com um fruto em forma de pêra, composto por casca, polpa e semente. Nativa do México e da América Central, possui distribuição global devido ao seu rico potencial nutricional e antioxidante que são frequentemente associadas a benefícios à saúde (Bhuyan *et al.*, 2019; Fan *et al.*, 2022; Vinha *et al.*, 2020). Na Europa, a Espanha lidera a produção de abacate, contribuindo com mais de 90%, com Itália, Grécia e Portugal também desempenhando papéis significativos (García *et al.*, 2022). Já no Brasil, a produção de abacate foi de 338.238 toneladas no ano de 2022 (IBGE, 2023). A crescente demanda por abacate e o consequente aumento da produção e consumo resultam na geração de grandes quantidades de subprodutos, principalmente cascas e sementes. Esses resíduos correspondem a aproximadamente 1,6 milhão de toneladas de subprodutos de abacate (Salazar-López *et al.*, 2020). Assim, o reaproveitamento desses subprodutos é uma questão importante para a economia circular, promovendo rotas eficientes, corretas e ambientalmente amigáveis para a gestão desses resíduos (Nabi *et al.*, 2024).

Os subprodutos do abacate, como as cascas, são particularmente promissores devido à sua riqueza em compostos bioativos com propriedades antioxidantes, antimicrobianas e antibacterianas, que são ainda mais abundantes do que na própria polpa (Dreher e Davenport, 2013; Sakirigui *et al.*, 2020). Do mesmo modo, a semente do abacate, que constitui 15-16% do fruto e contém cerca de 30% de amido (Kringel *et al.*,

2020; Guerrero *et al.*, 2016), pode ser aproveitada como uma fonte alternativa deste polissacarídeo. O amido é um polímero de carboidrato que existe como grânulos semicristalinos e é composto por dois polímeros, ou seja, amilose, um biopolímero linear de unidades α -D-glicose ligadas por ligações α -1,4-glicosídicas, e amilopectina, um biopolímero altamente ramificado em quais as unidades α -D-glicose estão ligadas através de ligações α -1,4- e α -1,6-glicosídicas (Leandro *et al.*, 2024). No entanto, amidos de diferentes fontes vegetais apresentam propriedades e características distintas, incluindo morfologia e tamanho do grânulo, teor de amilose, cristalinidade, propriedades térmicas, força expansiva e propriedades hidrolíticas (Singla *et al.*, 2020; Kaur *et al.*, 2020). Independente da sua fonte de extração, este tipo natural de polissacarídeo, apresenta vantagens de renovabilidade, biodegradabilidade e munificência, e é o principal componente de muitos alimentos, fornecendo a maior parte da energia para a vida humana (Yong & Liu, 2024).

Após a extração do amido, torna-se essencial aplicar métodos de secagem adequados para preservar sua qualidade, evitando a degradação microbiana, reduzindo o teor de água e facilitando o armazenamento e transporte, além de manter as propriedades desejadas para futuras aplicações industriais (Almeida *et al.*, 2022). Entre os métodos de secagem, a secagem em leito de jorro, têm se destacado em decorrência da alta transferência de calor e massa, conseqüentemente curto tempo de processo (Ferreira *et al.*, 2019). Além disso, este processo é considerado uma alternativa potencial à secagem por pulverização em aplicações industriais (Santos *et al.*, 2024), uma vez que conduz a produtos de qualidade semelhante com custos de investimento significativamente mais baixos (Costa *et al.*, 2015).

No leito de jorro, o ar é introduzido por um único orifício localizado no centro da base, criando um caminho preferencial no leito. Esse fluxo de ar arrasta as partículas inertes sólidas através do orifício até a superfície do leito, onde se forma uma fonte. A partir daí o ar continua sua ascensão, enquanto as partículas descem por gravidade ao longo da periferia da fonte até a superfície do leito (Szafran e Kmiec, 2004; Bolaños *et al.*, 2024). Depois, as partículas descem pela zona anular e se incorporam novamente ao bico ao longo da altura do leito. Esse movimento específico das partículas é uma das principais características dos leitos de jorro, diferenciando-os de outros métodos de contato gás-sólido. O gás introduzido não só sobe pelo orifício, mas também percola pela zona anular ao longo de toda a altura do leito, garantindo um bom contato gás-sólido e,

consequentemente, altas taxas de transferência de calor e massa (Sukunza *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2022; Bolaños *et al.*, 2024).

Para otimizar o processo de secagem, é essencial estudar diferentes temperaturas de processo, uma vez que a temperatura influencia diretamente a taxa de secagem, pois o calor aplicado pode alterar tanto a composição quanto os aspectos tecnológicos do produto final (Demirkol e Tarakci, 2018). Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo extrair o amido de sementes de abacate e avaliar o impacto da temperatura do processo de secagem em leito de jorro nas propriedades físico-químicas, funcionais, morfo-estruturais e térmicas do amido. Diante disso, promove-se a valorização dos subprodutos do abacate, especialmente suas sementes, contribuindo para a gestão sustentável desses resíduos.

2 Material e métodos

2.1 Matéria prima

Abacates maduros da variedade Breda (*Persea americana* Mill.), foram adquiridos na Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA), Campina Grande-PB, Brasil no ano de 2023. Inicialmente, os frutos foram higienizados com solução de hipoclorito de sódio na concentração de 200 mg/L de cloro livre por 15 min e posteriormente enxaguados com água corrente. Em seguida, os frutos foram despulpados manualmente e suas frações (polpa, sementes e cascas) separadas e armazenadas em freezer (-20 °C), para uso posterior.

2.2 Extração do amido

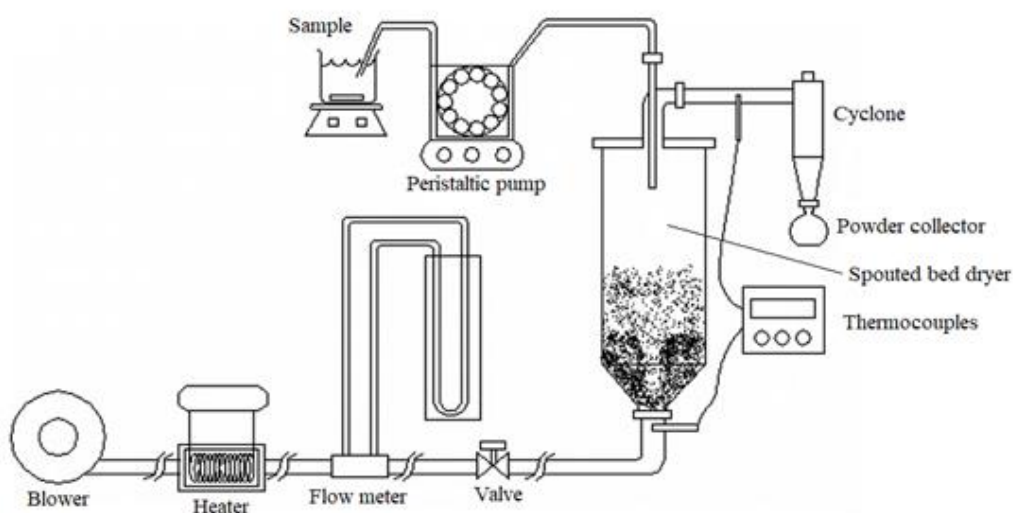
O amido das sementes de abacate foi extraído de acordo com a metodologia proposta por Adebawale *et al.* (2005) com adaptações. Resumidamente, as sementes foram cortadas em pedaços de aproximadamente 1 cm³ e depois submersas em solução de metabissulfito de sódio a 0,5% por 24 h com uma proporção de 1:2 (p/v). Após esse período as sementes foram trituradas com a solução de metabissulfito usando um liquidificador (Phillips Walita, 800w) a 1000 rpm por 5 min. Posteriormente, a mistura resultante foi filtrada em malha de organza para obtenção de uma suspensão de amido. A suspensão de amido foi decantada por 12 h em ambiente refrigerado a 5 °C. Após a primeira decantação, a suspensão teve seu sobrenadante descartado e o precipitado foi resuspenso em água destilada e decantado novamente por 12 h. O sobrenadante foi descartado seis vezes em intervalos de 12 h, com adição de 200 mL de água destilada em

cada vez, e submetido ao armazenamento na temperatura de 5 °C. Este processo resultou na preparação de uma pasta de amido que foi utilizada na etapa de secagem.

2.3 Secagem da pasta de amido

A pasta de amido extraída das sementes de abacate, foi submetida a etapa de secagem em leito de jorro. Para isso, foi utilizado um secador de leito de jorro (FBD 1.0, LabMq, São Paulo, Brasil) (Figura 1A) com velocidade do ar de secagem constante (8,5 m/s), vazão de alimentação da suspensão de 4,6 mL/min e pressão de atomização igual a 2 bar (condições definidas com base em testes preliminares, dados não mostrados). O processo foi conduzido com temperaturas de entrada de 50, 60, 70 e 80 °C (temperaturas definidas com base na temperatura de gelatinização do amido) e utilizou-se (1200 g) de partículas de polietileno de alta densidade (PAD) no interior do equipamento. A alimentação foi mantida sob agitação contínua em agitador magnético. Por fim, as partículas secas obtidas foram coletadas no ciclone acoplado a coluna de secagem, pesadas e depois seladas em embalagens metalizadas flexíveis e armazenadas em dessecador a 25 °C até uso posterior.

Figura 1. Representação esquemática do secador de leito de jorro utilizado no processo de secagem do amido nativo de sementes de abacate.



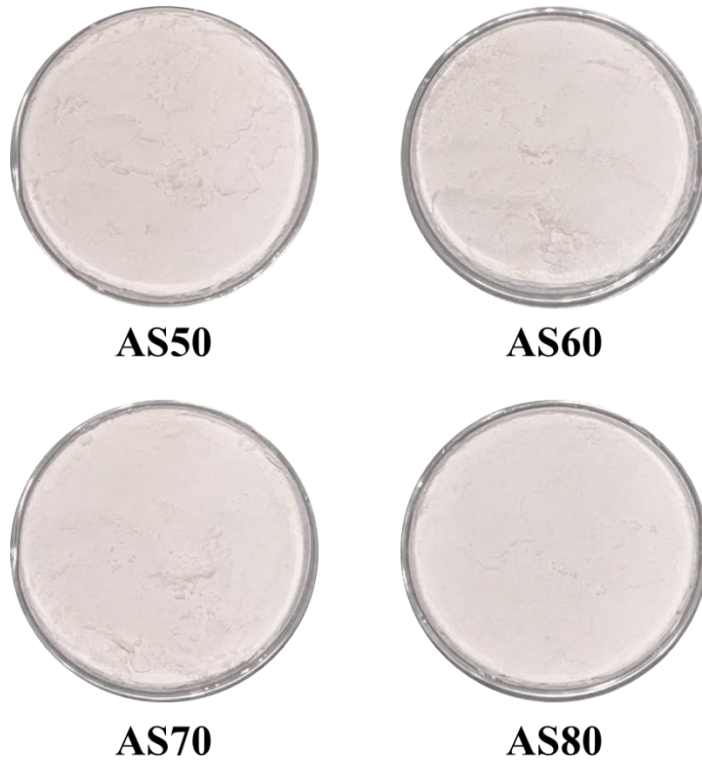
Fonte: Santos *et al.* (2024).

2.3.1 Identificação das amostras

As condições operacionais permitiram obter quatro grupos experimentais: AS50 (Amido nativo extraído de sementes de abacate e seco em leito de jorro a 50 °C), AS60

(Amido extraído de sementes de abacate e seco em leito de jorro a 60 °C), AS70 (Amido extraído de sementes de abacate e seco em leito de jorro a 70 °C), e AS80 (Amido extraído de sementes de abacate e seco em leito de jorro a 80 °C). As amostras de amido nativo AS50, AS60, AS70 e AS80, podem ser visualizadas na Figura 2.

Figura 2. As amostras de amido nativo (AS50, AS60, AS70 e AS80) de sementes de abacate obtidas por secagem em leito de jorro.



2.4 Rendimento

O rendimento foi calculado conforme Equação 1.

$$R(\%) = \frac{(1 - U_P) \times M_P}{(1 - U_{PB}) \times M_{PB}} \times 100\% \quad (1)$$

Onde: R é o rendimento do amido nativo (%); U_P = umidade do amido em pó obtido na secagem na temperatura T (g); U_{PB} = umidade da pasta base submetida a secagem na temperatura T (g); M_{PB} = massa da pasta base submetida a secagem na temperatura T (g); M_P = massa de amido em pó recolhido (g).

2.5 Teor de água e atividade de água

O teor de água foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela A.O.A.C (2016) e a atividade de água foi determinada por leitura direta da amostra, utilizando o higrômetro de ponto de orvalho (Aqualab, modelo 3TE, Decagon, WA, EUA), na temperatura de 25 °C.

2.6 Teor de amido, amilose e amilopectina

O teor de amido foi determinado de acordo com a metodologia estabelecida pela A.O.A.C. (2016), que se baseia na quantificação do composto formado pela reação entre a antrona e glicose a 620 nm. O teor de amilose foi quantificado utilizando o método proposto por Magel (1991). Para isso, o amido (10,0 mg) foi adicionado a 2 mL de dimetilsulfóxido e depois aquecido a 85 °C durante 15 min. O volume da solução foi completado para 25 mL, em seguida pipetou-se 1 mL da solução de amido para um balão volumétrico de 50 mL, seguido da adição de 5 mL de solução de iodo e completou-se para 50 mL. A absorvância da amostra foi determinada a um comprimento de onda de 620 nm. Já o teor de amilopectina das amostras foi calculado pela diferença entre os valores de amido e amilose.

2.7 Capacidade de absorção de água, óleo e leite

A determinação da capacidade de absorção de água e óleo seguiu o método de Beuchat (1977), onde foi utilizado 1 g de amido com 10 mL de água destilada ou óleo de girassol. A suspensão foi homogeneizada por 30 s e deixada em repouso por 30 min. Em seguida, as amostras foram centrifugadas (KASVI, K14-5000 M) a 2.000×g por 15 min. Para o leite, o amido (2,5 g) foi adicionado a 30 mL de leite a 25 ± 2 °C por 30 min e depois centrifugado a 2.000×g por 15 min. O índice de absorção do leite, que corresponde à massa do gel obtido após a retirada do sobrenadante foi calculado.

2.8 Densidade aparente e compactada

A densidade aparente, foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Caparino *et al.* (2012). Pesou-se cerca de 2 g da amostra em uma proveta graduada de 10 mL anotando o volume ocupado pela amostra. Em seguida, calculou-se a relação entre a massa e o volume ocupado. Para determinar a densidade compactada, seguiu-se a metodologia de Tonon (2009) que consiste em pesar cerca de 2 g da amostra em uma proveta graduada de 10 mL e aplicar 50 batimentos na proveta sobre a bancada a uma

altura fixa de 2,5 cm, anotando o volume ocupado pela amostra. Em seguida, calculou-se a relação entre a massa e o volume ocupado.

2.9 Fator de Hausner e índice de Carr

O índice de Carr (IC) e o fator de Hauser (FH) foram calculados seguindo as metodologias propostas por Wells (1988). A fluidez e a coesividade dos amidos em pó foram avaliadas em termos de IC e FH, respectivamente. Os indicadores de fluidez (IC) são: muito bom (<15%), bom (15–20%), satisfatório (20–35%), ruim (35–43%) e muito ruim (>43%). E os indicadores de coesão (FH) são: baixo (<1,2), intermediário (1,2–1,4) e alto (>1,4) (Asokapandian *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2020).

2.10 Poder de intumescimento (PI) e solubilidade

O poder de intumescimento (PI) e a solubilidade das amostras foram determinados de acordo com um método modificado por Tangsrianugul *et al.* (2019). As amostras (0,25 g) foram misturadas com 25 mL de água destilada e esta mistura foi então incubada em banho-maria a 90 °C por 30 min com agitação suave. Após aquecimento, as amostras foram resfriadas à temperatura ambiente e centrifugadas a 300 x g por 15 min. O sobrenadante foi transferido para uma placa de petri e seco a 105 °C até massa constante. A fração de sedimento úmido foi pesada para determinação do poder de inchamento. O PI foi calculado como a razão entre a massa da amostra de sedimento úmido e a massa da amostra original, já a solubilidade foi calculada como a porcentagem de peso seco de moléculas solúveis no sobrenadante em relação ao peso das amostras originais.

2.11 Cor

Os parâmetros colorimétricos L*, a* e b* da escala CIELAB, foram determinados utilizando um colorímetro portátil (Agilent Cary 60, Agilent Technologies, USA). O parâmetro L* representa a luminosidade (0 totalmente preto e 100 totalmente branca), a* define a transição da cor verde (-a*) para o vermelho (+a*) e b* representa a transição da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*).

2.12 Sinérese

A suspensão de amido (5%, p/p) foi aquecida a 90 °C durante 30 min num banho de água com temperatura controlada, seguida de arrefecimento rápido num banho de água gelada até à temperatura ambiente (25 °C). A amostra de amido foi armazenada por 48,

72, 96 e 168 h a 4 °C. A sinérese foi medida como a porcentagem da quantidade de água liberada após centrifugação a 5.000 rpm por 15 min (Sodhi e Singh, 2003).

2.13 Textura instrumental

As pastas de amido foram preparadas misturando amido e água na proporção de 1:10 (p/v). Essa mistura foi então aquecida a 80 ± 2 °C até formar a pasta, processo que levou aproximadamente 30 min. Após a formação da pasta, as amostras foram refrigeradas a 8 °C por 24 h (BRM44, Brastemp, Brasil). Em seguida, foram deixadas atingir a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) antes de serem analisadas quanto à textura utilizando o método de Análise de Perfil de Textura (APT), que avalia a firmeza, elasticidade, coesividade, adesividade e gomosidade.

2.14 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia da superfície das partículas foi avaliada utilizando um microscópio eletrônico de varredura (VEGA3 TESCAN, Massachusetts, EUA) operado a 5 kV e com ampliações de 500x. Nenhum revestimento foi necessário. As imagens de MEV foram analisadas em triplicata usando ImageJ (disponível em: <https://imagej.net/>) para determinação do diâmetro médio das partículas.

2.15 Difração de raio-X (DRX)

Os padrões de raios X das amostras foram determinados por um difratômetro de raios X (Shimadzu-XRD-7000) a 80 mA e 40 kV. A varredura foi realizada em passo de 0,02, com tempo de contagem de 2 s do 5° ao 60° em temperatura ambiente (Won *et al.*, 2017). A função de resposta gaussiana foi utilizada para convolucionar o difratograma e revelar a área amorfa (Ferraz *et al.*, 2019). Em seguida, a cristalinidade das amostras foi determinada pelo método da área usando a Equação (2):

$$RC(\%) = \frac{T_a - A_{fa}}{T_a} \times 100\% \quad (2)$$

Onde: RC é a cristalinidade relativa (%), T_a é a área total, e A_{fa} é a área da fração amorfa.

2.16 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A obtenção dos espectros na região do infravermelho foi feita utilizando um sistema com transformada de Fourier (FTIR) (Perkin Spectrum 400 Series) ao longo de um intervalo de 400–4.000 mm, a partir de um sedimento de brometo de potássio (KBr).

2.17 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

As propriedades térmicas do amido foram determinadas utilizando um calorímetro diferencial de varredura (DSC) (2920 Modulated DSC, TA Instruments, New Castle, Del., EUA) equipado com sistema de resfriamento (Zhu *et al.*, 2017). Os amidos foram pesados em recipientes de alumínio, aos quais foi adicionado água destilada. As amostras foram seladas e deixadas em repouso à temperatura ambiente durante a noite para equilibrar antes da análise. O aquecimento das amostras foi realizado a uma taxa de 10 °C/min, de 30 até 190 °C. Um recipiente vazio foi utilizado como referência. As temperaturas de início (T_o), pico (T_p), conclusão (T_c) e entalpia de transição (ΔH) foram medidas a partir dos termogramas.

2.18 Análise estatística

Os resultados foram apresentados como valores médios \pm desvio padrão. ANOVA unidirecional foi realizada utilizando o software Assistat 7.0 (disponível em: <https://assistat.software.informer.com>). Para determinar a diferença estatisticamente significativa entre as médias foi aplicado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

3 Resultados e discussão

3.1 Rendimento do amido nativo

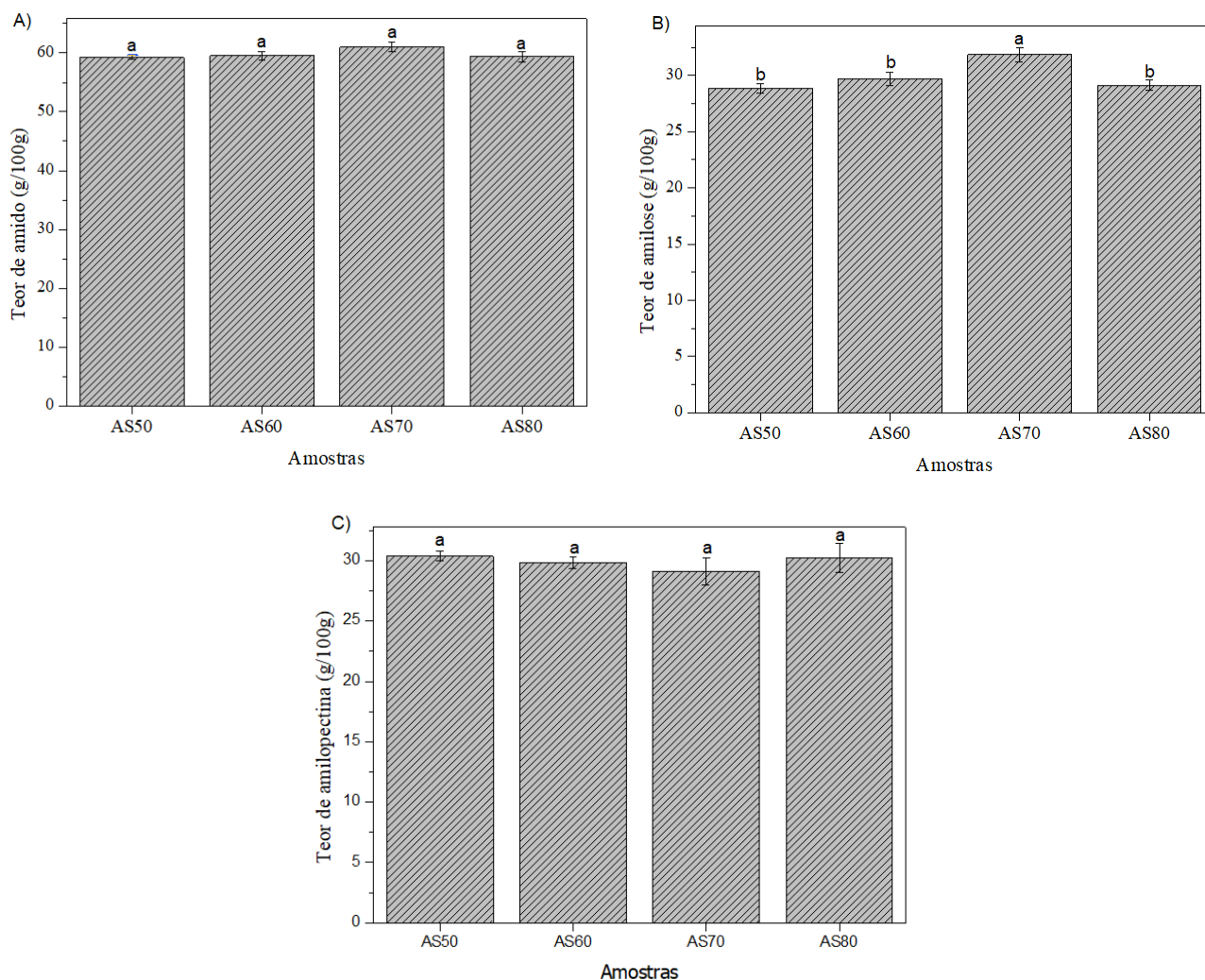
O rendimento é um parâmetro essencial para otimização de processos industriais envolvendo o aproveitamento de subprodutos do abacate. Para o processo de secagem do amido de sementes de abacate em leito de jorro, o rendimento apresentou uma variação de 52,3% (AS50) a 58,5% (AS80) ($p > 0,05$). Os rendimentos aqui obtidos são considerados ideais para processos industriais, pois apenas acima de 50% é considerado um processo bem-sucedido (Zhang *et al.*, 2019). Curiosamente, nossos resultados evidenciam uma correlação positiva entre o rendimento e a temperatura de secagem, ou seja, maiores temperaturas (80 °C) proporcionaram maior rendimento (58,5%). Isso porque, o aumento da temperatura promove altas taxas de transferência de calor e massa, o que contribui para o aumento da formação do pó (Costa *et al.*, 2015). Essas observações

são sustentadas por observações de estudo anterior, no qual, obtiveram rendimento na faixa de (29,7-49,7%) para amido da semente de manga, seco em leito de jorro (60 a 80 °C) (Ferreira *et al.*, 2019).

3.2 Teor de amido, amilose e amilopectina

O teor de amido, amilose e amilopectina do amido nativo de sementes de abacate são mostrados na Figura 3.

Figura 3. Teores de amido (A), amilose (B) e amilopectina (C) do amido de sementes de abacate obtido por secagem em leito de jorro nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C.



Legenda: AS50 - Amido extraído da semente de abacate e seco em leito de jorro a 50 °C, AS60 - Amido extraído da semente de abacate e seco em leito de jorro a 60 °C, AS70 - Amido extraído da semente de abacate e seco em leito de jorro a 70 °C e AS80 - Amido extraído da semente de abacate e seco em leito de jorro a 80 °C. Barras com letras diferentes, indicam diferença estatística significativa entre as amostras (p<0,05)

O teor de amido (Figura 3A) apresentou uma variação entre 59,20 g/100 g (AS50) e 60,9 g/100 g (AS70), com destaque para AS70 que apresentou o maior valor. No entanto, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as amostras, indicando que as condições de secagem não apresentaram uma tendência clara em relação ao teor final de amido. Isso sugere que outros fatores como a fonte botânica de origem (Wang & Guo, 2020), método de extração e composição do material (Guerrero *et al.*, 2016), podem influenciar esse parâmetro, tornando o efeito da temperatura de secagem menos perceptível. Valores próximos ao do presente estudo foram relatados por Ferraz *et al.* (2019) para amido de semente de manga (59,4%) obtido por secagem em estufa e semelhante ao de outras fontes de amido (Bharti *et al.*, 2019).

O conteúdo de amilose é uma propriedade importante porque pode influenciar as propriedades funcionais, reológicas e de colagem (Yang *et al.*, 2022). Os teores de amilose (Figura 3B) foram de 28,85 g/100 g, 29,68 g/100g, 31,84 g/100 g e 29,13 g/100 g para AS50, AS60, AS70 e AS80, respectivamente. Pode-se observar que os valores obtidos não foram significativamente diferentes ($p > 0,05$), exceto para o AS70, sugerindo assim que a temperatura teve baixo impacto no amido. Estudos anteriores conduzidos por Irrazabal *et al.* (2023) obtiveram teor de amilose de 28,18 g/100 g, 17,79 g/100 g e 15,91 g/100 g para amido de semente de abacate das variedades Hass, Criolla e Fuerte, respectivamente. Segundo Chen *et al.* (2014), essas diferenças podem ser associadas ao método de determinação, condições de cultivo, variedade ou origem geográfica bem como a técnica de secagem aplicada (Chen *et al.*, 2014).

Segundo Guerrero *et al.* (2016), o conteúdo de amilose e amilopectina no amido afeta suas propriedades funcionais e aplicação industrial. Dessa forma, os teores de amilopectina também foram determinados e podem ser visualizados na Figura 3C. O teor de amilopectina apresentou uma variação de 29,13 g/100 g (AS70) a 30,37 g/100 g (AS50) ($p > 0,05$). Mais uma vez, é notório que a faixa de temperatura utilizada não influenciou significativamente os teores de amilopectina. Na verdade, a composição do amido, em sua grande maioria é composta por 15-30% de amilose e 70-85% de amilopectina, sendo esta proporção dos dois polissacarídeos dependente da origem botânica do amido (Pietrzyk *et al.*, 2018). Observou-se neste estudo que a composição de amilose e amilopectina do amido de semente de abacate foi em torno de 30 g/100 g, sendo a amilopectina inferior ao encontrado por Tosif *et al.* (2023) para o amido de semente de nêspera. No geral, os teores de amido, amilose e amilopectina destacam a temperatura de 70 °C (AS70) como uma condição adequada para obter amido de semente de abacate em

pó com maiores teores de amilose e amilopectina, que podem ser aplicados em formulações alimentícias, embalagens para alimentos entre outros processos.

3.3 Propriedades físicas e funcionais do amido de semente de abacate

As diferentes temperaturas aplicadas no processo de secagem provocam alterações nas propriedades físicas, funcionais e na estrutura do amido (Correia e Costa, 2012). Na Tabela 1 pode ser observado os resultados obtidos para as propriedades físicas e funcionais do amido de semente de abacate obtido por secagem em leito de jorro nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C.

Tabela 1. Propriedades físicas e funcionais do amido de semente de abacate obtido por secagem em leito de jorro nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C.

Parâmetros	AS50	AS60	AS70	AS80
Teor de água (g/100g)	9,57±0,05 ^a	9,18±0,0 ^b	8,64±0,0 ^c	8,16±0,0 ^d
Atividade de água, a_w	0,52±0,0 ^a	0,49±0,0 ^b	0,41±0,0 ^c	0,36±0,01 ^d
CAA (g/100g)	92,19±0,05 ^a	92,34±0,01 ^a	92,28±0,04 ^a	92,38±0,01 ^a
CAO (g/100g)	92,21±0,04 ^a	92,28±0,02 ^a	92,21±0,01 ^a	92,34±0,04 ^a
CAL (g/100g)	125,43±0,04 ^a	135,94±0,02 ^a	133,05±0,04 ^a	131,16±0,01 ^a
Solubilidade (%)	7,42±0,75 ^{ab}	8,35±1,41 ^a	5,22±0,33 ^{bc}	4,51±0,83 ^c
SP (g/100g)	57,10±1,95 ^a	57,39±2,57 ^a	58,13±4,45 ^a	56,25±4,06 ^a
Densidade aparente (g/cm ³)	0,58±0,03 ^a	0,56±0,05 ^a	0,54±0,01 ^a	0,56±0,01 ^a
Densidade compactada (g/cm ³)	0,67±0,02 ^{ab}	0,65±0,02 ^b	0,70±0,01 ^a	0,67±0,0 ^{ab}
Índice de Carr (%)	13,20±0,04 ^b	14,20±0,05 ^{ab}	22,50±0,02 ^a	15,90±0,01 ^{ab}
Fator de Hausner	1,15±0,05 ^b	1,16±0,08 ^{ab}	1,29±0,03 ^a	1,18±0,02 ^{ab}
L*	45,39±0,0 ^c	51,93±0,07 ^a	42,46±0,10 ^d	46,92±0,02 ^b
a*	3,12±0,01 ^a	2,70±0,01 ^c	2,49±0,03 ^d	2,94±0,03 ^b
b*	6,11±0,01 ^a	5,79±0,02 ^c	4,96±0,02 ^d	5,98±0,02 ^b

CAA: capacidade de absorção de água; CAO: capacidade de absorção de óleo; CAL: Capacidade de absorção de leite; SP: poder de inchamento; AS50: Amido extraído da semente de abacate e seco em leito de jorro a 50 °C, AS60: Amido extraído da semente de abacate e seco em leito de jorro a 60 °C, AS70: Amido extraído da semente de abacate e seco em leito de jorro a 70 °C e AS80: Amido extraído da semente de abacate e seco em leito de jorro a 80 °C; Letras diferentes (a, b, c, d) na mesma linha, indicam diferença estatística significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

O teor de água é um parâmetro de qualidade essencial para determinar a estabilidade de produtos em pó ao longo do tempo (Martins *et al.*, 2014). Conforme

exposto na Tabela 1, o teor de água obtido nos amidos variou de 8,16 g/100 g (AS80) a 9,57 g/100 g (AS50), observando que o aumento da temperatura reduziu o teor de água dessas amostras, apresentando diferença significativa entre elas ($p < 0,05$). Com relação à atividade de água (a_w) obteve-se uma variação de 0,52 (AS50) a 0,36 (AS80) ($p < 0,05$). É notório que os resultados de teor de água e a_w neste estudo sofreram influência significativa da temperatura de secagem, em decorrência do processo de transferência de calor e massa quando aumentou a temperatura de secagem. De fato, quando foi aplicado uma temperatura de secagem de 80 °C, foi obtido baixos teores de água (8,75 g/100g) e de a_w (0,36). Segundo Costa *et al.* (2015) a temperatura do ar é uma das variáveis de entrada que mais influencia no teor de água do produto, o que confirma ao encontrado por Almeida *et al.* (2019) para o amido nativo de arroz vermelho com teor de água igual a 9,30 g/100g, e por Castro *et al.* (2019) com atividade de água em torno de 0,14 para o amido de semente de pitomba, ambos obtidos por secagem convectiva.

A capacidade de absorção de água (CAA) está relacionada ao comprimento da cadeia de amido e à interação com moléculas de água (Noris *et al.*, 2017), enquanto a absorção de óleo (CAO) depende do aprisionamento físico do óleo na estrutura apolar do amido (Abu *et al.*, 2006). Os valores de CAA e CAO, apresentados na Tabela 1, foram superiores a 90 g/100g para ambos os parâmetros. Embora a temperatura de secagem não tenha tido um impacto significativo ($p > 0,05$), o processo realizado a 80 °C (AS80) resultou nos maiores valores: 92,38 g/100g para CAA e 92,34 g/100g para CAO. Curiosamente, a amostra AS80 também apresentou o menor teor de água (8,16 g/100g), evidenciando que a maior temperatura de secagem (ou seja, 80 °C) é adequada para promover a remoção eficaz da água, sem causar degradação térmica significativa das estruturas moleculares do amido, garantindo assim os maiores valores de CAA e CAO. Essas observações são semelhantes com estudos anteriores conduzidos por Castro *et al.* (2019) para amido de semente de pitomba com valores de 89,49% (CAA) e 85,07% (CAO) e por Zhang *et al.* (2016) para amido da semente de jaca com valores de 70,09% (CAA) e 85,66 % (CAO). Traçando um paralelo entre nossos achados e a literatura, o amido da semente de abacate tem potencial de aplicação em diversas indústrias, contribuindo para a melhoria da textura, estabilidade e funcionalidade dos produtos finais (Adebowale *et al.*, 2005).

Outra propriedade importante quando se tem por finalidade a elaboração de produtos alimentícios, é a capacidade de absorção de leite (CAL), seus valores também são apresentados na Tabela 1. Pode-se observar que os valores da CAL foram superiores

ao da CAA e CAO, o que confirma a disponibilidade de amido para se ligarem aos glóbulos de gordura presentes no leite, principalmente para a AS60 que apresentou o maior valor (135,94 g/100 g). Apesar da temperatura de secagem não ter afetado significativamente ($p>0,05$), para todas as condições os valores de CAL foram superiores a 100 g/100g, destacando sua alta capacidade para uso em novos alimentos. Valores inferiores ao do presente estudo foram relatados por Ribeiro *et al.* (2023) para amido de arroz vermelho e preto obtidos por secagem convectiva (50 °C) com valores de 64,31 g/100g e 70,57 g/100g, respectivamente. Sugerindo que a maior taxa de transferência de calor e massa na secagem em leito de jorro, que oferece uma secagem mais rápida e uniforme, cria partículas com uma estrutura mais definida e adequada para maior absorção, em comparação com métodos de secagem mais tradicionais, como a secagem convectiva em estufa.

A solubilidade, é um parâmetro que mede até que ponto os grânulos de amido se dissolvem durante o processo de inchaço, e o poder de inchamento (SP) quantifica a capacidade dos grânulos de amido de absorver água durante o aquecimento (Wang *et al.*, 2021; León *et al.*, 2016). Os valores de solubilidade e de SP são apresentados na Tabela 1. Para ambos os parâmetros não foi observado um comportamento definido com aumento da temperatura de secagem, apenas observou-se uma variação entre 4,51% (AS80) – 8,35% (AS60) para solubilidade e de 56,25% (AS80) – 58,13% (AS70) para o SP ($p<0,05$). Valores inferiores (1,60%) de solubilidade foram relatadas por Castro *et al.* (2019) para o amido de pitomba e de SP (6,9-33,7%) por Waterschoot *et al.* (2016) para amido de batata, milho e arroz. Segundo Ziegler *et al.* (2018) a baixa solubilidade do amido pode estar associada ao grau de ramificação da cadeia, uma vez que a solubilidade é resultado da lixiviação da amilose. Enquanto, amidos com valores de SP na faixa de 50%, é um indicativo para serem utilizados em alimentos congelados que necessitam de maior estabilidade (Souza *et al.*, 2021; Guerrero *et al.*, 2016).

A densidade aparente e a densidade compactada referem-se ao volume ocupado pelos alimentos em pó e são fatores importantes para a indústria, principalmente para fins de embalagem e manuseio (Dantas *et al.*, 2018). Os resultados são apresentados na Tabela 1. Os valores da densidade aparente e compactada, não apresentaram um comportamento definido com o aumento da temperatura de secagem ($p>0,05$), apresentando uma variação entre 0,54 g/cm³ (AS70) a 0,58 g/cm³ (AS50) para densidade aparente e valores superiores entre 0,65 g/cm³ (AS60) a 0,58 g/cm³ (AS70) para densidade compactada. Segundo Castro *et al.* (2019) baixos valores de densidade aparente e compactada podem estar

associados ao menor tamanho de partículas do amido, o que ocasiona melhor consolidação durante o rearranjo do pó. Valores semelhante ao presente estudo foram obtidos por Pachua *et al.* (2017) para a densidade aparente igual a $0,45 \text{ g/cm}^3$ para o amido de arroz glutinoso e por Yaowiwat *et al.* (2023) foi encontrado valor superior para a densidade compactada ($2,57 \text{ g/cm}^3$) para o amido de jaca.

O índice de Carr (IC) e o fator de Hausner (FH) traduzem a fluidez de um pó e são calculados a partir da relação entre os valores de densidade aparente e densidade compactada, e quando os índices possuem valores mais baixos, significa que a diferença entre a densidade aparente e a densidade do pó compactado é menor, logo, uma menor compactação e maior fluidez do pó (Asokapandian *et al.*, 2016). Como observado na Tabela 1, a amostra AS70 apresentou maior índice de Carr (22,50%), seguido pela amostra AS80 com valor de 15,90%, que não diferiu significativamente da amostra AS60, com valor igual a 14,20% ($p > 0,05$). Já o menor resultado foi obtido para a amostra AS50 (13,20%). Quanto à classificação pelo IC, as amostras AS50, AS60 e AS70 podem ser classificadas como de boa fluidez, por apresentarem valores entre 11 e 15%. Porém, para a amostra AS80 recebeu uma classificação de fluidez aceitável.

Com relação ao FH, o maior valor foi obtido para a amostra AS70 sendo equivalente a 1,29, seguido das amostras AS80, AS60 e AS50 com valores de 1,19, 1,17 e 1,15, respectivamente. Considerando a classificação pelo FH, as amostras AS50 e AS60 podem ser classificadas como de boa coesividade, visto que seu FH se encontra entre 1,12 e 1,18, e as amostras AS70 e AS80 receberam classificação aceitável, com valores entre 1,19 e 1,2. Sendo assim, uma boa fluidez pode garantir a distribuição eficiente do amido na elaboração dos produtos, dessa forma, a amostra AS70 apresenta uma coesividade intermediária (valores entre 1,2 a 1,4) o que pode ser uma característica desejável quando este for aplicado como melhorador de textura de produtos alimentícios, uma vez que, a coesividade está relacionada a tendência das moléculas em se manterem juntas.

A cor é uma propriedade física importante em amido pois, determina a qualidade do produto e sua aplicabilidade, uma vez que, a presença de pigmentos escuros reduz sua qualidade e aceitação do produto final (Reddy *et al.*, 2017). A determinação de cor (Tabela 1) foi avaliada em 3 tonalidades diferentes: L^* , a^* e b^* , dentre elas a luminosidade (L^*) que indica a tonalidade esbranquiçada, visto que, nesse estudo torna-se a mais importante e significativa para a caracterização do amido. Os parâmetros de L^* observados para os amidos de sementes de abacate diferiram estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$), variando entre 42,46 (AS70) e 51,93 (AS60). Para o parâmetro a^* foi observado

com baixos valores (2,49 (AS70) - 3,12 (AS50), $p < 0,05$) tendenciosos ao vermelho, assim o amido extraído possui menor intensidade de +a*, como pode ser observado na Figura 1. A intensidade de amarelo (+b*) também diferiu entre os amidos de semente de abacate, observando uma maior intensidade de coloração quando comparado com a tonalidade +a*, com valores na faixa de 4,96 (AS70) - 6,11 (AS50). Segundo Díaz e Rossini (2012), baixos valores de +b* quando associados a altos de L* estão relacionados a características de cor desejáveis à aceitação do amido. De acordo com os parâmetros da cor, permitiram classificar o amido extraído da semente do abacate como produto de coloração clara, como pode ser observado na Figura 2.

3.4 Índice de sinérese do amido

Durante o armazenamento refrigerado, a reorganização das moléculas de amido pode resultar na liberação de água ou sinérese, afetando o alinhamento da rede de gel (Pongsawatmanit & Srijunthongsiri, 2008). Dessa forma, a sinérese de géis preparados a partir do amido da semente de abacate foi medida como a quantidade de água liberada dos géis durante o armazenamento refrigerado (4 °C) nos períodos de 48, 72, 96 e 168 h, os resultados podem ser visualizados na Tabela 2. Observou-se que, à medida que o tempo de armazenamento aumentou, a sinérese de todos os amidos aumentou gradativamente. Segundo Abelti *et al.* (2024), os grânulos de amido também são importantes para emulsionar e estabilizar sobremesas congeladas como sorvetes, a fim de evitar a formação de cristais de gelo e melhorar a qualidade de batimento, assim o amido que apresenta maior sinérese tem maior tendência a retrogradar em baixas temperaturas de armazenamento.

Pode-se notar que o maior valor obtido para o índice de sinérese (IS) foi para AS50 após 168 h (88,28%), indicando que o amido de semente de abacate apresenta alta sinérese e não é adequado para uso em sistemas alimentícios que envolvam processamento de alimentos refrigerados (Abelti *et al.*, 2024), porém o AS50 no tempo de 48 h apresentou a menor sinérese (79,56%) entre todas as amostras, o que implica que poderia ser mais adequado para processamento de alimentos refrigerados (Abelti *et al.*, 2024). Como pode ser observado na Figura 4, a maioria dos grânulos permaneceram intactos com o aumento da temperatura de secagem, com isso eles são incapazes de absorver o excesso de água que é utilizado para gelatinizar o amido na formação da pasta. Estudos conduzidos anteriormente por Pachuaui *et al.* (2017), obtiveram valores de IS entre 10,14 a 25,17% no estágio de 24 a 120 h para o amido de arroz glutinoso, obtido

por secagem em estufa a vácuo a 40 °C, e por Paramasivan *et al.* (2021) para o amido de diferentes cultivares de banana obtido na secagem a 50 °C, com valores entre 68,19 a 86,21% também no período de armazenamento de 120 h.

Tabela 2. Índice de sinérese do amido de semente de abacate obtido por secagem em leito de jorro nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C no decorrer de 168 horas de armazenamento refrigerado (4 °C).

Amostras	Índice de sinérese (%)			
	48 horas	72 horas	96 horas	168 horas
AS50	79,56 ± 0,37 ^{dC}	84,10 ± 0,07 ^{cA}	84,48 ± 0,16 ^{Ba}	88,28 ± 0,35 ^{aA}
AS60	80,92 ± 0,15 ^{dB}	83,21 ± 0,23 ^{cB}	84,56 ± 0,12 ^{Ba}	87,33 ± 0,31 ^{aB}
AS70	82,48 ± 0,35 ^{bA}	82,48 ± 0,35 ^{bC}	83,12 ± 0,25 ^{aB}	83,16 ± 0,27 ^{aC}
AS80	80,73 ± 0,14 ^{dB}	82,41 ± 0,27 ^{cC}	83,31 ± 0,17 ^{Bb}	87,31 ± 0,30 ^{aB}

Legenda: AS50: Amido extraído da semente de abacate e seco em leito de jorro a 50 °C; AS60: Amido extraído da semente de abacate e seco em leito de jorro a 60 °C; AS70: Amido extraído da semente de abacate e seco em leito de jorro a 70 °C; AS80: Amido extraído da semente de abacate e seco em leito de jorro a 80 °C. Letras minúsculas (a, b, c, d) diferentes na mesma linha, indicam diferença estatística significativa entre as amostras no mesmo período de armazenamento ($p < 0,05$); Letras maiúsculas (A, B, C) diferentes na mesma coluna, indicam diferença estatística significativa entre período de armazenamento para mesma amostra ($p < 0,05$).

Geralmente, os produtos armazenados em baixa temperatura perdem sua qualidade quando a água ligada à matriz alimentar começa a sair do gel (Paramasivan *et al.*, 2021). Dessa forma, é essencial compreender as características de gelatinização e retrogradação do amido para projetar equipamentos, controlar a qualidade e produzir produtos à base de amido (Wang *et al.*, 2017). Assim, os valores mais baixos de sinérese se tornam uma melhor escolha para produtos como sorvete, iogurte, maionese e alimentos congelados, onde a variação de temperatura frequentemente influencia o valor funcional do produto (Paramasivan *et al.*, 2023). Além disso, as diferenças na sinérese entre os amidos podem ser devidas a vários fatores, como teor de amilose, amilopectina, conteúdo de lipídios e proteínas, tamanho e distribuição dos grânulos, cristalinidade e distância intermolecular da cadeia de glucano que afetam significativamente a resistência do gel (Kaur *et al.*, 2004).

3.5 Textura dos géis de amido

Avaliar a textura dos géis de amido é importante porque o conteúdo de amilose influencia na mobilidade da água, o que também afeta a viscoelasticidade específica e as

propriedades texturais de géis de amido (Lu *et al.*, 2011). Portanto, géis de amido foram preparados e os parâmetros de textura (firmeza, elasticidade, coesividade, adesividade e gomosidade) foram avaliados, seus resultados são apresentados na Tabela 3. De modo geral, foi observado que todos os parâmetros de textura avaliados não foram influenciados pela temperatura do processo de secagem ($p>0,05$). Essas observações são sustentadas por evidências de estudos anteriores, no qual segundo Lee & Rhee (2007) as propriedades de textura de géis de amido são altamente influenciadas pela concentração de amido, pela temperatura de aquecimento e por métodos de modificação do amido.

A firmeza que é definida como a força (N) necessária para comprimir um produto a uma deformação pré-definida (Marboh e Mahanta, 2023), apresentou valores inferiores a 4 N, variando entre 2,37 N (AS60) e 3,89 N (AS80) ($p>0,05$). Baixos valores de firmeza também foram obtidos para géis de amido de arroz por Wen *et al.* (2020) com valor de 3,28 N. Ao avaliar a elasticidade, que é definida como uma medida da extensão da quebra da estrutura do gel após a compressão inicial (Huang *et al.*, 2007), verificou-se para todas as amostras, independente da temperatura de secagem, valores iguais a 1,00 N ($p>0,05$). Valores inferiores ao do presente estudo foi relatado por Cao *et al.* (2022) para géis de amido de quinoa (0,62 N). Segundo Hedayati *et al.* (2020), maiores valores de elasticidade indicam maiores interações da rede tridimensional do gel de amido.

Tabela 3. Propriedades texturais das pastas de amido, diâmetro médio dos grânulos, cristalinidade relativa, propriedades térmicas (T_o , T_p e T_c) e entalpia (ΔH) de gelatinização estruturais do amido da semente de abacate.

Parâmetros	AS50	AS60	AS70	AS80
Firmeza (N)	2,63 ± 0,18 ^a	2,37 ± 0,16 ^a	2,75 ± 0,61 ^a	3,89 ± 0,26 ^a
Elasticidade	1,00 ± 0,00 ^a	1,00 ± 0,00 ^a	1,00 ± 0,00 ^a	1,00 ± 0,00 ^a
Coesividade (N)	0,51 ± 0,07 ^a	0,52 ± 0,00 ^a	0,54 ± 0,05 ^a	0,54 ± 0,04 ^a
Adesividade (N.m)	0,85 ± 0,16 ^a	1,34 ± 0,14 ^a	1,32 ± 0,10 ^a	1,27 ± 0,29 ^a
Gomosidade (N)	1,34 ± 0,10 ^a	1,23 ± 0,10 ^a	1,48 ± 0,17 ^a	1,28 ± 0,04 ^a
Diâmetro (µm)	101,67±8,76 ^a	108,54±11,48 ^a	130,68±6,40 ^a	117,23±9,34 ^a
CR (%)	24,27±0,44 ^a	23,84±0,37 ^a	23,55±0,52 ^a	23,29±0,43 ^a
T_o (°C)	30,01 ± 0,02 ^d	30,34 ± 0,01 ^c	31,39 ± 0,05 ^b	31,73 ± 0,04 ^a
T_p (°C)	75,78 ± 0,15 ^d	78,23 ± 0,18 ^c	78,90 ± 0,10 ^b	79,56 ± 0,11 ^a
T_c (°C)	134,05 ± 0,22 ^c	135,11 ± 0,11 ^b	136,84 ± 0,14 ^a	137,17 ± 0,19 ^a

ΔH (J/g)	$14,18 \pm 0,16^d$	$14,66 \pm 0,21^c$	$15,04 \pm 0,12^b$	$15,49 \pm 0,18^a$
------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Legenda: CR: cristalinidade relativa; Letras sobrescritas iguais na mesma linha não diferem significativamente no nível de probabilidade 0,05 pelo teste de Tukey. AS50: amido seco na temperatura de 50 °C, AS60: amido seco na temperatura de 60 °C, AS70: amido seco na temperatura de 70 °C e AS80: amido seco na temperatura de 80 °C.

A coesividade está relacionada às interações intramoleculares nas cadeias de amido (Hedayati *et al.*, 2020). Os resultados obtidos foram baixos e na faixa de 0,51-0,54 N ($p>0,05$), notavelmente as amostras AS70 e AS80 apresentaram valores máximos iguais a 0,54 N, sugerindo que possuem estruturas moleculares que favorecem a formação de ligações de hidrogênio em níveis comparáveis. Valores próximos ao do presente estudo, foram obtidos por Cao *et al.* (2022) para géis de amido de quinoa (0,56 N). Segundo Marboh & Mahanta (2023), a adesividade mede a sensação pegajosa dos géis de amido, logo, se os géis se tornarem pegajosos após terem sido submetidos à deformação, será gerada uma força negativa. Dessa forma, foi possível perceber que os valores de adesividade obtidos variaram em torno de 0,85 N.m (AS50) a 1,34 N.m (AS60) ($p>0,05$), sendo superiores aos obtidos por Marboh & Mahanta (2023) para géis de amido de sohphlang, com valores abaixo de -0,2, indicando que os géis de amido do presente estudo não possuem uma característica pegajosa.

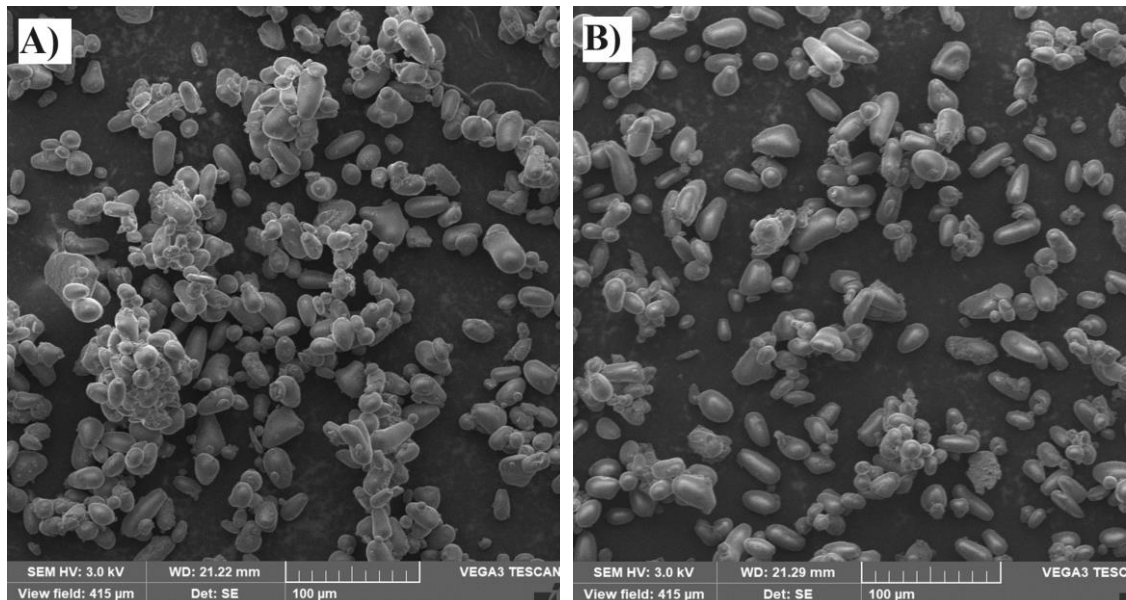
A gomosidade representa a energia necessária para desintegrar um alimento semissólido, de modo que o alimento possa ser engolido sem mastigar (Wedamulla *et al.*, 2023). Como pode ser observado na Tabela 3, os valores foram na faixa de 1,23 (AS60) a 1,48 N (AS70) ($p>0,05$). Segundo Edwards *et al.* (1998), os valores de gomosidade nos géis de amido são baixos devido ao alto teor de amilose, o que contribui para a baixa mastigabilidade.

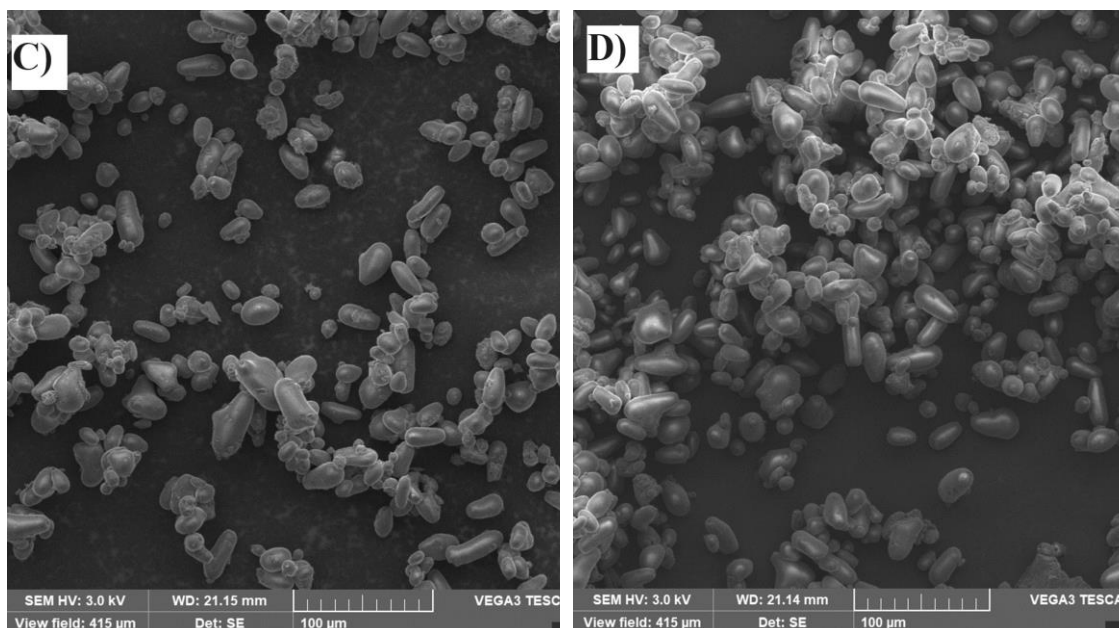
3.6 Morfologia e área de superfície específica

A forma dos grânulos e a aparência superficial do amido de semente de abacate, obtidos por secagem em leito de jorro, são mostradas na Figura 4. Os aspectos morfológicos de todas as amostras (Figura 4), apresentaram padrões semelhantes, independente da temperatura de secagem aplicada. Podendo ser observado grânulos com superfície lisa, sem rachaduras ou cavidades, com a predominância de formato oval e parcialmente arredondados. Essas observações também estão de acordo com resultados de estudos anteriores para amido de semente de abacate obtido por secagem convectiva na temperatura de 40 °C (Martins *et al.*, 2022) e para amido de feijão azuki, ervilha e feijão branco obtidos por secagem convectiva a 40 °C (Li *et al.*, 2024). No entanto, as

pequenas diferenças visuais observadas na Figura 4A, como as leves aglomerações, podem estar relacionadas ao maior teor de água do amido de abacate (AS50), o que promove um estado propenso à aglomeração de partículas. Por outro lado, os aglomerados observados na Figura 4D são característicos do início da etapa de gelatinização, resultante da alta temperatura de secagem (80 °C). Sendo também observado por Martins *et al.* (2022) e por Irrazabal *et al.* (2023) para o amido da semente de diferentes cultivares de abacate.

Figura 4. Micrografias da superfície dos amidos da semente de abacate obtidos por secagem em leito de jorro nas temperaturas de 50 °C –AS50 (A), 60 °C –AS60 (B), 70 °C – AS70 (C) e 80 °C – AS80 (D).





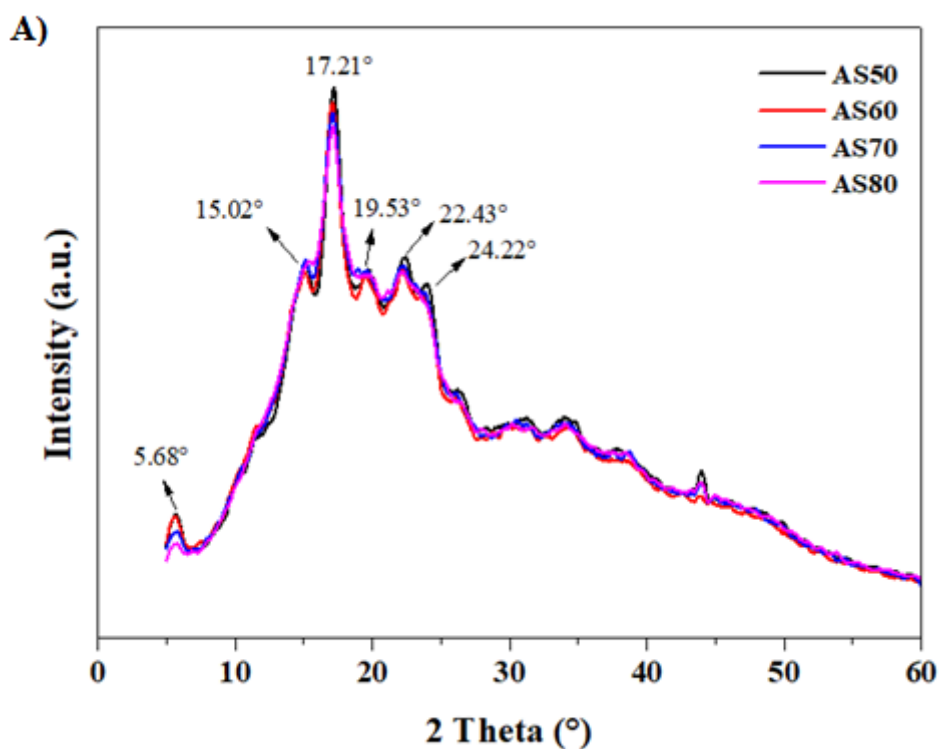
Como mencionado anteriormente, a temperatura não foi um fator predominante para alterar a estrutura morfológica dos grânulos de amido da semente de abacate. No entanto, observou-se que, à medida que a temperatura de secagem aumentou, os grânulos de amido apresentaram um aumento no diâmetro médio das partículas (Tabela 3) entre as amostras AS50 e AS70 ($p>0,05$). Contudo, a amostra AS80, que foi submetida à maior temperatura de secagem (ou seja, 80 °C), apresentou uma redução no diâmetro médio das partículas (117,23 µm) ($p>0,05$). Sugerindo que temperaturas de secagem muito elevadas podem causar a degradação ou a ruptura dos grânulos de amido, o que resulta na redução do diâmetro. De modo geral, os valores do diâmetro médio variaram de 101,67 µm (AS50) a 130,68 µm (AS70) ($p>0,05$). Esses resultados são consistentes com os achados de Irrazabal *et al.* (2023), que obtiveram amido da semente de abacate das variedades Hass, Criolla e Fuerte por secagem em estufa a 40 °C, com grânulos de diâmetros iguais a 112,20, 128,82 e 112,20 µm, respectivamente. Segundo Oyeyinka & Oyeyinka (2018), as características morfológicas podem variar de acordo com a cultivar, estágio de crescimento da planta, condições ambientais e métodos de extração e purificação.

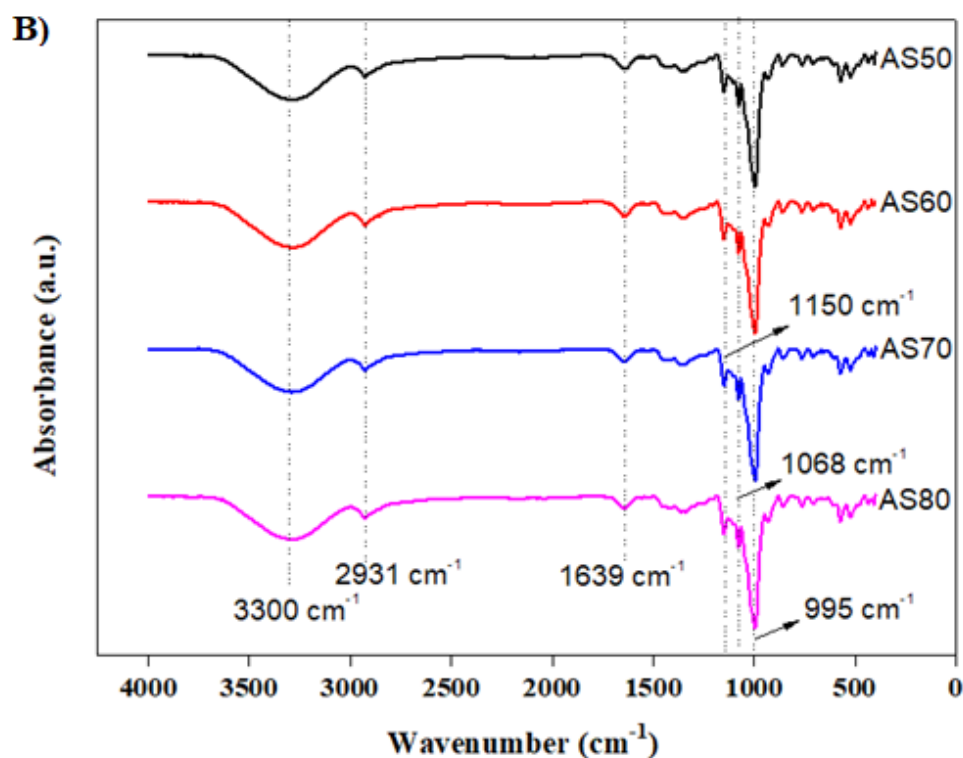
3.7 Propriedades estruturais (DRX e FTIR)

Padrões de difração de raio-X do amido nativo da semente de abacate obtido por secagem em leite de jorro nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C são apresentados na Figura 5A. Todas as amostras mostraram um polimorfo típico do tipo B, como evidenciado pela presença de picos de difração em ângulos 2θ de 5,68°, 15,02°, 17,21°,

19,53°, 22,43° e 24,22°. Segundo Miranda *et al.* (2023), os amidos do tipo B, apresentam o pico de difração mais forte em torno de 17°, alguns pequenos picos em torno de 15°, 22° e 24°, e um pico característico em torno de 5,6°. Essa classificação é atribuída aos amidos com maior quantidade de cadeias longas (Wang *et al.*, 2024). Apoiando evidencias de observações anteriores para amido da semente de jaboticaba (Miranda *et al.*, 2023), da semente da maçã vermelha malaia (Santos *et al.*, 2024) e da semente de abacate (Esquivel-Fajardo *et al.*, 2022). Observa-se ainda que a temperatura utilizada no processo de secagem em leito de jorro não teve um impacto significativo na estrutura cristalina do amido ($p > 0,05$), cuja cristalinidade relativa variou de 23,29% (AS80) a 24,27% (AS50). Portanto, conforme indicado por Ferreira *et al.* (2019), que relataram uma fração cristalina de 28% para o amido da semente de manga, o amido nativo da semente de abacate é semicristalino, independentemente da temperatura aplicada durante o processo de secagem.

Figura 5 - Padrões de difração de raios-X (A) e espectros de FTIR (B) do amido nativo da semente de abacate obtido por secagem em leito de jorro nas temperaturas de 50, 60 70 e 80 °C.





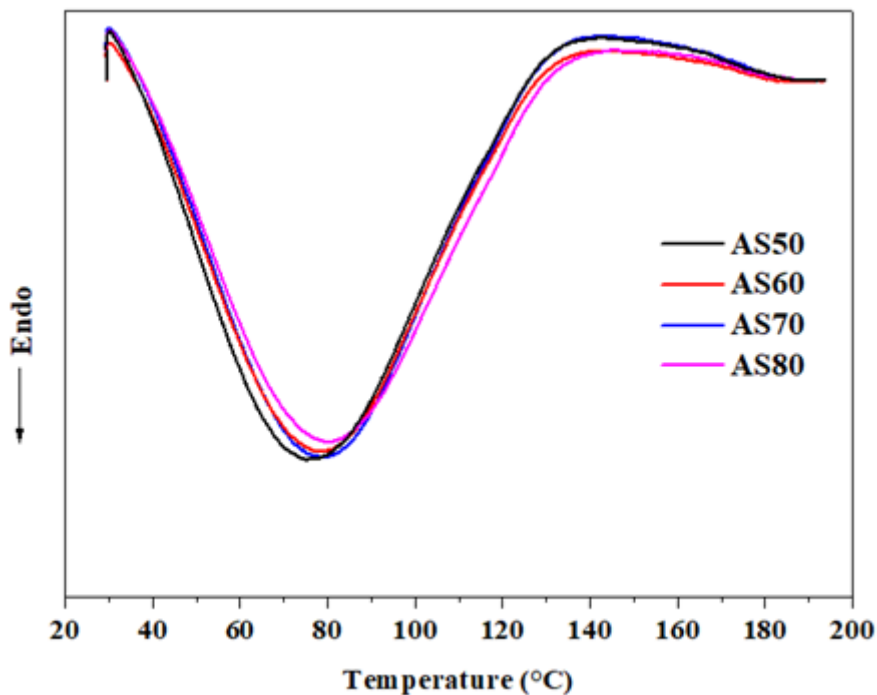
Os espectros de FTIR do amido da semente de abacate, obtido nas diferentes temperaturas de secagem, são apresentados na Figura 5B. Pode-se observar que todas as amostras apresentaram picos de absorção em 995, 1068, 1150, 1639, 2931 e 3300 cm^{-1} . Notavelmente, a temperatura de secagem não teve efeito para formação de novos grupos funcionais, apenas observa-se que a intensidade dos picos de absorção dos amidos diminuiu com aumento dos gradientes de temperatura, indicando segundo Wei *et al.* (2022) um enfraquecimento das cadeias de amido. As bandas de absorbância entre 929-1080 cm^{-1} são atribuídas a interações água-amilose indicando curvatura C-OH e modos relacionados ao CH_2 , enquanto 1150 cm^{-1} foram atribuídos a C-C e alongamento de C-O, bem como a contribuição de grupos C-OH (Li *et al.*, 2024).

A banda de absorbância em 2931 cm^{-1} é gerada pela vibração de estiramento CH, e o pico em 1639 cm^{-1} está associado à vibração de flexão H-O (Almeida *et al.*, 2024). Uma larga faixa entre 3800-3000 cm^{-1} dos espectros é associada a vibrações de estiramento dos grupos hidroxila (-OH), dependendo do teor de água da amostra, a intensidade desta banda é alterada (Kaczmarska *et al.*, 2018). De fato, amostras como menor teor de água (AS70 e AS80, Tabela 1) apresentaram intensidades de pico mais baixas.

3.8 Propriedades térmicas (DSC)

Compreender as propriedades térmicas dos amidos é essencial para definir suas potenciais aplicações, uma vez que as alterações que ocorrem durante a destruição da estrutura cristalina dos grânulos sob aquecimento revelam as suas características térmicas (Miranda *et al.*, 2023). Dessa forma, as temperaturas (T_o , T_p , T_c) de gelatinização e a entalpia de gelatinização (ΔH) são mostrados na Tabela 3 e os termogramas na Figura 6. Foi possível observar na Tabela 3, que a medida que houve um aumento na temperatura de secagem de 50 para 80 °C, um aumento significativo nas temperaturas (T_o , T_p , T_c) foi percebido ($p < 0,05$). Apresentando valores de T_o variando de 30,01 °C (AS50) a 31,73 °C (AS80), segundo Wang *et al.* (2021) esse aumento pode ser atribuído ao fato de que a secagem a temperaturas mais altas reduz o teor de água residual dos grânulos de amido, tornando-os menos propensos a iniciar a desorganização estrutural; T_p em torno de 75,78 °C (AS50) e 79,56 °C (AS80), sugerindo que a estrutura dos grânulos de amido se tornou mais resistente ao calor devido à secagem a temperaturas elevadas (como no caso, 80 °C). Valores de T_p próximos ao do presente estudo foi relatado por Torre-Gutiérrez *et al.* (2008) para amido de banana (79,8 °C). Por fim, os valores de T_c apresentaram valores entre 134,05 °C (AS50) a 137,17 °C (AS80), refletindo sua alta estabilidade térmica. Valores de T_c superiores a 100 °C também foram relatados por Builders *et al.* (2010) para amido da semente de abacate com valor de 101,50 °C. Sugerindo que o amido da semente de abacate requer temperaturas elevadas para a completa gelatinização, refletindo sua resistência térmica e integridade estrutural em condições de calor. Notavelmente, os amidos da semente de abacate (AS50, AS60, AS70 e AS80) apresentaram altas temperaturas de gelatinização, com um pico endotérmico maior que 70 °C e uma T_c igual a 137,17 °C, porém, é necessária uma baixa T_o para provocar uma desorganização estrutural nos grânulos do amido. Segundo Wang *et al.* (2022) essas características são indicativos que o amido obtido no presente estudo pode ser utilizado na produção de amido resistente.

Figura 6. Termogramas de DSC do amido de semente de abacate seco em leito de jorro.



A entalpia de gelatinização (ΔH) está relacionada à estrutura cristalina da região cristalina e à estrutura de dupla hélice da amilose da região amorfa e representa a energia de dissociação da estrutura de dupla hélice (Cao *et al.*, 2022). A ΔH para o amido da semente de abacate obtido por secagem em leito de jorro (Tabela 3) foi de 14,18 (AS50) a 15,49 J/g (AS80) ($p < 0,05$). Valores inferiores ao do presente estudo foram obtidos para o amido de quinoa (6,79 J/g) por Cao *et al.* (2022) e amido de nêspera (11,31 J/g) por Kong *et al.* (2023). Curiosamente, as amostras com menor valor de cristalinidade relativa apresentaram a menor entalpia de gelatinização. Uma vez que, as ligações intermoleculares são mais fracas e menos organizadas, resultando em uma menor necessidade de energia térmica para provocar a gelatinização (Cao *et al.*, 2022). Comportamento este também observado por Genkina *et al.* (2007) para amido de milho, batata, trigo e cevada.

4 Conclusões

Este trabalho desenvolveu uma rota simples, eficiente e racional para secagem de pastas de amido de semente de abacate em leito de jorro, com rendimento superior a 50% e atividade de água menor que 0,52. Os resultados, indicaram que a temperatura de secagem não teve impacto significativo ($p > 0,05$) nas propriedades físico-química e funcionais do amido, no entanto, o processo conduzido a 70 °C (AS70) proporcionou

amido de semente de abacate com maior conteúdo de amido (60,9 g/100g), amilose (31,84g/100g) e poder de inchaçamento (58,13 g/100g). Além disso, todas as amostras apresentaram boas características de fluxo, com grânulos de superfície lisa, oval e parcialmente arredondados (101,67-130,68 μm). Independente da temperatura do processo de secagem, as propriedades de textura dos géis e a cristalinidade relativa não foram afetadas ($p>0,05$), sendo o amido da semente de abacate classificado como polimorfo típico do tipo B, e nenhum novo grupo funcional foi identificado na análise de FTIR. Por fim, as altas temperaturas de conclusão ($>130\text{ }^\circ\text{C}$) e entalpia de gelatinização (14,18-15,49 J/g) demonstram a alta funcionalidade do amido da semente de abacate para uso no desenvolvimento de alimentos à base de amido.

Referências

A.O.A.C. (2016). *Official methods of analysis of AOAC International (20th ed.)*. Rockville, Maryland, USA: AOAC international.

Abelti, A. L., Teka, T. A., & Bultosa, G. (2024). Structural and physicochemical characterization of starch from water lily (*Nymphaea lotus*) for food and non-food applications. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 7, 100458. Doi: 10.1016/j.carpta.2024.100458.

Abu, J. O., Duodu, K. G., & Minnaar, A. (2006). Effect of γ -irradiation on some physicochemical and thermal properties of cowpea (*Vigna unguiculata L. Walp*) starch. *Food Chemistry*, 95(1), 386–393. Doi: 10.1016/j.foodchem.2005.01.008

Adebowale, K. O., Owolabi, B. I. O., Olawumi, E. K., & Lawal, O. S. (2005). Functional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpus artilis*) starch. *Industrial Crops and Products*, 21(3), 343-351. Doi: 10.1016/j.indcrop.2004.05.002.

Almeida, R. L. J., Pereira, T. S., Freire, V. A., Santiago, A. M., Oliveira, H. M. L., Conrado, L. S., & de Gusmão, R. P. (2019). Influence of enzymatic hydrolysis on the properties of red rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141, 1210-1219. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.09.072.

Almeida, R. L. J., Santos, N. C., dos Santos Pereira, T., Monteiro, S. S., da Silva, L. R. I., da Silva Eduardo, R., & dos Santos, E. S. (2022). Extraction and modification of Achachairu's seed (*Garcinia humilis*) starch using high-intensity low-frequency ultrasound. *Journal of Food Process Engineering*, 45(5), e14022. Doi: 10.1111/jfpe.14022

Almeida, R. L. J., Santos, N. C., Morais, J. R. F., Mota, M. M. A., Eduardo, R. S., Muniz, C. E. S., Cavalcante, J. A., da Costa, G. A., Silva, R. A., de Oliveira, B. F., Negreiros, J. K. S., da Silva, P. B., Albuquerque, J. C., de Figueiredo, M. J., & Lima, S. E. R. (2024). Effect of freezing rates on α -amylase enzymatic susceptibility, in vitro digestibility, and technological properties of starch microparticles. *Food Chemistry*, 453, 139688. Doi: 10.1016/j.foodchem.2024.139688.

Asokapandian, S., Venkatachalam, S., Swamy, G. J., & Kuppusamy, K. (2016). Optimization of foaming properties and foam mat drying of muskmelon using soy protein. *Journal of Food Process Engineering*, 39(6), 692-701. Doi: 10.1111/jfpe.12261

Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis, 16 ed. Arlington: AOAC, 2005.

Beuchat, L. R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2), 258-261. Doi: 10.1021/jf60210a044

Bharti, I., Singh, S., & Saxena, D. C. (2019). Influence of alkali treatment on physicochemical, pasting, morphological and structural properties of mango kernel starches derived from Indian cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 203-212. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.034.

Bhuyan, D. J., Alsherbiny, M. A., Perera, S., Low, M., Basu, A., Devi, O. A., Barooah, M. S., Li, C. G., & Papoutsis, K. (2019). The Odyssey of Bioactive Compounds in Avocado (*Persea americana*) and Their Health Benefits. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 8(10), 426. Doi: 10.3390/antiox8100426

Bolaños, M., Sukunza, X., Tellabide, M., Estiati, I., Altzibar, H., Arabiourrutia, M., & Olazar, M. (2024). Spout geometry of fine particle conical spouted beds equipped with internal devices. *Powder Technology*, 119788. Doi: 10.1016/j.powtec.2024.119788

Builders, P. F., Nnurum, A., Mbah, C. C., Attama, A. A., & Manek, R. (2010). The physicochemical and binder properties of starch from (*Persea americana* Miller) (Lauraceae). *Starch/Stärke*, 62, 309–320. Doi: 10.1002/star.200900222

Cao, H., Sun, R., Liu, Y., Wang, X., Guan, X., Huang, K., & Zhang, Y. (2022). Appropriate microwave improved the texture properties of quinoa due to starch gelatinization from the destructed cyptomere structure. *Food Chemistry*, 14, 100347. Doi: 10.1016/j.fochx.2022.100347.

Caparino, O. A., Tang, J., Nindo, C. I., Sablani, S. S., Powers, J. R., & Fellman, J. K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 135-148. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010.

Castro, D. S., Moreira, I. S., Silva, L. M. M., Lima, J. P., Silva, W. P., Gomes, J. P., & Figueirêdo, R. M. F. (2019). Isolation and characterization of starch from pitomba endocarp, *Food Research International*, 124, 181-187. Doi: 10.1016/j.foodres.2018.06.032.

Chen, L., Tong, Q., Ren, F., & Zhu, G. (2014). Pasting and rheological properties of rice starch as affected by pullulan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 66, 325-331. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2014.02.052.

Correia, P., & Beirão-da-Costa, M. L. (2012). Effect of drying temperatures on starch related functional and thermal properties of chestnut flours. *Food and Bioprocess Processing*, 90(2), 284-294. Doi: 10.1016/j.fbp.2011.06.008

Costa, R. G., Andreola, K., de Andrade Mattietto, R., de Faria, L. J. G., & Taranto, O. P. (2015). Effect of operating conditions on the yield and quality of açai (*Euterpe oleracea*

Mart.) powder produced in spouted bed. *LWT-Food Science and Technology*, 64(2), 1196-1203. Doi: 10.1016/j.lwt.2015.07.027

Dantas, D., Pasquali, M. A., Cavalcanti-Mata, M., Duarte, M. E., & Lisboa, H. M. (2018). Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. *Food Chemistry*, 266, 284–291. Doi: 10.1016/j.foodchem.2018.06.016

Demirkol, M., & Tarakci, Z. (2018). Effect of grape (*Vitis labrusca* L.) pomace dried by different methods on physicochemical, microbiological and bioactive properties of yoghurt. *LWT*, 97, 770-777. Doi: 10.1016/j.lwt.2018.07.058.

Díaz, M., & Rossini, C. (2012). Bioactive natural products from Sapindaceae deterrent and toxic metabolites against insects. *Insecticides–Pest Engineering*, 287-308. Doi: 10.5772/29830

Dreher, M. L., & Davenport, A. J. (2013). Hass Avocado Composition and Potential Health Effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(7), 738-750. Doi: 10.1080/10408398.2011.556759

Edwards, R. H., Berrios, J. D. J., Mossman, A. P., Takeoka, G. R., Wood, D. F., & Mackey, B. E. (1998). Texture of jet cooked, high amylose corn starch-sucrose gels. *LWT-Food Science and Technology*, 31(5), 432-438. Doi: 10.1006/fstl.1998.0398

Esquivel-Fajardo, E. A., Martínez-Ascencio, E. U., Oseguera-Toledo, M. E., Londoño-Restrepo, S. M., & Rodríguez-García, M. E. (2022). Influence of physicochemical changes of the avocado starch throughout its pasting profile: Combined extraction. *Carbohydrate Polymers*, 281, 119048. Doi: 10.1016/j.carbpol.2021.119048

Fan, S., Qi, Y., Shi, L., Giovani, M., Zaki, N. A. A., Guo, S., & Suleria, H. A. R. (2022). Screening of Phenolic Compounds in Rejected Avocado and Determination of Their Antioxidant Potential. *Processes*, 10(9), 1747. Doi: 10.3390/pr10091747

Ferraz, C. A., Fontes, R. L., Fontes-Sant'Ana, G. C., Calado, V., López, E. O., & Rocha-Leão, M. H. (2019). Extraction, modification, and chemical, thermal and morphological

characterization of starch from the agro-industrial residue of mango (*Mangifera indica* L) var. Ubá. *Starch-Stärke*, 71(1-2), 1800023. <https://doi.org/10.1002/star.201800023>

Ferreira, S., Araujo, T., Souza, N., Rodrigues, L., Lisboa, H. M., Pasquali, M., & Rocha, A. P. (2019). Physicochemical, morphological and antioxidant properties of spray-dried mango kernel starch. *Journal of Agriculture and Food Research*, 1, 100012. Doi: 10.1016/j.jafr.2019.100012

García, I. S., Fernández, E. H., Fernandez, J. J. G., Hormaza, J. I., Pedreschi, R., Rodríguez, P. R., González, M. F., García, L. O., & Pancorbo, A. C. (2022). Prolonged on-tree maturation vs. cold storage of Hass avocado fruit: Changes in metabolites of bioactive interest at edible ripeness. *Food Chemistry*, 394, 133447. Doi: 10.1016/j.foodchem.2022.133447

Genkina, N. K., Wikman, J., Bertoft, E., & Yuryev, V. P. (2007). Effects of structural imperfection on gelatinization characteristics of amylopectin starches with A-and B-type crystallinity. *Biomacromolecules*, 8(7), 2329-2335. Doi: 10.1021/bm070349f

Guerrero, L. C., Martín, E. B., Antonio, A. M., Mondragón, E. G., & Ancona, D. B. (2016). Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 86, 302-308. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.01.052.

Hedayati, S., Shahidi, F., Majzoobi, M., Koocheki, A., & Farahnaky, A. (2020). Structural, rheological, pasting and textural properties of granular cold water swelling maize starch: Effect of NaCl and CaCl₂. *Carbohydrate Polymers*, 242, 1–8, 116406. Doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116406

Huang, J. F. M., Li, K. B., Xu, X., & Xie, B. J. (2007). Characters of rice starch gel modified by gellan, carrageenan, and glucomannan: A texture profile analysis study. *Carbohydrate Polymers*, 69(3), 411-418. Doi: 10.1016/j.carbpol.2006.12.025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Quantidade produzida de abacate em 2022*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/abacate/br>. Acesso em: 09 abril de 2024.

Irrazabal, M. D. S., Tixe, E. E. R., Barreto, F. F. V., & Pérez, L. A. B. (2023). Avocado seed starch: Effect of the variety on molecular, physicochemical, and digestibility characteristics. *International Journal of Biological Macromolecules*, 247, 125746, Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125746.

Kaur, L., Dhull, S. B., Kumar, P., & Singh, A. (2020). Banana starch: properties, description, and modified variations - a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2096-2102. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.058

Kaur, M., Singh, N., Sandhu, K. S., & Guraya, H. S. (2004). Physicochemical, morphological, thermal and rheological properties of starches separated from kernels of some Indian mango cultivars (*Mangifera indica* L.). *Food Chemistry*, 85(1), 131-140. Doi: 10.1016/j.foodchem.2003.06.013.

Kong, X., Yang, W., Zuo, Y., Dawood, M., & He, Z. (2023). Characteristics of physicochemical properties, structure and in vitro digestibility of seed starches from five loquat cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253(2), 126675. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.126675.

Kringel, D. H., Dias, A. R. G., Zavareze, E. R., & Gandra, E. A. (2020). Fruit wastes as promising sources of starch: extraction, properties, and applications. *Starch/Staerke*, 72, 1-9. Doi: 10.1002/star.201900200

Leandro, G. C., Laroque, D. A., Monteiro, A. R., Carciofi, B. A. M., & Valencia, G. A. (2024). Current status and perspectives of starch powders modified by cold plasma: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 32(2), 510-523. Doi: 10.1007/s10924-023-03027-1

Lee, S. W., & Rhee, C. (2007). Effect of heating condition and starch concentration on the structure and properties of freeze-dried rice starch paste. *Food research international*, 40(2), 215-223. Doi: 10.1016/j.foodres.2006.05.005

León, R. J. E., Huchin, V. M. M., Soberanis, C. R. R., Ancona, D. B., Hernández, L. H. M., Sánchez, F. A. C., Uc, J. M. C., & Pacheco, E. P. (2016). The effect of isolation method on properties of parota (*Enterolobium cyclocarpum*) starch. *Food Hydrocolloids*, 57, 1-9. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.01.008.

Li, L., Pan, H., Chen, J., Cao, W., Liu, W., Duan, X., Ren, G. G. (2022). Infrared-assisted spouted bed drying of Chinese yam cubes: Effect of constant and variable temperature drying processes on drying behavior, uniformity and quality attributes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(6), 2815-2823. Doi: 10.1002/jsfa.12416

Li, S., Zhang, L., Sheng, Q., Li, P., Zhao, W., Zhang, A., & Liu, J. (2024). The effect of heat moisture treatment times on physicochemical and digestibility properties of adzuki bean, pea, and white kidney bean flours and starches. *Food Chemistry*, 440, 138228. Doi: 10.1016/j.foodchem.2023.138228.

Li, T. S., Sulaiman, R., Rukayadi, Y., & Ramli, S. (2020). Effect of gum Arabic concentrations on foam properties, drying kinetics and physicochemical properties of foam mat drying of cantaloupe. *Food Hydrocolloids*, 116, 1–36. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.106492.

Lu, S., Chen, J., Chen, Y., Lii, C., Lai, P., & Chen, H. (2011). Water mobility, rheological and textural properties of rice starch gel. *Journal of Cereal Science*, 53, 31-36. Doi: 10.1016/J.JCS.2010.08.006.

Magel, E. (1991). Qualitative and quantitative determination of starch by a colorimetric method. *Starch-Stärke*, 43(10), 384-387. Doi: 10.1002/star.19910431003

Marboh, V., & Mahanta, C. L. (2023). Rheological and textural properties of sohphlang (*Flemingia vestita*) starch gels as affected by heat moisture treatment and annealing. *Food Chemistry Advances*, 3, 100542. Doi: 10.1016/j.focha.2023.100542.

Martins, J. J. A., Marques, J. I., Santos, D. D. C., & Rocha, A. P. T. (2014). Modelagem matemática da secagem de cascas de mulungu. *Bioscience Journal*, 30(6), 1652-1660.

Martins, S. H. F., Pontes, K. V., Fialho, R. L., & Fakhouri, F. M. (2022). Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana mill*) for future applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100303. Doi: 10.1016/j.jafr.2022.100303.

Miranda, B. M., Almeida, V. O., Terstegen, T., Hundschell, C., Flöter, E., Silva, F. A., & Ulbrich, M. (2023). The microstructure of the starch from the underutilized seed of jaboticaba (*Plinia cauliflora*). *Food Chemistry*, 423, 136145. Doi: 10.1016/j.foodchem.2023.136145

Nabi, B. G., Mukhtar, K., Ansar, S., Hassan, S. A., Hafeez, M. A., Bhat, Z. F., & Aadil, R. M. (2024). Application of ultrasound technology for the effective management of waste from fruit and vegetable. *Ultrasonics Sonochemistry*, 102, 106744. Doi: 10.1016/j.ulstsench.2023.106744

Noris, A. K. A. M., Millan, J. B. L. R., Moreno, C.C. R., & Sernasaldivar, S. O. (2017). Physicochemical, functional properties and digestion of isolated starches from pigmented chickpea (*Cicer arietinum L.*) cultivars. *Starch/Stärke*, 69(5-6), 1-11, 1600152. Doi: 10.1002/star.201600152

Oyeyinka, S. A., & Oyeyinka, A. T. (2018). A review on isolation, composition, physicochemical properties and modification of Bambara groundnut starch. *Food Hydrocolloids*, 75, 62-71. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.09.012.

Pachua, L., Dutta, R. S., Roy, P. K., Kalita, P., & Lalhlemawia, H. (2017). Physicochemical and disintegrant properties of glutinous rice starch of Mizoram, India. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, 1298-1304. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.11.029.

Paramasivam, S. K., Saravanan, A., Narayanan, S., Shiva, K. N., Ravi, I., Mayilvaganan, M., Pushpa, R., & Uma, S. (2021) Exploring differences in the physicochemical, functional, structural, and pasting properties of banana starches from dessert, cooking, and plantain cultivars (*Musa* spp.). *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 1056-1067. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.09.172.

Paramasivam, S. K., Subramaniyan, P., Thayumanavan, S., Shiva, K. N., Narayanan, S., Raman, P., Subbaraya, U. (2023). Influence of chemical modifications on dynamic rheological behaviour, thermal techno-functionalities, morpho-structural characteristics and prebiotic activity of banana starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 249, 126125. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.126125.

Pietrzyk, S.; Fortuna, T., Juszcak, L., Galkowska, D., Baczkowicz, M., Łabanowska, M., & Kurdziel, M. (2018). Influence of amylose content and oxidation level of potato starch on acetylation, granule structure and radicals' formation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 106(1), 57–67. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.07.177

Pongsawatmanit, R., & Srijunthongsiri, S. (2008). Influence of xanthan gum on rheological properties and freeze–thaw stability of tapioca starch. *Journal of Food Engineering*, 88(1), 137-143. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.02.009.

Reddy, C. K., Luan, F., & Xu, B. (2017). Morphology, crystallinity, pasting, thermal and quality characteristics of starches from adzuki bean (*Vigna angularis* L.) and edible kudzu (*Pueraria thomsonii* Benth). *International Journal of Biological Macromolecules*, 105(1), 354-362. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.07.052.

Ribeiro, V. H. D. A., Cavalcanti-Mata, M. E. R. M., Almeida, R. L. J., & Silva, V. M. D. A. (2023). Characterization and Evaluation of Heat–Moisture-Modified Black and Red Rice Starch: Physicochemical, Microstructural, and Functional Properties. *Foods*, 12(23), 4222. Doi: 10.3390/foods12234222

Sakirigui, A., Ladekan, E., Fagbohoun, L., Sika, K., Assogba, F., & Gbenou, J. D. (2020). Comparative phytochemical analysis and antimicrobial activity of extracts of seed and

leaf of *Persea americana* Mill. *Academia Journal of Medicinal Plants*, 8(5), 58–63. Doi: 10.15413/ajmp.2020.0114

Salazar-López, N. J., Avila, J. A. D., Yahia, E. M., Herrera, B. H. B., Medrano, A. W., González, E. M., & Aguilar, G. A. G. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 138, 109774. Doi: 10.1016/j.foodres.2020.109774

Santos, G. P., Miranda, B. M., Di-Medeiros, M. C., Almeida, V. O., Ferreira, R. D., de Morais, D. A., & Fernandes, K. F. (2024). The potential exploitation of the Malay-red apple (*Syzygium malaccense*) seed as source of a phosphorylated starch. *Carbohydrate Research*, 535, 109008. Doi:10.1016/j.carres.2023.109008

Santos, N. C., Almeida, R. L. J., Albuquerque, J. C., de Andrade, E. W. V., Gregório, M. G., Santos, R. M. S., de Almeida Mota, M. M. (2024). Optimization of ultrasound pre-treatment and the effect of different drying techniques on antioxidant capacity, bioaccessibility, structural and thermal properties of purple cabbage. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 201, 109801. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2024.109801>

Singla, D., Singh, A., Dhull, S. B., Kumar, P., Malik, T., & Kumar, P. (2020). Taro starch: isolation, morphology, modification and novel applications concern - a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 1283-1290. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.07.093

Sodhi, N. S., & Singh, N. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food Chemistry*, 80(1), 99-108. Doi: 10.1016/S0308-8146(02)00246-7.

Souza, J. C. A, Macena, J. F. F., Andrade, I. H. P., Camilloto, G. P., & Cruz, R. S. (2021). Functional characterization of mango seed starch (*Mangifera indica* L.). *Research, Society and Development*, 10(3), e30310310118. Doi: 10.33448/rsd-v10i3.10118.

Sukunza, X., Aguado, R., Pablos, A., Tellabide, M., Estiati, I., & Olazar, M. (2022). Mass transfer in conical spouted beds equipped with internal devices. *Powder Technology*, *410*, 117850. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117850>

Szafran, R. G., & Kmiec, A. (2004). CFD modeling of heat and mass transfer in a spouted bed dryer. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *43*(4), 1113-1124. Doi: 10.1021/ie0305824

Tangsrianugul, N., Wongsagonsup, R., & Suphantharika, M. (2019). Physicochemical and rheological properties of flour and starch from Thai pigmented rice cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, *137*, 666-675. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.06.196

Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2009). Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*, *29*(2), 444-450. Doi: 10.1590/S0101-20612009000200034

Torre-Gutiérrez, L., Chel-Guerrero, L. A., & Betancur-Ancona, D. (2008). Functional properties of square banana (*Musa balbisiana*) starch. *Food Chemistry*, *106*(3), 1138-1144. Doi: 10.1016/j.foodchem.2007.07.044

Tosif, M. M., Bains, A., Sadh, P. K., Sarangi, P. K., Kaushik, R., Burla, S. V. S., Chawla, P., & Sridhar, K. (2023). Loquat seed starch — Emerging source of non-conventional starch: Structure, properties, and novel applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, *244*, 125230. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125230.

Vinha, A. F., Sousa, C., Soares, M. O., & Barreira, S. V. P. (2020). Avocado and Its By-products: Natural Sources of Nutrients. Phytochemical Compounds and Functional Properties. *Current Research in Agricultural and Food Science*, *1*, 82–96. Doi: 10.9734/bpi/crafs/v1

Wang, J., Huang, J., Liang, Q., & Gao, Q. (2024). Effects of heat–moisture treatment on structural characteristics and in vitro digestibility of A-and B-type wheat starch.

International Journal of Biological Macromolecules, 256, 128012. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.128012

Wang, J., Li, Y., Jin, Z., & Cheng, Y. (2022). Physicochemical, Morphological, and Functional Properties of Starches Isolated from Avocado Seeds, a Potential Source for Resistant Starch. *Biomolecules*, 12(8), 1121. Doi: 10.3390/biom12081121.

Wang, J., Liu, T., Bian, X., Hua, Z., Chen, G., & Wu, X. (2021). Structural characterization and physicochemical properties of starch from four aquatic vegetable varieties in China. *International Journal of Biological Macromolecules*, 172, 542-549. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.01.078.

Wang, S., & Guo, P. (2020). *Starch structure, functionality and application in foods* (pp. 131-149). S. Wang (Ed.). Singapore: Springer.

Wang, W., Zhou, H., Yang, H., Zhao, S., Liu, Y., & Liu, R. (2017) Effects of salts on the gelatinization and retrogradation properties of maize starch and waxy maize starch. *Food Chemistry*, 214, 319-327. Doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.040.

Waterschoot, J., Gomand, S. V., & Delcour, J. A. (2016). Impact of swelling power and granule size on pasting of blends of potato, waxy rice and maize starches. *Food Hydrocolloids*, 52, 69-77. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2015.06.012

Wedamulla, N. E., Fan, M., Choi, Y. J., & Kim, E. K. (2023). Effect of pectin on printability and textural properties of potato starch 3D food printing gel during cold storage. *Food Hydrocolloids*, 137, 108362. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.108362.

Wells, J. I. (1988). *Pharmaceutical preformulation: The physicochemical properties of drug substances* (553 p.). E. Horwood.

Wen, Y., Yao, T., Xu, Y., Corke, H., & Sui, Z. (2020). Pasting, thermal and rheological properties of octenylsuccinylate modified starches from diverse small granule starches differing in amylose content. *Journal of Cereal Science*, 95, 103030. Doi: 10.1016/j.jcs.2020.103030.

Won, C., Jin, Y. I., Kim, M., Lee, Y., & Chang, Y. H. (2017). Structural and rheological properties of potato starch affected by degree of substitution by octenyl succinic anhydride. *International Journal of Food Properties*, 20, 3076-3089. Doi: 10.1080/10942912.2016.1272610

Yang, X., Pan, Y., Li, S., Li, C., & Li, E. (2022). Effects of amylose and amylopectin molecular structures on rheological, thermal and textural properties of soft cake batters. *Food Hydrocolloids*, 133, e107980. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.107980

Yaowiwat, N., Madmusa, N., & Yimsuwan, K. (2023). Potential of Thai aromatic fruit (*Artocarpus species*) seed as an alternative natural starch for compact powder. *International Journal of Biological Macromolecules*, 242(2), 124940. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124940.

Yong, H., & Liu, J. (2024). Recent advances on the preparation conditions, structural characteristics, physicochemical properties, functional properties and potential applications of dialdehyde starch: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129261. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.129261

Zhang, L., Zeng, X., Qiu, J., Du, J., Cao, X., Tang, X., Sun, Y., Li, S., Lei, T., Liu, S., & Lin, L. (2019). Spray-dried xylooligosaccharides carried by gum Arabic. *Industrial Crops and Products*, 135, 330-343. Doi: 10.1016/j.indcrop.2019.04.045.

Zhang, Y., Xu, F., Wang, Q., Zhang, Y., Wu, G., Tan, L., & Zhang, Z. (2016). Effects of moisture content on digestible fragments and molecular structures of high amylose jackfruit starch prepared by improved extrusion cooking technology. *Food Hydrocolloids*, 133, 108023. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.108023.

Zhu, D., Zhang, H., Guo, B., Xu, K., Dai, Q., Wei, C., Zhou, G., & Huo, Z. (2017). Physicochemical properties of indica-japonica hybrid rice starch from Chinese varieties, *Food Hydrocolloids*, 63, 356-363, Doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.09.013.

Zieglar, V., Ferreira, C. D., Silva, J., Zavareze, E. R., Días, A. R. G., Oliveira, M., & Elias, M. C. (2018). Heat-moisture treatment of oat grains and its effects on lipase activity and starch properties. *Starch/Stärke*, 70(1), 1-8. Doi: 10.1002/star.201700010

CAPÍTULO 5:

Artigo 2: Efeito sinérgico do tratamento com calor-umidade e pressão osmótica nas propriedades físico-químicas e térmicas do amido de semente de abacate cv. Breda

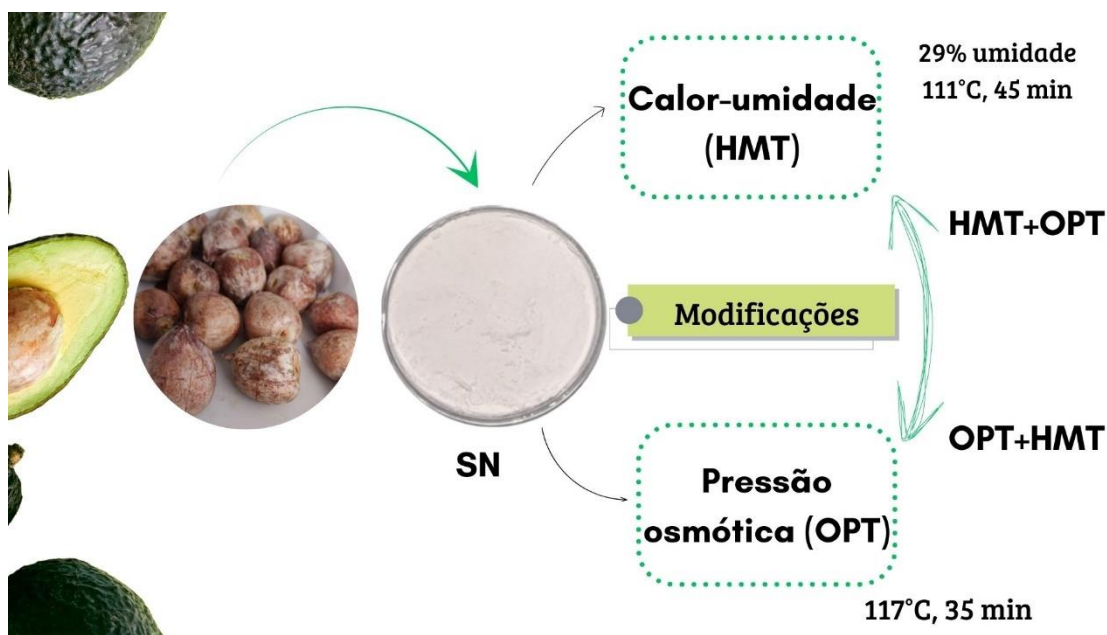
Efeito sinérgico do tratamento com calor-umidade e pressão osmótica nas propriedades físico-químicas e térmicas do amido de semente de abacate cv. Breda

Resumo

A semente de abacate (*Persea americana* Mill.) é uma fonte de amido sustentável e não convencional que constitui até 30% de amido, porém, o amido nativo (SN) tem características funcionais limitadas em aplicações alimentícias, e ao modifica-lo, suas características funcionais são aprimoradas. A partir disso, o processo de tratamento simples e duplo por calor-umidade (HMT) e pressão osmótica (OPT) surgem como uma alternativa de modificação física inovadora para aprimorar as propriedades do amido nativo. Logo, o efeito dos tratamentos foi investigado nas propriedades físico-químicas, texturais, morfológicas, estruturais e térmicas do amido modificado. Assim, foi observado que as modificações reduziram as propriedades físico-químicas e funcionais do amido, com destaque para o HMT que apresentou os maiores valores, exceto para o teor de amido e amilopectina. Houve um aumento no tamanho do grânulo, com aglomerações e formatos distorcidos, principalmente nas duplas modificações (HMT+OPT e OPT+HMT). O amido modificado foi classificado como tipo A, com cristalinidade (23,55%) para o tratamento OPT, além disso, o tratamento (OPT+HMT) apresentou maior intensidade de pico. Os espectros de FTIR indicaram que não houve formação de novos grupos funcionais, e foi notado bandas mais largas na região de 3300 cm^{-1} para as amostras HMT+OPT e OPT+HMT. Por fim, a modificação dupla (OPT+HMT) apresentaram valores mais elevados de temperatura de início, pico e de conclusão. Dessa forma, é evidente que esses métodos representam uma abordagem promissora para melhorar suas propriedades funcionais e estruturais, ampliando as possibilidades de aplicação industrial do amido modificado, mas também abrem caminho para novos desenvolvimentos na produção de alimentos e outras indústrias que demandam ingredientes funcionais de alta qualidade.

Palavras-chave: Modificação física, Tratamento térmico, Resíduos de frutas, Sulfato de sódio.

Resumo gráfico



1. Introdução

O abacate (*Persea americana* Mill.) é uma fruta sazonal, produzida nas regiões tropicais e subtropicais e consumida em todo o mundo (Santos *et al.*, 2022). Seu consumo está associado a uma dieta de maior qualidade, contribuindo para a saúde cardiovascular, controle do peso e envelhecimento saudável (Segovia-Siapco *et al.*, 2021). Devido esses benefícios, espera-se que o processamento industrial do abacate aumente de US\$ 1,70 bilhão em 2018 para US\$ 2,70 bilhões até 2024 (Aguilar *et al.*, 2021). Esse aumento na produção gera aproximadamente 2,42 milhões de toneladas de subprodutos, como cascas e sementes, que frequentemente são descartados de maneira inadequada no meio ambiente (Nyakang'I *et al.*, 2023). Segundo Gnain *et al.* (2023), a semente do abacate representa 13–18% do peso fresco do abacate, sendo composta principalmente de amido (66,3 %) (Tesfaye *et al.*, 2018).

O amido é um carboidrato complexo que compreende duas cadeias de glucanas diferentes ligadas por uma ligação glicosídica: amilose e amilopectina (Almeida *et al.*, 2019). A amilose é composta por uma cadeia linear de moléculas de glicose ligadas entre si por uma ligação α -1,4, alternativamente, a amilopectina consiste em cadeias ramificadas de moléculas de glicose ligadas entre si por ligação α -1,4 e ligação α -1,6 (Punia *et al.*, 2020). O amido extraído da semente de abacate pode substituir amidos comerciais, como os de milho, trigo e arroz utilizados nas diversas aplicações têxteis e alimentares (Martins *et al.*, 2022). No entanto, o amido nativo apresenta várias limitações

para ser amplamente utilizado em alimentos, como baixa estabilidade mecânica, térmica e ácida, baixa estabilidade de congelamento e descongelamento, além da formação de massas duras, pegajosas e pouco claras (Marta *et al.*, 2022; Marta *et al.*, 2022a). Para superar esses problemas, o amido é geralmente modificado antes de sua aplicação, utilizando métodos físicos, químicos e/ou enzimáticos (Almeida *et al.*, 2019; Almeida *et al.*, 2021; Almeida *et al.*, 2022). Nos últimos anos, tem-se preferido métodos que reduzam os impactos ambientais gerados pelas indústrias. Esses métodos envolvem tratamentos físicos térmicos e não térmicos, que são rápidos, ecologicamente aceitáveis e não geram subprodutos nocivos (Thirumdas *et al.*, 2017; Chang *et al.*, 2021).

Um desses métodos é o tratamento térmico de calor-úmido (HMT), um processo de modificação física onde o amido umedecido (<35 %) é aquecido acima da temperatura de transição vítrea, em temperaturas variando de 84 a 140°C, por cerca de 15 min a 16 h (Hoover, 2010). O HMT promove alterações no arranjo das cadeias de amilose e amilopectina dentro dos grânulos, resultando em mudanças no inchaço granular, cristalinidade, lixiviação de amilose, gelatinização, retrogradação, propriedades térmicas e propriedades de colagem (Hoover, 2010). Outro método de modificação física do amido é o tratamento por pressão osmótica (OPT). Este método envolve o aquecimento da pasta de amido em uma solução saturada de sulfato de sódio, o que aumenta a pressão osmótica e restringe o inchaço do amido. Os íons sulfato presentes na solução salina saturada reduzem a quantidade de água livre e inibem o inchaço, restringindo a gelatinização do amido (Pukkahuta *et al.*, 2007). A OPT é uma técnica de modificação relativamente nova, utilizada para efetuar mudanças nas interações das cadeias do amido, no inchaço dos grânulos, lixiviação de amilose, viscosidade e retrogradação (Karmakar *et al.*, 2014).

A modificação dupla do amido é empregada para alterar ainda mais as propriedades do amido modificado individualmente, utilizando métodos de modificação iguais ou diferentes. É comum encontrar estudos que combinam o HMT com outros métodos de modificação química e física (Almeida *et al.*, 2024; Kumar *et al.*, 2023; Oktay *et al.*, 2024; Paramasivam *et al.*, 2023). No entanto, o impacto do OPT e do HMT como um processo combinado nas propriedades físico-químicas do amido de semente de abacate ainda não foi estudado. Portanto, este estudo investiga a possibilidade de modificar o amido da semente de abacate por meio de modificação única com HMT e OPT, bem como modificações duplas, avaliando o impacto dessas modificações nas propriedades físico-químicas, texturais, morfológicas, estruturais e térmicas do amido.

2 Material e métodos

2.1 Matéria prima

Abacates maduros da variedade Breda (*Persea americana* Mill.), foram adquiridos na Central de Abastecimento e Serviços Agrícolas (CEASA), Campina Grande-PB, Brasil no ano de 2023. Os frutos foram sanitizados com uma solução de hipoclorito de sódio contendo 200 mg/L de cloro livre, deixando-os imersos por 15 min, seguido de enxágue com água corrente. Após isso, os frutos foram despulpados manualmente e suas partes (polpa, sementes e cascas) foram separadas e armazenadas em freezer (-20 °C), para uso posterior.

2.2 Extração do amido e secagem da pasta

A extração do amido da semente de abacate foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Adebawale *et al.* (2005) com adaptações. Resumidamente, as sementes foram cortadas em pedaços de aproximadamente 1 cm³ e depois submersas em solução de metabissulfito de sódio a 0,5 % por 24 h à 5 °C em um refrigerador (Brastemp) na proporção de 100 g da semente de abacate para 200 ml da solução de metabissulfito (1:2 p/v). Após esse período as sementes foram moídas com a solução por um período de 5 min usando um liquidificador industrial. Posteriormente, a mistura resultante foi filtrada em malha de organza para separar o amido. A suspensão de amido foi decantada por 12 h em ambiente refrigerado a 5 °C. Após a primeira decantação, a suspensão teve seu sobrenadante descartado e o precipitado foi resuspenso em água destilada e decantado novamente por 12 h. O sobrenadante foi descartado seis vezes em intervalos de 12 h, com adição de 200 mL de água destilada em cada vez, e submetido ao armazenamento na temperatura de 5 °C. Este processo de extração resultou na preparação de uma suspensão de amido que foi utilizada na etapa de secagem.

A pasta de amido foi submetida a etapa de secagem em leito de jorro (FBD 1.0, LabMaq, São Paulo, Brasil) com velocidade do ar constante (8,5 m/s), vazão de alimentação da suspensão 4,6 ml/min, pressão de atomização igual a 2 bar e temperatura igual a 70 °C. Utilizou-se 1200 g de partículas de polietileno de alta densidade (HDPE) e a alimentação foi mantida sob agitação contínua em agitador magnético. Por último, as partículas secas obtidas foram coletadas no ciclone acoplado a coluna de secagem, pesadas e depois seladas em embalagens metalizadas flexíveis e armazenadas (não mais que 1 mês) em dessecador a 25 °C até as modificações posteriores.

2.3 Modificação por HMT e OPT

Após a etapa de secagem, o amido nativo da semente de abacate (SN) foi submetido ao processo de modificação por HMT e OPT de forma isolada e combinada, e esses métodos de modificação seguiu conforme relatado por Gayary *et al.* (2024), no qual são descritos a seguir.

Para a modificação por HMT, o teor de água final do SN (100 g) foi ajustado para 29% pela adição de água. O amido umedecido foi equilibrado durante a noite antes de ser aquecido em estufa com circulação forçada de ar (Fanem, modelo 320, Brasil) a 111 °C por 45 min e seco a 40 °C por 24 h (Gayary *et al.*, 2024). O amido seco foi triturado em um moinho, peneirado em peneira (60 mesh) e acondicionado em recipiente de vidro hermético e mantido em geladeira (5 °C) até análise posterior. Na modificação por OPT, 100 g de amostra de SN foram misturados com 200 mL de solução saturada de sulfato de sódio. Após isso, a mistura foi aquecida em um equipamento (Bimby Thermomix) a 117 °C durante 35 min. As amostras de amido foram lavadas várias vezes com água destilada e centrifugadas (3000 rpm, 15 min a 25 °C) após cada lavagem para remover o sal residual. A presença de resíduo de sal foi testada com solução de cloreto de bário 0,1 M. O sedimento de amido foi seco em estufa com circulação forçada de ar (Fanem, modelo 320, Brasil) a 40 °C por 24 h, triturado em moinho, peneirado em peneira (60 mesh), acondicionado em recipiente de vidro hermético e mantido em geladeira (5 °C) até análise posterior.

2.3.1 Identificação das amostras

As amostras de amido da semente de abacate nativo e modificado receberam as seguintes codificações: SN - amido nativo da semente de abacate; HMT - amido modificado por calor-umidade; OPT - amido modificado por pressão osmótica; HMT+OPT - amido que primeiro recebeu aplicação de calor-umidade e depois o tratamento por pressão osmótica; OPT+HMT - amido que primeiro recebeu o tratamento por pressão osmótica e depois a aplicação de calor-umidade.

2.4 Caracterização físico-química e funcional das amostras de amido nativo e modificado

2.4.1 Teor de amido, amilose e amilopectina

O teor de amido foi determinado de acordo com a metodologia estabelecida pela A.O.A.C. (2016), que se baseia na quantificação em 620 nm do composto formado pela reação entre antrona e glicose. Com relação ao teor de amilose foi quantificado utilizando método proposto por Magel (1991). Para isso, o amido (10,0 mg) foi adicionado a 2 ml de dimetilsulfóxido e depois aquecido a 85 °C durante 15 min. O volume da solução foi completado para 25 ml, em seguida pipetou-se 1 ml da solução de amido para um balão volumétrico de 50 ml, seguido da adição de 5 ml de solução de iodo e completou-se para 50 ml. A absorbância da amostra foi determinada a um comprimento de onda de 620 nm. Já para o teor de amilopectina das amostras foi calculado pela diferença entre os valores de amido e amilose.

2.4.2 Capacidade de absorção de água, óleo e leite

A determinação da capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) seguiu o método de Beuchat (1977), onde foi utilizado 1 g de amido com 10 mL de água destilada ou óleo de girassol. A suspensão foi homogeneizada por 30 segundos e deixada em repouso por 30 min. Em seguida, as amostras foram centrifugadas (KASVI, K14-5000 M) por 15 min a 2.000 xg. Para o leite, o amido (2,5 g) foi adicionado a 30 mL de leite a 25 ± 2 °C por 30 min e depois centrifugado a 2.000xg por 15 min (KASVI, K14-5000 M). Imediatamente após o processo de centrifugação, o sobrenadante foi transferido para uma placa de Petri de massa conhecida. A capacidade de absorção do leite (CAL), que corresponde à massa do gel obtido após a retirada do sobrenadante foi calculado.

2.4.3 Poder de intumescimento (SP) e solubilidade

O poder de intumescimento (PI) e a solubilidade das amostras foram avaliados seguindo um método adaptado de Tangsrianugul *et al.* (2019). Amostras (0,25 g) foram misturadas com 25 mL de água destilada e incubadas em banho-maria a 90 °C por 30 min, com agitação suave. Após o aquecimento, as amostras foram resfriadas até a temperatura ambiente e centrifugadas a 300 xg por 15 min. O sobrenadante foi transferido para uma placa de Petri e seco a 105 °C até peso constante. A fração de sedimento úmido foi pesada para determinar o poder de intumescimento. O PI foi calculado como a razão entre o peso da amostra de sedimento úmido e o peso da amostra original, já a solubilidade foi calculada como a percentagem de peso seco de moléculas solúveis no sobrenadante em relação ao peso das amostras originais.

2.4.4 Sinérese

A suspensão de amido (5% p/p) foi aquecida a 90 °C por 30 min em um banho de água com temperatura controlada, seguida de resfriamento rápido em um banho de água gelada até atingir a temperatura ambiente (25 °C). Após isso, uma amostra de amido foi armazenada a 4 °C por 48, 72, 96 e 168 h. A sinérese, que representa a quantidade de água liberada após centrifugação a 5.000 rpm por 15 min, foi medida em porcentagem, conforme descrito no método proposto por Sodhi e Singh (2003).

2.5 Perfil instrumental de textura

Para realização da análise do perfil de textura dos géis de amido, no qual, foram determinados os parâmetros de firmeza, elasticidade, adesividade, coesividade e gomosidade utilizando o método de Análise de Perfil de Textura (TPA), conforme descrito por (Marboh e Mahanta, 2023). Para isso, as suspensões de amido foram preparadas misturando amido e água na proporção de 1:10 (p/v). Em seguida, as suspensões foram aquecidas a 80 ± 2 °C até formar uma pasta, o que geralmente ocorre em aproximadamente 30 min. Após isso, as amostras foram refrigeradas a 8 °C por 24 h (BRM44, Brastemp, Brasil) e deixadas atingir a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) antes de serem submetidas à análise de textura.

2.6 Propriedades morfológicas, estruturais e térmicas

2.6.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia da superfície das partículas de amido nativo e modificado foi avaliada por MEV utilizando um microscópio eletrônico de varredura (VEGA3 TESCAN, Massachusetts, EUA), operado a 5 kV e com ampliações de 500x, não sendo necessário nenhum revestimento. Para determinação do diâmetro médio das partículas, o software ImageJ (disponível em: <https://imagej.net/>) foi utilizado realizando-se no mínimo dez medições.

2.7 Difração de raio-X (DRX) e cristalinidade relativa (RC)

Os padrões de raios X das amostras foram determinados por um difratômetro de raios X (Shimadzu-XRD-7000) a 80 mA e 40 kV. A varredura foi realizada com um passo de $0,02^\circ$ e um tempo de contagem de 2 segundos, do 5° ao 60° , em temperatura ambiente. A função de resposta gaussiana foi utilizada para convolucionar o difratograma e revelar

a área amorfa, permitindo determinar a cristalinidade das amostras pelo método da área, usando a Equação 1.

$$RC (\%) = \frac{T_a - A_{fa}}{T_a} \times 100 \quad (1)$$

Onde: RC é a cristalinidade relativa, T_a é a área total, e A_{fa} é a área da fração amorfa (g).

2.8 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR)

Um espectro de FT-IR (Bruker) foi utilizado para coletar espectros na faixa de número de onda de 400–4000 cm^{-1} de todas as amostras, usando uma resolução de 4 cm^{-1} e 32 varreduras. Os espectros foram corrigidos da linha de base e normalizados na faixa de 0 a 1 para remover a contribuição do ruído de fundo, interferência causada pela dispersão de radiação ou certos sinais de fluorescência intrínsecos das amostras.

2.9 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

As propriedades térmicas do amido foram determinadas utilizando um calorímetro diferencial de varredura (2920 Modulated DSC, TA Instruments, New Castle, Del., EUA). Para isso, 3,0 mg da amostra de amido e 6,0 mg de água deionizada foram adicionados a um cadinho de alumínio e comprimidos. A mistura de amido e água foi equilibrada à temperatura ambiente por 24 h. Para todas as execuções de DSC, um cadinho de alumínio vazio e cheio foi usado como controle. A amostra foi então aquecida aumentando a temperatura. A faixa de temperatura de varredura foi de 25 a 190 $^{\circ}\text{C}$, e a taxa de aquecimento foi de 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$. A medição foi realizada sob nitrogênio de ultra-alta pureza (Cong *et al.*, 2024). A temperatura inicial (T_0), a temperatura de pico (T_p), a temperatura de conclusão (T_c) e a entalpia de gelatinização (ΔH) foram registradas.

2.10 Análise estatística

Os resultados foram apresentados como valores médios \pm desvio padrão. ANOVA unidirecional ($n=3$) foi realizada utilizando o software Assistat 7.0 (disponível em: <https://assistat.software.informer.com>). Para determinar a diferença estatisticamente significativa entre as médias foi aplicado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

3. Resultados e discussões

3.1 Teor de amido, amilose e amilopectina e propriedades físicas

Na Tabela 1 pode ser observado o teor de amido, amilose e amilopectina do amido nativo (SN) e modificado (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) da semente de abacate.

Tabela 1. Propriedades físico-química e funcionais do amido da semente de abacate nativo (SN) e modificado.

Parâmetros	SN	HMT	OPT	HMT+OPT	OPT+HMT
Amido (%)	60,97±0,82 ^a	48,80±0,58 ^d	53,36±0,48 ^c	50,70±0,93 ^d	56,12±0,75 ^b
Amilose (%)	31,84±0,65 ^b	29,75±0,26 ^c	32,24±0,71 ^b	35,14±0,39 ^a	33,13±0,37 ^b
Amilopectina (%)	29,13±1,14 ^a	19,05±0,34 ^c	21,1±0,43 ^b	15,56±1,28 ^d	22,82±1,12 ^b
CAA (%)	92,28±0,02 ^a	64,18±0,57 ^b	56,10±0,13 ^{cd}	54,59±0,51 ^d	56,98±0,24 ^c
CAO (%)	92,21±0,01 ^a	70,35±1,05 ^b	65,76±0,70 ^c	63,51±0,54 ^c	65,05±0,23 ^c
CAL (%)	133,05±0,03 ^a	112,42±0,02 ^b	111,44±0,12 ^c	110,99±0,09 ^d	111,13±0,06 ^{cd}
Solubilidade (%)	5,22±0,27 ^a	2,40±1,00 ^{ab}	1,43±0,51 ^{ab}	1,20±0,14 ^{ab}	0,76±0,10 ^b
PI (%)	58,13±1,63 ^a	43,75±1,33 ^b	41,47±1,28 ^b	40,26±1,83 ^b	40,52±0,81 ^b

Legenda: CAA: capacidade de absorção de água; CAO: capacidade de absorção de óleo; CAL: Capacidade de absorção de leite; PI: poder de inchamento; SN: amido nativo, HMT: amido tratado com calor-umidade, OPT: amido tratado com pressão osmótica, HMT+OPT: amido tratado com calor-umidade e pressão osmótica, OPT+HMT: amido tratado com pressão osmótica e calor-umidade; Letras diferentes (a, b, c, d) na mesma linha, indicam diferença estatística significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

Pode-se observar na Tabela 1, que houve uma redução significativa ($p < 0,05$) no teor de amido quando os tratamentos de modificação por HMT e OPT foram aplicados, em comparação com o SN, que apresentou um teor de 60,97%. No entanto, entre as amostras modificadas, a combinação de tratamentos (OPT+HMT e HMT+OPT) resultou em valores superiores do teor de amido, quando comparados com as amostras modificadas de forma isolada ($p < 0,05$). Em particular, o tratamento OPT+HMT apresentou um valor de 56,12%. Esses resultados indicam que a aplicação de tratamentos de modificação afeta significativamente o teor de amido. A redução observada no teor de amido após os tratamentos isolados de HMT e OPT pode ser atribuída a mudanças estruturais nos grânulos de amido, que impactam na sua integridade e composição

(Pukkahuta *et al.*, 2007). No entanto, a combinação dos tratamentos (OPT+HMT e HMT+OPT) parece atenuar essa redução, resultando em teores de amido relativamente mais altos. A combinação OPT+HMT, em particular, preserva ainda mais o teor de amido, sugerindo que a sequência de aplicação dos tratamentos pode influenciar positivamente a retenção de amido, assim como também observado por Marta *et al.* (2023) para amido de araruta modificado por HMT e octenilsuccinilação (OSA).

A diferença estrutural entre amilose e amilopectina é considerada o fator mais importante para as propriedades do amido (Karmakar *et al.*, 2014). A amilose está localizada na região amorfa, o que a torna mais acessível à modificação do que a cadeia lateral da amilopectina; portanto, a amilose muda durante a modificação do amido (Fasuan e Akanbi, 2018). No presente estudo, observou-se um aumento significativo no teor de amilose ao utilizar a dupla modificação HMT+OPT, alcançando 35,14 % ($p < 0,05$). Fasuan e Akanbi (2018) relataram que o tratamento OPT favorece o aumento do teor de amilose no amido após a modificação. Esse aumento pode estar relacionado à despolimerização da amilopectina durante o aquecimento. Assim, durante o tratamento por OPT, a menor quantidade de água livre limita a gelatinização, resultando em uma despolimerização menos extensa das cadeias de amilopectina (Gayary *et al.*, 2024). Isso resulta em uma estrutura de amido modificada que possui uma proporção maior de amilose, conferindo propriedades funcionais diferentes e potencialmente desejáveis para diversas aplicações industriais.

Aqui nossos resultados evidenciaram que o teor de amilopectina no SN foi significativamente maior (29,13 %), indicando que as modificações aplicadas impactaram a estrutura do amido, com reduções significativas na faixa de 15,56% (HMT+OPT) a 22,82% (OPT+HMT). A redução observada no teor de amido e amilopectina após os tratamentos de modificação pode ser atribuída aos efeitos combinados do calor e das interações químicas durante os processos de HMT e OPT. Durante o HMT, o amido é submetido a altas temperaturas e umidade controlada, o que pode levar à degradação parcial das cadeias de amilopectina (Lee *et al.*, 2022). Por outro lado, o OPT envolve a exposição do amido a soluções concentradas, que também podem alterar a estrutura e a composição química do amido (Marta *et al.*, 2022). A maior conservação do teor de amilopectina na combinação OPT+HMT, em comparação com HMT+OPT, pode ser explicada pela sequência dos processos de modificação. O OPT inicial pode preparar a estrutura do amido de forma a torná-lo mais resistente às alterações subsequentes durante o HMT, resultando em uma menor perda de amilopectina.

3.2 Capacidade de absorção de água, óleo e leite

A capacidade de absorção de água (CAA) do amido, está relacionada com a viscosidade da pasta a frio, uma vez que apenas os grânulos de amido danificados absorvem água à temperatura ambiente (Almeida *et al.*, 2021). Conforme mostrado na Tabela 1, a CAA do SN é de 92,28%, sendo significativamente superior à dos amidos modificados ($p < 0,05$), que apresentaram valores entre 54,59% (HMT+OPT) e 64,18% (HMT). Entre as modificações isoladas, o tratamento térmico calor-úmido (HMT) apresentou a maior CAA, indicando uma capacidade de ligação com a água superior em comparação a OPT (56,10 %). Isso sugere que o tratamento HMT preserva mais a integridade dos grânulos de amido, permitindo maior absorção de água. Esse resultado pode ser atribuído à reorganização das cadeias de amilose e amilopectina dentro dos grânulos, promovida pelo HMT, que mantém a estrutura granular intacta e facilita a absorção de água (Falade e Okafor, 2013). Esse comportamento também foi observado por Marboh & Mahanta (2020) para amido de turbéculo sohphlang (*Flemingia vestita*) modificado por HMT. No entanto, quando o amido foi submetido a modificações duplas, combinando HMT e OPT, houve uma redução significativa na CAA ($p < 0,05$), independentemente da ordem de aplicação dos tratamentos. Os valores de CAA para os tratamentos duplos variaram de 54,59 % (HMT+OPT) a 56,98 % (OPT+HMT), ambos significativamente inferiores ao tratamento HMT isolado. Evidenciando que a combinação dos dois métodos de modificação altera a estrutura dos grânulos de amido de maneira mais drástica, resultando em menor CAA.

A CAO, uma habilidade do amido em absorver óleo é um indicativo do potencial emulsificante (Adebowale *et al.*, 2005). Semelhante à CAA o HMT também apresentou o maior valor para a CAO (70,35 %), indicando que o tratamento utilizado no amido apresentou a melhor capacidade de ligação de lipídios. Devido à ausência de sítios apolares como os encontrados nas proteínas, a CAO está principalmente ligada ao aprisionamento físico do óleo dentro da rede do amido (Abu *et al.*, 2006). Assim como observado para a CAA, a CAO também diminuiu após os tratamentos duplos (HMT+OPT e OPT+HMT) ($p > 0,05$). Os valores de CAO para os tratamentos duplos foram de 63,51 % (HMT+OPT) e 65,05 % (OPT+HMT), sendo ambos inferiores ao valor obtido para o tratamento HMT e OPT isolados. O tratamento OPT isolado (65,76 %) resultou em uma CAO inferior à do tratamento HMT (70,35 %), mas ainda superior à dos tratamentos duplos. Essa redução pode ser atribuída ao rearranjo estrutural e à menor disponibilidade de grupos lipofílicos, induzidos pelos tratamentos duplos (Dhull *et al.*, 2024), além do

impacto do tratamento OPT na modificação da estrutura do amido. Pukkahuta *et al.* (2008) também observaram em seu estudo que o tratamento por OPT reduz a CAO do amido de milho em comparação com o tratamento por HMT.

Quando comparado os valores de CAA e CAO aos valores de CAL, é notado que a CAL é maior (>100%) para todas as amostras de amido, o que confirma a disponibilidade dos amidos modificados em se ligar as moléculas de gordura presente no leite (Almeida *et al.*, 2021). De acordo com a Tabela 1, o SN apresentou a maior CAL, com 133,05 %. Esses resultados sugerem que, embora o tratamento HMT isolado preserve uma boa capacidade de absorção de gordura do leite, os tratamentos duplos (HMT+OPT e OPT+HMT) diminuem essa capacidade ($p < 0,05$). Curiosamente, os resultados mostram que o amido da semente de abacate modificado por HMT isoladamente apresentou os valores mais altos de CAA, CAO e CAL, destacando sua eficácia na manutenção dessas propriedades. Por outro lado, a modificação dupla (HMT+OPT) resultou nos menores valores para essas capacidades. A elevada CAA, CAO e CAL do amido demonstra uma propriedade desejável para emprego como ingrediente em produtos alimentícios que requerem alta retenção de água, gordura e leite. Esses resultados sugerem que o amido obtido no presente estudo é particularmente adequado para uso como espessante e estabilizante em fluidos e emulsões (Almeida *et al.*, 2021).

3.3 Solubilidade e poder de intumescimento

A solubilidade indica até que ponto os componentes solúveis em água nas partículas de amido são eluídos e dissolvidos das partículas de amido, e o poder de intumescimento afeta a capacidade das partículas de amido de inchar e absorver umidade (Kim *et al.*, 2023). A solubilidade e o poder de inchamento (PI) do SN e modificados (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) são apresentados na Tabela 1. Os resultados mostram que as modificações aplicadas ao SN resultaram em uma redução significativa na solubilidade, variando de 0,76 (OPT+HMT) a 2,40 % (HMT) ($p < 0,05$). Notavelmente, a combinação OPT+HMT apresentou a menor solubilidade entre todas as amostras, com apenas 0,76 %, enquanto a combinação HMT+OPT registrou 1,20 % ($p < 0,05$). Essa redução na solubilidade após as modificações pode ser explicada pelos efeitos dos tratamentos aos quais o amido foi submetido. O tratamento por HMT, podem causar alterações na estrutura do amido, resultando em uma menor capacidade de se dissolver em água (Almeida *et al.*, 2022). Por outro lado, o OPT, que envolve a exposição do amido a uma solução salina concentrada, pode levar à formação de interações que reduzem a

solubilidade do amido (Pukkahuta *et al.*, 2007; Marta *et al.*, 2022). Além disso, Ramos *et al.* (2019) também associaram essa diminuição à menor lixiviação da amilose, devido à interação mais significativa entre as moléculas de amilose e amilopectina. Resultados de estudos anteriores, como os de Pukkahuta *et al.* (2008) com amido de milho e Cahyana *et al.* (2024) com amido de banana, corroboram com as observações, mostrando que modificações físicas semelhantes resultam em reduções na solubilidade do amido.

Os resultados do índice de poder de inchamento (PI) (Tabela 1) indicam que o amido modificado da semente de abacate incha de maneira distinta, sugerindo alterações na organização molecular dentro dos grânulos. O SN inicialmente apresentou um PI de 58,13 % ($p < 0,05$), o qual foi reduzido após as modificações aplicadas. Embora as modificações (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) não tenham apresentado diferença estatisticamente significativa entre si, elas exibiram uma variação nos valores, na faixa de 40,26 % (OPT+HMT) a 43,75 % (HMT) ($p > 0,05$). A redução no PI do amido após o tratamento HMT pode ser justificada pela gelatinização parcial dos grânulos, que leva à perda de estrutura ordenada das moléculas de amido e, conseqüentemente, reduz sua capacidade de inchar (Lee *et al.*, 2022). Além disso, a modificação por OPT pode ser atribuída à presença de íons SO_4^{2-} , que provavelmente limitaram a penetração da água nos grânulos de amido. Estudos anteriores, como os de Pukkahuta *et al.* (2007) e Marta *et al.* (2022b), corroboram essa observação ao discutirem como os íons sulfato presentes na solução salina saturada durante o OPT podem influenciar negativamente no PI do amido.

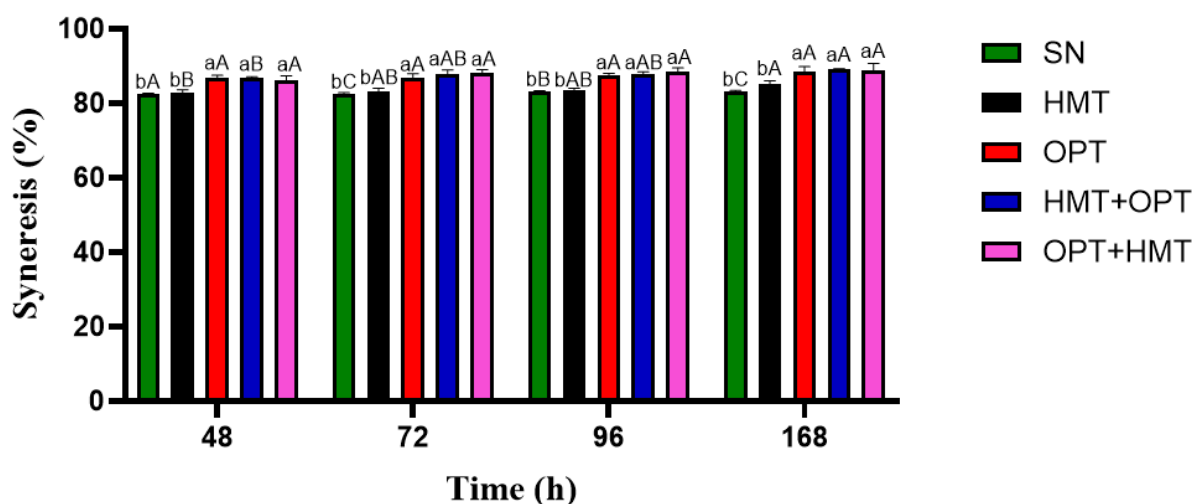
De acordo com Deka & Sit (2016), quando o amido é submetido à dupla modificação, os tratamentos combinados podem causar ruptura na estrutura molecular e quebra de cadeias mais longas de amilopectina, devido à severidade dos processos em comparação com tratamentos individuais, resultando em uma diminuição no PI. Gayary *et al.* (2024) encontraram um índice de PI variando de 10 a 12 % para o amido de arroz modificado por HMT e OPT, enquanto Pukkahuta *et al.* (2008) observaram um PI de 15 % para o amido de milho modificado por HMT. Essas alterações são cruciais para aplicações em produtos alimentícios como panificação, destacando a importância da estrutura do amido nas propriedades finais do produto (Fonseca *et al.*, 2021).

3.4 Índice de sinérese

A sinérese refere-se à rápida liberação de água da rede polimérica após o descongelamento em massa (Dhull *et al.*, 2024). Neste estudo, foi analisado o índice de

sinérese dos amidos nativo e modificados ao longo de quatro diferentes períodos de armazenamento refrigerado (48, 72, 96 e 168 h), conforme mostrado na Figura 1. Observou-se um aumento na sinérese dos géis de amido após as modificações aplicadas ao amido da semente de abacate. Esse comportamento também foi observado por Ribeiro *et al.* (2023) para amido de arroz vermelho e preto nativo e modificado por HMT. Segundo Almeida *et al.* (2021), esse aumento pode ser atribuído à associação de macromoléculas, especialmente a amilose, devido à sua estrutura linear, reforçada pelas cadeias de amilopectina.

Figura 1. Índice de sinérese do amido da semente de abacate nativo (SN) e modificados (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) no decorrer de 168 horas de armazenamento refrigerado (4 °C).



Legenda: SN: amido nativo, HMT: amido tratado com calor-umidade, OPT: amido tratado com pressão osmótica, HMT+OPT: amido tratado com calor-umidade e pressão osmótica, OPT+HMT: amido tratado com pressão osmótica e calor-umidade; Barras com letras minúsculas (a, b) diferentes indicam diferença estatística significativa entre as amostras no mesmo período de armazenamento ($p < 0,05$); Barras com letras maiúsculas (A, B, C) diferentes indicam diferença estatística significativa entre período de armazenamento para mesma amostra ($p < 0,05$).

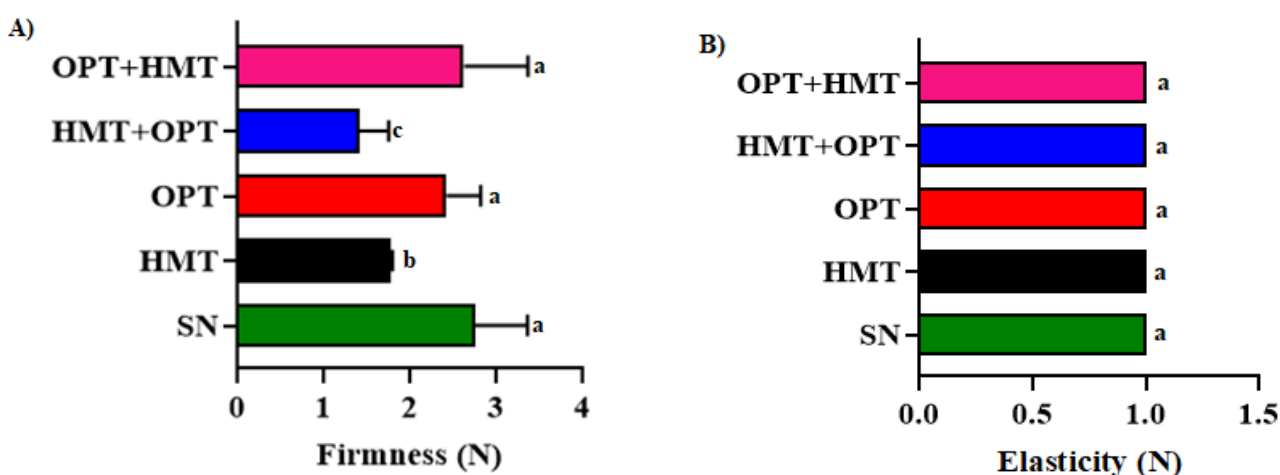
Entre os amidos modificados, aqueles submetidos ao tratamento por HMT apresentaram os menores valores de sinérese e foram significativamente diferentes dos demais tratamentos aplicados (OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) ($p < 0,05$). No entanto, não houve diferença significativa entre o amido HMT e o SN ao longo do tempo ($p > 0,05$).

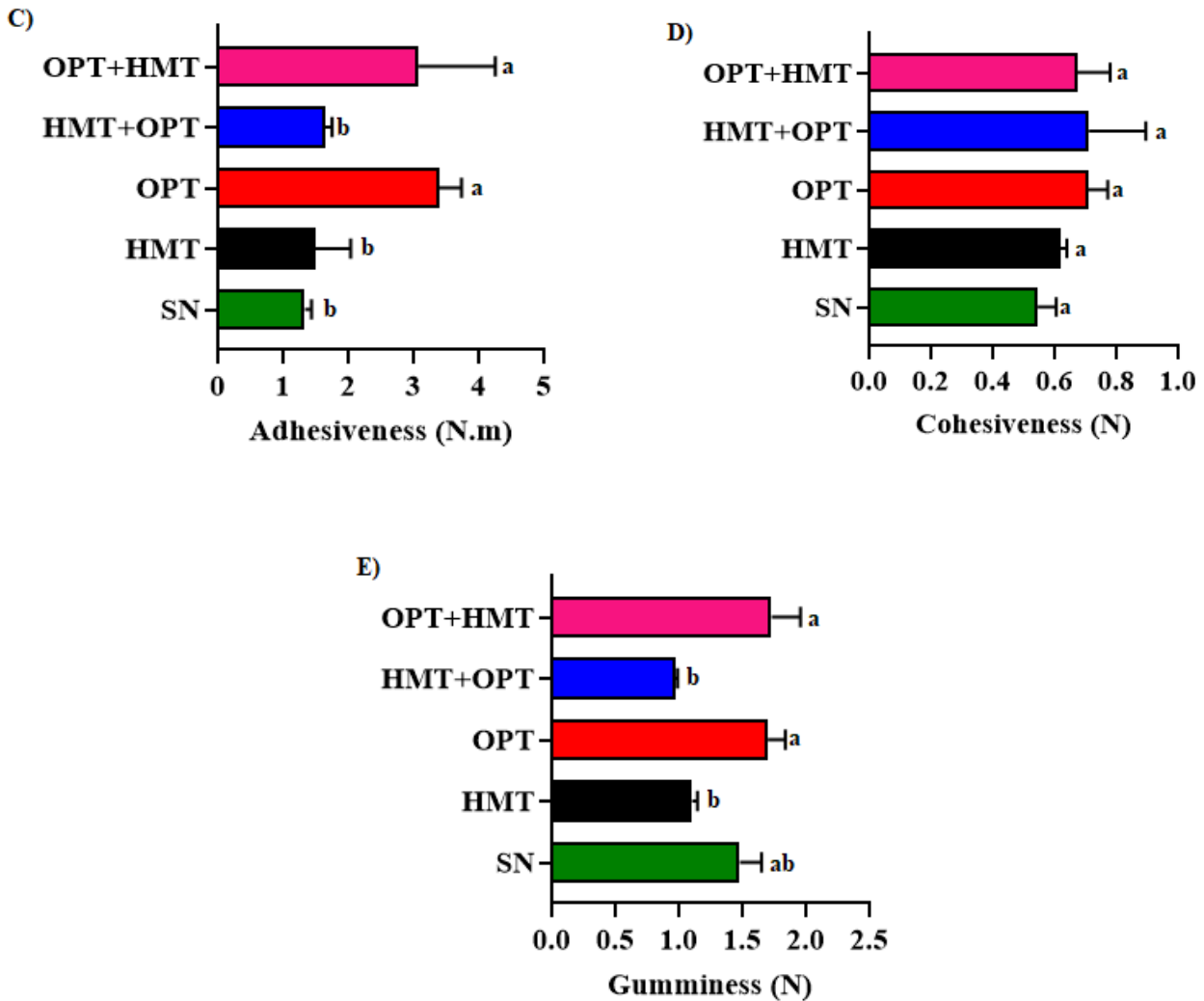
Notavelmente, apenas o SN e OPT mostraram estabilidade na sinérese durante o período de 72 h. Essa estabilidade observada pode ser atribuída à preservação parcial das estruturas molecular e cristalina do amido pelo tratamento por OPT, que, embora não completamente eficaz na prevenção da retrogradação, parece conferir uma resistência significativa às mudanças físicas adversas durante os ciclos de congelamento e descongelamento (Wu *et al.*, 2024). Dessa forma, o amido que apresentar a maior sinérese tem maior tendência a retrogradar em baixa temperatura de armazenamento (Abelti *et al.*, 2024). Portanto, o amido de semente de abacate nativo e modificado tem uma alta sinérese e não é adequado para uso em sistemas alimentares que envolvem processamento de alimentos refrigerados (Abelti *et al.*, 2024).

3.5 Textura dos géis de amido

Os parâmetros de textura (firmeza, elasticidade, adesividade, coesividade e gomosidade) do gel são cruciais para a qualidade do amido em aplicações alimentícias e estão intimamente ligados à avaliação dos atributos sensoriais do produto (Wen *et al.*, 2020). A Figura 2 apresenta os parâmetros de textura das pastas do amido da semente de abacate nativo e modificadas.

Figura 2. Propriedades texturais (A) firmeza (B) elasticidade (C) adesividade (D) coesividade (E) gomosidade dos géis de amido de semente de abacate nativo (SN) e modificado (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT).





Legenda: SN: amido nativo, HMT: amido tratado com calor-umidade, OPT: amido tratado com pressão osmótica, HMT+OPT: amido tratado com calor-umidade e pressão osmótica, OPT+HMT: amido tratado com pressão osmótica e calor-umidade. Todos os valores foram expressos como médias \pm DP. Barras com letras (a, b, c) iguais não diferem significativamente no nível de probabilidade $p < 0,05$ pelo teste de Tukey.

A resistência do gel, frequentemente medida pela firmeza, representa a máxima força exercida por uma amostra (Ali *et al.*, 2020), refletindo as forças intermoleculares no gel e a estabilidade da estrutura da rede. Esta característica está intimamente associada à sinérese da água e à cristalização da amilopectina (Kou *et al.*, 2018; Su *et al.*, 2024). A modificação do amido nativo resultou em diferenças significativas na firmeza do gel (Figura 2A), com uma redução geral após a modificação. O tratamento OPT+HMT proporcionou a maior firmeza para o amido (2,62 N), em comparação com o HMT+OPT (1,40 N). Essa variação pode ser atribuída à formação do complexo lipídico-amilose durante o tratamento, o qual pode reduzir a tendência de retrogradação e, conseqüentemente, diminuir a dureza do gel (Dudu *et al.*, 2019). Quando analisados

isoladamente, o OPT mostrou uma firmeza de 2,42 N, enquanto o HMT apresentou 1,78 N. Gayary & Mahanta (2020) também observaram que o tratamento por OPT resultou em um gel de amido de arroz com maior firmeza em comparação ao tratamento por HMT. Esta redução na dureza do gel pelo HMT pode ser atribuída à diminuição da ligação cruzada entre as cadeias de amido (Schafanski *et al.*, 2021). Após a remoção da força de deformação, a capacidade do gel de amido de se recuperar de volta à sua forma/tamanho original é definida pela elasticidade (Marboh e Mahanta, 2023). Menor elasticidade (Figura 2B) do gel de amido indica mais danos, assim nenhuma mudança significativa nos valores de elasticidade foi observada entre os géis de amido da semente de abacate, no qual, todas as amostras apresentaram valor igual a 1 N.

A adesividade, que se refere à sensação pegajosa na boca, aumentou com todas as modificações (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT), sendo que OPT apresentou o maior valor (3,38 N.m) seguido pela dupla modificação OPT+HMT (3,07 N.m) ($p < 0,05$), como observado na Figura 2C. Esse aumento pode ser atribuído à interação entre as macromoléculas formadas durante as modificações, que podem promover uma sensação mais pegajosa ao entrar em contato com a saliva. Quanto à coesividade, que descreve a resistência interna dos géis à deformação e ruptura, todos os tratamentos também mostraram um aumento, como visto na Figura 2D. A modificação dupla (HMT+OPT) apresentou a maior coesividade (0,71 N), seguida por OPT (0,70 N), OPT+HMT (0,67 N) e HMT (0,61 N), embora sem diferenças estatisticamente significativas entre eles ($p > 0,05$). Esse aumento pode ser explicado pela formação de uma rede de ligações mais robusta dentro da estrutura do gel de amido modificado, resultante das modificações aplicadas (Chen *et al.*, 2022; Huang *et al.*, 2022; Anbarani *et al.*, 2021). Hipoteticamente, as observações verificadas podem ser atribuídas à alteração na estrutura molecular do amido durante as modificações. O tratamento com OPT, por exemplo, pode facilitar a formação de complexos lipídico-amilose, o que pode aumentar a adesividade do gel. Por outro lado, a modificação dupla HMT+OPT pode induzir uma reorganização molecular que favorece uma maior coesividade, embora as diferenças precisem ser investigadas mais profundamente em estudos futuros para compreender completamente os mecanismos envolvidos.

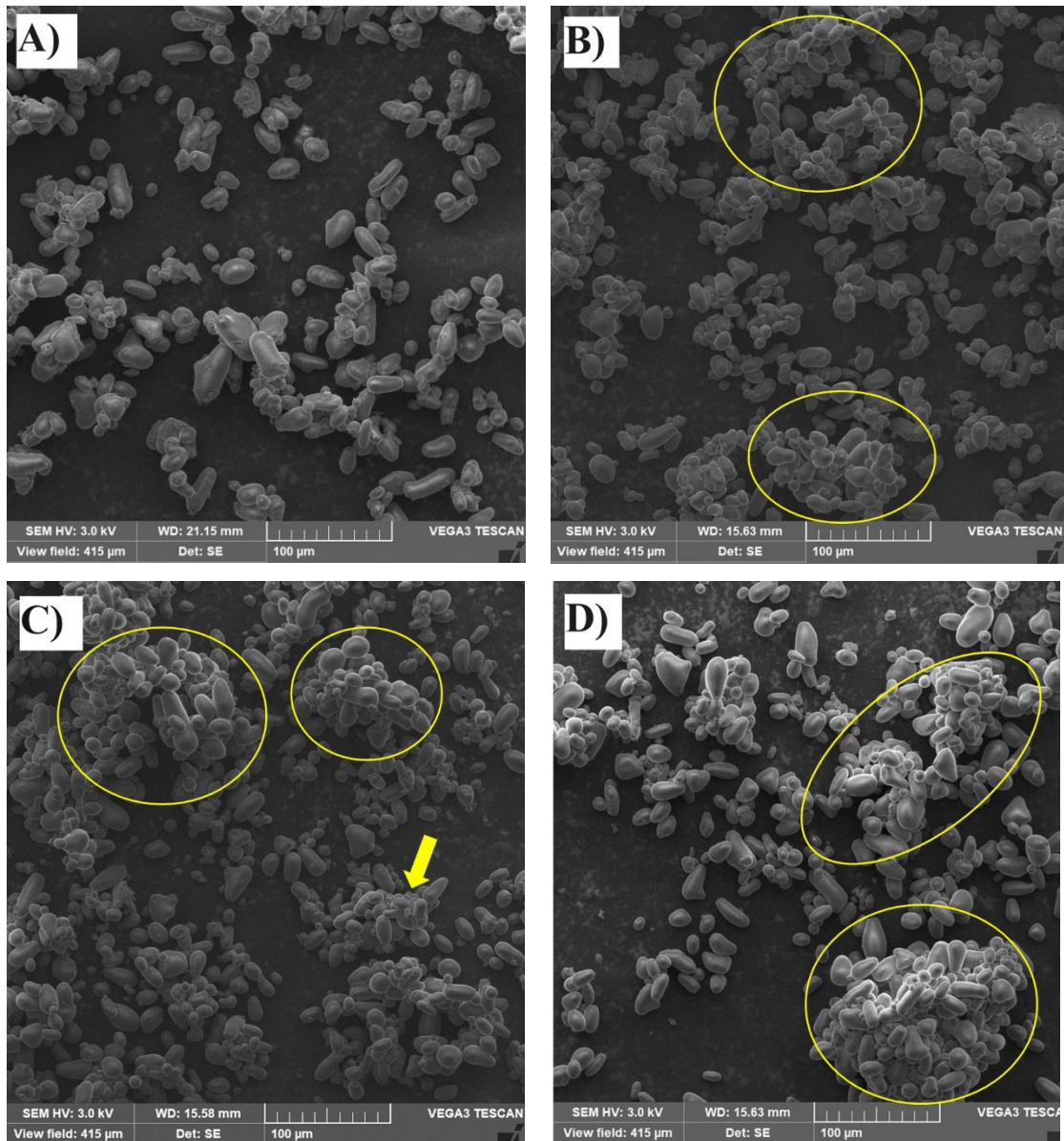
Por fim, a gomosidade (Figura 2E) reflete a qualidade de alimentos semissólidos com menor grau de firmeza e maior grau de coesão (Marboh e Mahanta, 2023). Os géis de amido OPT e OPT+HMT exibiram valores significativamente maiores ($p < 0,05$) em comparação aos géis de amido HMT e HMT+OPT. Como a gomosidade é um produto da

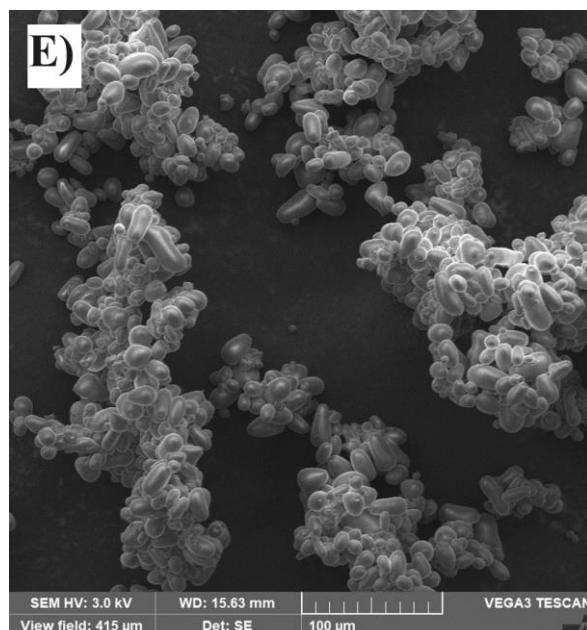
firmeza e coesão, o aumento na firmeza e coesão após modificação (embora insignificante) pode ter aumentado a gomosidade em comparação ao amido nativo. Resultado semelhante ao presente estudo foi relatado em Marboh e Mahanta (2023) com valor de 0,90 N para amido de sohphlang modificado por HMT.

3.5 Morfologia e área da superfície específica

A microestrutura do amido nativo (SN) e modificado (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) da semente de abacate foi observada por MEV (Figura 3).

Figura 3. Imagens de micrografia eletrônica de varredura (MEV) do amido da semente de abacate nativo (A) e modificado por HMT (B), OPT (C), HMT+OPT (D) e OPT+HMT.





Legenda: A) SN: amido nativo, B) HMT: amido tratado com calor-umidade, C) OPT: amido tratado com pressão osmótica, D) HMT+OPT: amido tratado com calor-umidade e pressão osmótica, E) OPT+HMT: amido tratado com pressão osmótica e calor-umidade;

Na Figura 3A, o SN apresenta grânulos predominantemente ovais, parcialmente arredondados e com superfície lisa, sem fraturas ou rachaduras visíveis, com diâmetro médio de $130,68 \pm 6,40 \mu\text{m}$. No entanto, após a aplicação dos tratamentos de modificação (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT), os grânulos de amido exibiram características diferentes dos grânulos do SN. Sendo observado principalmente aglomeração e formatos distorcidos dos grânulos, o que pode ser atribuído à gelatinização parcial provocada pelos tratamentos. Durante o tratamento HMT (Figura 3B), a presença de umidade e energia térmica induz uma reorganização estrutural parcial dos grânulos de amido ($215 \pm 9,99 \mu\text{m}$). Esta reorganização não altera visivelmente a estrutura dos grânulos, mantendo sua forma e superfície lisa, mas influencia significativamente a estrutura interna. Estudos anteriores relatados por Tan *et al.* (2017) indicam que o HMT não altera a morfologia externa dos grânulos de amido, mas resulta em uma diminuição do peso molecular, um aumento no teor de amilose e uma transformação na estrutura cristalina do amido. A reorganização estrutural parcial resultante do HMT pode fortalecer as interações moleculares internas, contribuindo para uma maior estabilidade dos grânulos durante o processamento (Cordeiro *et al.*, 2018).

O tratamento OPT (Figura 3C) envolve pressão osmótica induzida por uma solução saturada de sulfato de sódio, que afeta significativamente a integridade dos

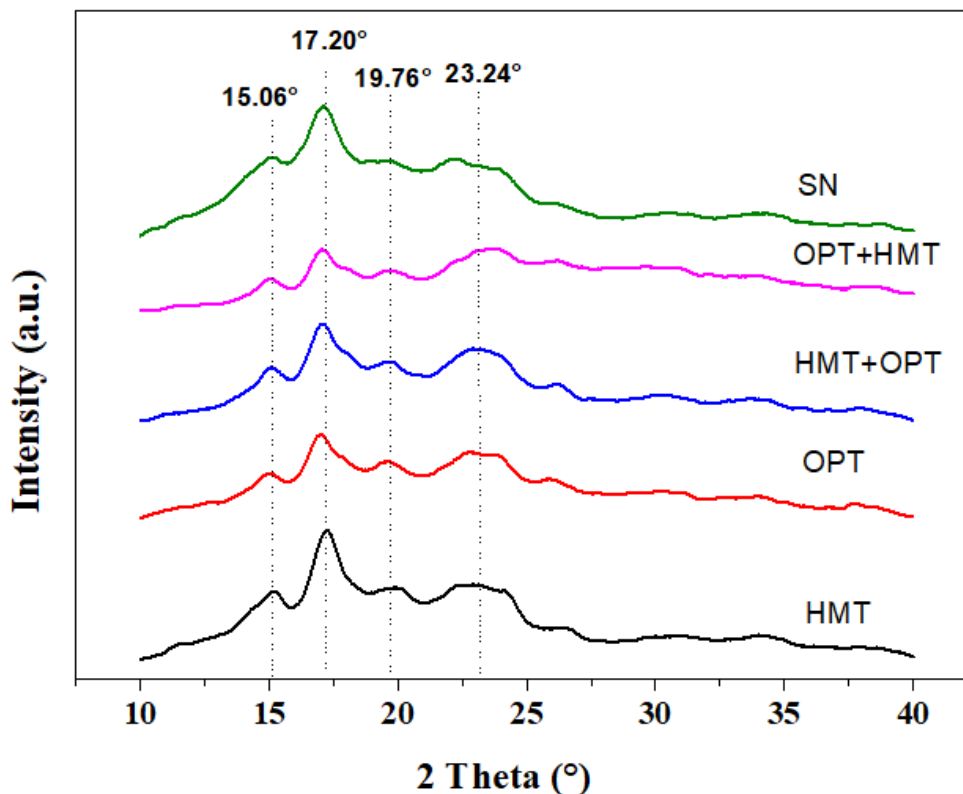
grânulos de amido, resultando em maior aglomeração dos grânulos e em formatos mais distorcidos. Isso porque a solução de sulfato de sódio pode induzir pressão osmótica nos grânulos e prevenir o inchaço do amido devido à falta de água livre e repulsão entre SO_4^{2-} e $-\text{OH}$ do amido que inibe a gelatinização do amido e, portanto, causa plasmólise no grânulo de amido (Pukkahuta *et al.*, 2007; Pukkahuta *et al.*, 2008; Marta *et al.*, 2022b). Conseqüentemente, o tratamento OPT provou ser vantajoso para aumentar o tamanho dos grânulos de amido da semente de abacate, com diâmetro médio de $242,5 \pm 9,58 \mu\text{m}$ ($p < 0,05$). Essas alterações estruturais torna o amido mais suscetível à aglomeração e distorção. Das *et al.* (2010) observaram para o amido de batata doce modificado por OPT teve uma leve agregação e formação de aglomerados de grânulos sem protuberâncias em suas superfícies.

Os tratamentos combinados (HMT+OPT e OPT+HMT) resultaram em grânulos com características intermediárias e diâmetro médio de $297,30 \pm 9,15 \mu\text{m}$ e $290,30 \pm 8,55 \mu\text{m}$, respectivamente ($p > 0,05$). Na Figura 3D e 3E, esses tratamentos mostram grânulos com distorções e aglomerações mais pronunciadas do que as observados com HMT isolado, mas menos severas do que com OPT isolado. A combinação de HMT e OPT pode intensificar a reorganização estrutural e a gelatinização parcial, resultando em uma microestrutura mais complexa e menos uniforme.

3.6 Difração de Raio X (DRX)

Os espectros de difração de raios X dos amidos SN e modificados (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) da semente de abacate são apresentados na Figura 4. Para todas as amostras, foram observados picos em 2θ em: $15,06^\circ$, $17,20^\circ$, $19,76^\circ$ e $23,24^\circ$ sendo as amostras classificadas como tipo A (Pozo *et al.*, 2018). Logo, foi observado que após as modificações realizadas o amido nativo do tipo B, foi classificado como tipo A. Segundo Almeida *et al.* (2019), os amidos do tipo “A” e “B” são baseados em hélices duplas paralelas nas quais as hélices duplas são empacotadas no amido do tipo “A”, mas fracamente empacotadas no amido do tipo “B”, assim, foi relatado que cadeias curtas de amilopectina exibem cristalinidade do tipo “A”, enquanto aquelas com cadeias mais longas de amilopectina mostram tipo “B”.

Figura 4. Padrões de difração de raios-X do amido nativo (SN) e modificado (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) da semente de abacate.



Na Figura 4, pode-se observar uma diminuição das intensidades dos picos após a modificação do SN. Os resultados mostram que a intensidade dos picos foi menor para o tratamento HMT, seguido pelo OPT. No caso das modificações duplas, o tratamento OPT+HMT apresentou maior intensidade dos picos em comparação com HMT+OPT. A diminuição da intensidade dos picos pode ser atribuída ao rearranjo estrutural dentro do domínio cristalino dos grânulos de amido. A modificação térmica, como o HMT, promove o deslocamento de hélices duplas entre os cristais, levando à formação de um melhor empacotamento e ordenamento da matriz cristalina (Chen *et al.*, 2017). Este rearranjo resulta em uma menor intensidade dos picos, indicando uma alteração na estrutura cristalina original do amido. Além disso, o tratamento OPT, que envolve pressão osmótica induzida por solução saturada de sulfato de sódio, também contribui para essa reorganização estrutural, mas de maneira menos intensa do que o HMT.

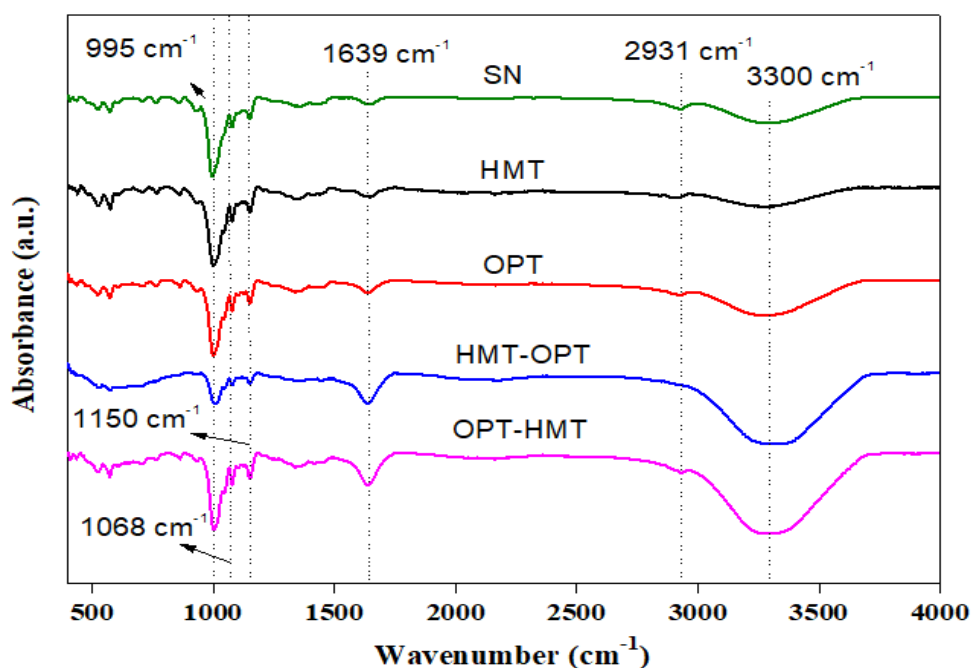
A cristalinidade relativa (CR) desempenha um papel crucial na estrutura dos grânulos e nas propriedades físico-químicas do amido, principalmente devido à sua vulnerabilidade a enzimas e insolubilidade em água fria (Rafiq *et al.*, 2016). Os valores

de CR para o amido nativo (SN) e os amidos modificados da semente de abacate são apresentados na Tabela 2. Os resultados mostram que os amidos modificados tiveram valores de CR reduzidos em comparação com o SN, com uma variação de 19,46% (HMT+OPT) a 23,55% (SN), sendo essa diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$). Entre as modificações, o tratamento OPT apresentou o maior valor de CR (22,08%), que não diferiu estatisticamente apenas do tratamento OPT+HMT (21,73%) ($p > 0,05$). A redução da CR após a modificação do amido nativo também foi relatada por Huang *et al.* (2016) para amido de batata-doce e por Dudu *et al.* (2019) para amido de mandioca. Isso porque, os tratamentos como HMT e OPT alteram a organização das regiões cristalinas e amorfas dos grânulos de amido, tornando-os mais suscetíveis a mudanças estruturais (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019).

3.7 Análise da espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR)

As ligações de grupos funcionais no amido nativo e modificado da semente de abacate são apresentadas na Figura 5.

Figura 5. Espectros de FTIR do amido nativo (SN) e modificado (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) da semente de abacate.



Pode-se observar que, para todas as amostras, os espectros de FT-IR identificaram picos nas regiões de 995, 1068, 1150, 1639, 2931 e 3300 cm^{-1} , indicando que não houve formação de novos grupos funcionais. Curiosamente, os espectros do SN apresentaram

maiores intensidades, enquanto os amidos modificados com HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT mostraram intensidades menos pronunciadas. As duplas modificações apresentaram as menores intensidades, sendo que OPT+HMT foi o menos intenso. Essa diminuição na intensidade dos picos após as modificações pode ser atribuída a reorientação de hélices duplas dentro do arranjo cristalino e a ruptura de algumas ligações de hidrogênio que ligam as hélices duplas adjacentes podem ter contribuído para a redução da cristalinidade (Balet *et al.*, 2019). Além disso, o HMT e OPT pode causar uma reorganização estrutural, resultando em menor ordenamento da matriz cristalina. A combinação desses tratamentos (HMT+OPT e OPT+HMT) intensifica esses efeitos, levando a uma estrutura mais amorfa e menos cristalina. Essas observações são sustentadas através dos resultados de cristalinidade relativa (ver Tabela 2).

O padrão de banda envolvendo região de 995 cm^{-1} está associado ao movimento vibracional assimétrico dos grupos H–O–H (Ribeiro *et al.*, 2023), já o pico em 1150 cm^{-1} foram atribuídas ao alongamento C–O e C–C com algumas contribuições de C–O–H (Huang *et al.*, 2016). Os picos em 2931 cm^{-1} e 1639 cm^{-1} correspondem à existência de vibração de alongamento C–H e também vibração de flexão H–O–H, respectivamente (Rafiq *et al.*, 2016). Segundo Rafiq *et al.* (2016), as bandas de vibração de O–H, C–H e C–O em amido nativo e modificados, não apresentam diferenças distintas. E isso pode ser devido ao fato de que as estruturas químicas básicas do amido modificado e do amido nativo são semelhantes, o que se refletiu nos picos de absorção semelhantes. E por fim, existem bandas na região de 3300 cm^{-1} , relacionadas ao alongamento dos grupos O–H, e números de grupos hidroxila em moléculas de amido levam à absorção de água (Ribeiro *et al.*, 2023). Notavelmente, a presença de bandas mais largas na região de 3300 cm^{-1} para as amostras HMT+OPT e OPT+HMT pode ser justificada pela maior formação de ligações de hidrogênio intermoleculares. Este aumento na formação de ligações de hidrogênio pode ser causado pela reorganização das moléculas de água e grupos hidroxila do amido durante os tratamentos de modificação dupla.

3.8 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A Figura 6 apresenta os termogramas de DSC e na Tabela 2, pode ser observado as propriedades térmicas do amido nativo e modificados com as temperaturas (T_o , T_p , T_c) de gelatinização e a entalpia de gelatinização (ΔH).

Figura 6. Termogramas de DSC do amido de semente de abacate nativo e modificados.

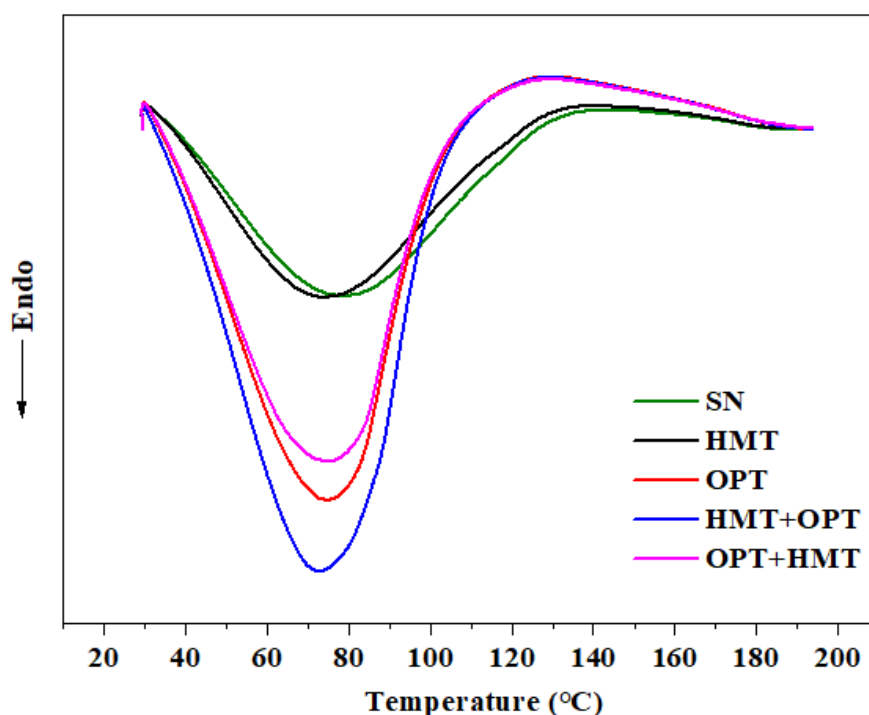


Tabela 2. Cristalinidade relativa (CR), propriedades térmicas (T_o , T_p e T_c) e entalpia de gelatinização (ΔH) do amido nativo (SN) e modificado (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) da semente do abacate.

Parâmetros	SN	HMT	OPT	HMT+OPT	OPT+HMT
CR (%)	23,55±0,52 ^a	20,19±0,39 ^c	22,08±0,11 ^b	19,46±0,22 ^d	21,73±0,65 ^b
T_o (°C)	31,39±0,05 ^a	29,97±0,04 ^c	30,01± 0,03 ^b	29,66± 0,05 ^d	30,06± 0,02 ^b
T_p (°C)	78,79±0,10 ^a	73,53±0,11 ^d	74,77±0,20 ^c	72,67±0,15 ^e	75,11±0,09 ^b
T_c (°C)	136,84±0,14 ^a	135,97±0,42 ^b	126,75± 0,19 ^d	123,63± 0,25 ^e	129,54± 0,37 ^c
$T_c - T_o$ (°C)	105,45±0,30 ^a	106,00±0,27 ^a	96,74± 0,41 ^d	93,97± 0,18 ^b	99,48± 0,35 ^c
ΔH (J/g)	15,04±0,12 ^a	14,79±0,20 ^a	9,25±0,22 ^c	8,67±0,16 ^d	10,33±0,10 ^b

Legenda: CR: cristalinidade relativa; T_o : temperatura inicial; T_p : temperatura de pico; T_c : temperatura de conclusão; SN: amido nativo, HMT: amido tratado com calor-umidade, OPT: amido tratado com pressão osmótica, HMT+OPT: amido tratado com calor-umidade e pressão osmótica e OPT+HMT: amido tratado com pressão osmótica e calor-umidade; Letras (a, b, c, d, e) sobrescritas iguais na mesma linha não diferem significativamente no nível de probabilidade 0,05 pelo teste de Tukey.

A gelatinização é descrita como a ruptura dos grânulos de dupla hélice e perda da estrutura cristalina do amido (Londoño *et al.*, 2016). O tratamento HMT, OPT e a dupla

modificação (HMT+OPT e OPT+HMT) reduziram significativamente as temperaturas inicial (T_o), de pico (T_p) e de conclusão (T_c) do SN da semente de abacate ($p < 0,05$), o que indica que a exposição à temperatura do processo durante as modificações influencia nas propriedades térmicas do amido. Segundo Almeida *et al.* (2022), as temperaturas de gelatinização dos amidos geralmente ocorrem em temperaturas acima de 60 °C. Logo, pode-se perceber que tanto para o SN como para os amidos modificados, a T_o apresentou valores inferiores variando entre 29,66 °C (HMT+OPT) a 31,39 °C (SN) ($p < 0,05$), indicando que o amido da semente de abacate não necessita de grandes temperaturas para iniciar o processo de gelatinização. Já para a T_p os amidos modificados apresentaram um pico variando de 72,67 °C (HMT+OPT) a 78,79 °C (SN) ($p < 0,05$), inferior ao encontrado por Gayary *et al.* (2024) para amido de arroz tratado com HMT e OPT. A T_c variou em torno de 123,63 °C (HMT+OPT) a 136,84 °C (SN) ($p < 0,05$). Entre os amidos modificados o HMT apresentou a maior T_c (135,97 °C). Diante das observações verificadas, associa-se o aumento nos valores de T_c a provável formação de amido resistente (Jiang *et al.*, 2010). O OPT+HMT apresentou valores mais elevados de T_o , T_p e T_c do que o HMT+OPT, o que pode ser devido aos efeitos semelhantes fornecidos pelo HMT e pelo OPT, mas em ordem diferente, onde os arranjos cristalinos são afetados pela sequência de ambos os métodos de tratamento (Gayary *et al.*, 2024).

O $T_c - T_o$ mais amplo observado em amidos modificados indica aumento de alterações granulares nas regiões amorfas e cristalinas após a modificação (Dudu *et al.*, 2019). O maior $T_c - T_o$ entre os amidos foi observado para o amido HMT. Além disso, foi observado que o OPT resultou em redução do $T_c - T_o$, apresentando valores para OPT (96,74 °C), HMT+OPT (93,97 °C) e o OPT+HMT (99,48 °C). Pinto *et al.* (2012) também observaram maior $T_c - T_o$ no amido de pinhão HMT em comparação ao amido de pinhão nativo.

A gelatinização do amido é um processo endotérmico, e a entalpia de gelatinização, sendo positiva (ΔH), fornece uma medida geral de cristalinidade, como um indicador da perda de ordem molecular dentro do grânulo, e reflete a quantidade de energia necessária para desintegrar a estrutura ordenada do amido (Arana *et al.*, 2020). Foi possível observar na Tabela 2, uma redução significativa na entalpia de gelatinização do SN (15,04 °C) para 9,25, 8,67 e 10,33 °C para o OPT, HMT+OPT e OPT+HMT, respectivamente ($p < 0,05$). Já o HMT (14,79 °C) não apresentou diferença significativa com o SN. A queda no ΔH após OPT mostra que algumas das duplas hélices presentes nas áreas cristalinas dos grânulos podem ter sido perturbadas devido às condições

predominantes no momento dos tratamentos (Gayary *et al.*, 2024). Resultado semelhante foi encontrado por Gayary *et al.* (2024) para amido de arroz tratado com pressão osmótica (8,0 J/g). Segundo Almeida *et al.* (2019), uma redução desses parâmetros geralmente significa que menos energia é necessária para que o evento ocorra. Portanto, a redução na entalpia de gelatinização reflete a presença de menos material cristalino para gelatinizar. De fato, o ΔH diminuiu consideravelmente com o tratamento por OPT. Esta descoberta indica que modificações estruturais, como o fortalecimento da ligação entre as partículas de amido, contribuem para a estabilização da estrutura das partículas de amido quando submetidas ao aquecimento em condições de umidade limitada. Portanto, a temperatura da pasta aumenta e ΔH diminui (Huang *et al.*, 2024).

4. Conclusões

O amido nativo após as modificações físicas teve uma redução no teor de amido, amilose, amilopectina, nas capacidades de absorção em água, óleo e leite, menor solubilidade e poder de inchamento. Porém, entre as modificações, a ordem OPT+HMT apresentou o maior teor de amido (56,12 %) e amilopectina (22,82 %). Por outro lado, o tratamento por HMT apresentaram os menores valores de sinérese e foram significativamente diferentes dos demais tratamentos aplicados. Com relação aos parâmetros texturais, foi observado que o tratamento por OPT e OPT+HMT refletiram um maior impacto nos seus parâmetros. Além disso, a dupla modificação (HMT+OPT e OPT+HMT) mostraram grânulos com distorções e aglomerações mais pronunciadas. Os resultados mostraram que a intensidade dos picos foi menor para o tratamento HMT, seguido pelo OPT. No caso das modificações duplas, a ordem OPT+HMT apresentou maior intensidade dos picos, já para a cristalinidade, o tratamento por OPT apresentou o maior valor de CR (23,55 %). Para o FT-IR, as duplas modificações apresentaram as menores intensidades, sendo que OPT+HMT foi o menos intenso, além disso, não houve formação de novos grupos funcionais. Por fim, o OPT+HMT apresentou valores mais elevados de T_o , T_p e T_c , e podemos associar o aumento nos valores de T_c a uma provável formação de amido resistente. Portanto, o OPT é um novo método de modificação física que pode ser usado juntamente com HMT, e a modificação dupla surge como uma alternativa que pode vir a melhorar as características do amido para ser aplicado em várias indústrias.

Referências

A.O.A.C. (2016). Official methods of analysis of AOAC International (20th ed.). Rockville, Maryland, USA: AOAC international.

Abelti, A. L., Teka, T. A., & Bultosa, G. (2024). Structural and physicochemical characterization of starch from water lily (*Nymphaea lotus*) for food and non-food applications. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 7, 100458. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100458>.

Abu, J. O., Duodu, K. G., & Minnaar, A. (2006). Effect of γ -irradiation on some physicochemical and thermal properties of cowpea (*Vigna unguiculata L. Walp*) starch. *Food Chemistry*, 95(3), 386-393. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.008>.

Adebowale, K. O., Owolabi, B. I. O., Olawumi, E. K., & Lawal, O. S. (2005). Functional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpus artilis*) starch. *Industrial Crops and Products*, 21(3), 343-351. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.05.002>.

Ali, N. A., Dash, K. K., & Routray, W. (2020). Physicochemical characterization of modified lotus seed starch obtained through acid and heat moisture treatment. *Food Chemistry*, 319, 126513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126513>.

Almeida, R. L. J., Pereira, T. S., Freire, V. A., Santiago, A. M., Oliveira, H. M. L., Conrado, L. S., & Gusmão, R. P. (2019). Influence of enzymatic hydrolysis on the properties of red rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141, 1210-1219. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.072>.

Almeida, R. L. J., Santos, N. C., Feitoza, J. V. F., Muniz, C. E. S., Eduardo, R. da S., Freire, V. de A., Ribeiro, V. H. de A., Silva, V. M. de A., Mota, M. M. de A., Cavalcante, J. de A., Silva, R. de A., Costa, G. A., Figueiredo, M. J., & Ribeiro, C. A. C. (2024). Evaluation of dual modification by high hydrostatic pressure and annealing on the

physicochemical properties of bean starch. *Food Research International*, 177, 113877, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113877>.

Almeida, R. L. J., Santos, N. C., Feitoza, J. V. F., Silva, G. M., Muniz, C. E. S., Eduardo, R. S., Ribeiro, V. H. A., Silva, V. M. A., & Mota, M. M. A. (2022). Effect of heat-moisture treatment on the thermal, structural and morphological properties of Quinoa starch. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 3, 100192. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100192>.

Almeida, R. L. J., Santos, N. C., L, W. B. B., Padilha, C. E. A., Rios, N. S., & Santos, E. S. (2022). Effect of enzymatic hydrolysis on digestibility and morpho-structural properties of hydrothermally pre-treated red rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, 65-76. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.089>.

Almeida, R. L. J., Pereira, T. S., Almeida, R. D., Santiago, A. M., Marsiglia, W. I. M. de L., Nabeshima, E. H., Conrado, L. S., & Gusmão, R. P. (2021). Rheological and technological characterization of red rice modified starch and jaboricaba peel powder mixtures. *Scientific Reports*, 11(1), 9284. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88627-4>.

Anbarani, N. M., Razavi, S. M. A., & Taghizadeh, M. (2021). Impact of sage seed gum and whey protein concentrate on the functional properties and retrogradation behavior of native wheat starch gel. *Food Hydrocolloids*, 111, 106261. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106261>.

Beuchat, L. R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2), 258-261. <http://dx.doi.org/10.1021/jf60210a044>.

Cahyana, Y., Annisa, N. D. N., Khoerunnisa, T. K., Sulastri, S., Marta, H., Rialita, T., Yuliana, T., Aït-Kaddour, A., & Şumnu, G. (2024). Banana starch modified by heat moisture treatment and annealing: Study on digestion kinetics and enzyme affinity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 258(1), 128771. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128771>.

Chang, Q., Zheng, B., Zhang, Y., & Zeng, H. (2021). A comprehensive review of the factors influencing the formation of retrograded starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, *186*, 163-173. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.050>.

Chen, S., Qin, L., Chen, T., Yu, Q., Chen, Y., Xiao, W., Ji, X., & Xie, J. (2022). Modification of starch by polysaccharides in pasting, rheology, texture and in vitro digestion: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *207*, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.02.170>.

Chen, Y., Yang, Q., Xu, X., Qi, L., Dong, Z., Luo, Z., Lu, X., & Peng, X. (2017). Structural changes of waxy and normal maize starches modified by heat moisture treatment and their relationship with starch digestibility. *Carbohydrate polymers*, *177*, 232-240. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.121>.

Cong, S., Ji, J., Zhang, X., Sun, J., Zhao, H., Liu, X., & Hu, N. (2024). Effect of Ethanol Extract of Tea on the Microstructural Features and Retrogradation Characteristics of Glutinous Rice Starch. *Foods*, *13*(7), 1029. <https://doi.org/10.3390/foods13071029>.

Contreras-Jiménez, B., Torres-Vargas, O. L., & Rodríguez-García, M. E. (2019). Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. *Food Chemistry*, *298*, 124982. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.12498>.

Cordeiro, M., Veloso, C., Santos, L., Bonomo, R., Caliari, M., & Fontan, R. (2018). The Impact of Heat-Moisture Treatment on the Properties of *Musa paradisiaca* L. Starch and Optimization of Process Variables. *Food Technology and Biotechnology*, *56*, 506 - 515. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.04.18.5490>.

Das, A., Singh, G., Singh, S., & Riar, C. (2010). Effect of acetylation and dual modification on physico-chemical, rheological and morphological characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas*) starch. *Carbohydrate Polymers*, *80*, 725-732. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2009.12.018>.

Deka, D., & Sit, N., (2016). Dual modification of taro starch by microwave and other heat moisture treatments. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 416-422. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.040>.

Dhull, S. B., Tanwar, M., Khatkar, S. K., Chandak, A., Chawla, P., & Goksen, G. (2024). Exploring the effects of thermal and non-thermal modification methods on morphological, functional, and pasting properties of mung bean starch. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 92, 103581. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103581>.

Dudu, O. E., Li, L., Oyedele, A. B., Oyeyinka, S. A., & Ma, Y. (2019). Structural and functional characteristics of optimised dry-heat-moisture treated cassava flour and starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 1219-1227. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.202>.

Falade, K. O., & Okafor, C. A. (2013). Physicochemical properties of five cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium*) starches. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 173-181. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.006>.

Fasuan, T. O., & Akanbi, C. T. (2018). Application of osmotic pressure in modification of *Amaranthus viridis* starch, *LWT*, 96, 182-192. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.036>.

Fonseca, L. M., Halal, S. L. M., Dias, A. R. G., & Zavareze, E. da R. (2021). Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 274, 118665. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118665>.

Gayary, M. A., & Mahanta, C. L. (2020). Optimization of process parameters of osmotic pressure treatment and heat moisture treatment for rice starch using response surface methodology. *Food Measure*, 14, 2862–2877. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00531-z>.

Gayary, M. A., Marboh, V., Mahnot, N. K., Chutia, H., & Mahanta, C. L. (2024). Characteristics of rice starches modified by single and dual heat moisture and osmotic

pressure treatments. *International Journal of Biological Macromolecules*, 255, 127932. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127932>.

Gnaim, R., Unis, R., Gnayem, N., Das, J., Shamis, O., Gozin, M., Gnaim, J., & Golberg, A. (2023). Avocado seed waste bioconversion into poly (3-hydroxybutyrate) by using *Cobetia amphilecti* and ethyl levulinate as a green extractant. *International Journal of Biological Macromolecules*, 239, 124371. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124371>.

Hoover, R. (2010). The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(9), 835–847. <https://doi.org/10.1080/10408390903001735>.

Huang, P., Chiu, C., Chan, Y., Su, W., Wang, C. R., Lu, W., & Li, P. (2024). Effect of osmotic pressure and simultaneous heat-moisture phosphorylation treatments on the physicochemical properties of mung bean, water caltrop, and corn starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 272(2), 132358. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132358>.

Huang, T., Zhou, D., Jin, Z., Xu, X., & Chen, H. (2016). Effect of repeated heat-moisture treatments on digestibility, physicochemical and structural properties of sweet potato starch. *Food Hydrocolloids*, 54, 202-210. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.10.002>.

Huang, Y., Zhan, L., Du, B., Li, P., Lin, P., Zheng, J., & Chen, P. (2022). Effects of Inca peanut seed albumin fraction on rheological, thermal and microstructural properties of native corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 194, 626-631. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.106>.

Hui-Yun, K., Ye, S., & Baik, M. (2023). Physicochemical properties of pressure moisture treated (PMT) and heat moisture treated (HMT) starches. *Innovative food science e emerging technologies*, 87, 103392. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103392>.

Jiang, H., Lio, J., Blanco, M., Campbell, M., & Jane, J. (2010). Resistant-starch formation in high-amylose maize starch during Kernel development. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(13), 8043-7. <https://doi.org/10.1021/jf101056y>.

Karmakar, R., Ban, D. K., & Ghosh, U. (2014). Comparative study of native and modified starches isolated from conventional and nonconventional sources. *International Food Research Journal*, 21(2), 597-602.

Kou, X., Luo, D., Li, Y., Xu, B., Zhang, K., Li, P., Li, X., Han, S., & Liu, J. (2018). Effect of inulin with different degree of polymerisation on textural and rheological properties of wheat starch – Effect of inulin on gel properties of starch. *International Journal Food Science Technology*, 53, 2576-2585. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13852>.

Kumar, S. R., Tangsrianugul, N., Sriprablom, J., Winuprasith, T., Wansuksri, R., & Suphantharika, M. (2023). Effects of single and dual modifications with debranching and heat-moisture treatments on physicochemical, rheological, and digestibility properties of proso millet starch. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 6, 100399. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100399>.

Lee, C. S., & Chung, H. J. (2022). Enhancing Resistant Starch Content of High Amylose Rice Starch through Heat–Moisture Treatment for Industrial Application. *Molecules*, 27(19), 6375. <https://doi.org/10.3390/molecules27196375>.

Magel, E. (1991). Qualitative and quantitative determination of starch by a colorimetric method. *Starch-Stärke*, 43(10), 384-387. <https://doi.org/10.1002/star.19910431003>.

Marboh, V., & Mahanta, C. (2020). Physicochemical and rheological properties and in vitro digestibility of heat moisture treated and annealed starch of sohphlang (*Flemingia vestita*) tuber. *International journal of biological macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.065>.

Marboh, V., & Mahanta, C. L. (2023). Rheological and textural properties of sohphlang (*Flemingia vestita*) starch gels as affected by heat moisture treatment and annealing. *Food Chemistry Advances*, 3, 100542. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100542>.

Marta, H., Cahyana, Y., Bintang, S., Soeherman, G. P., & Djali, M. (2022b). Physicochemical and pasting properties of corn starch as affected by hydrothermal modification by various methods. *International journal of food properties*, 25(1), 792-812. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2064490>.

Marta, H., Cahyana, Y., Djali, M., & Pramafisi, G. (2022). The properties, modification, and application of banana starch. *Polymers*, 14(15), 3092. <https://doi.org/10.3390/polym14153092>.

Marta, H., Hasya, H. N. L., Lestari, Z. I., Cahyana, Y., Arifin, H. R., & Nurhasanah, S. (2022). Study of changes in crystallinity and functional properties of modified sago starch (Metroxylon sp.) using physical and chemical treatment. *Polymers*, 14(22), 4845. <https://doi.org/10.3390/polym14224845>.

Marta, H., Rismawati, A., Soeherman, G. P., Cahyana, Y., Djali, M., Yuliana, T., & Sondari, D. (2023). The effect of dual-modification by heat-moisture treatment and octenylsuccinylation on physicochemical and pasting properties of arrowroot starch. *Polymers*, 15(15), 3215. <https://doi.org/10.3390/polym15153215>.

Nyakang'i, C. O., Ebere, R., Marete, E., & Arimi, J. M. (2023). Avocado production in Kenya in relation to the world, Avocado by-products (seeds and peels) functionality and utilization in food products. *Applied Food Research*, 3(1), 100275, <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100275>.

Oktay, S., Pizzi, A., Köken, N., & Bengü. B. (2024). Chemical modification techniques of corn starch for synthesis wood adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 128, 103545. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2023.103545>.

Paramasivam, S. K., Subramaniam, P., Thayumanavan, S., Shiva, K. N., Narayanan, S., Raman, P., & Subbaraya, U. (2023). Influence of chemical modifications on dynamic rheological behaviour, thermal techno-functionalities, morpho-structural characteristics and prebiotic activity of banana starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 249, 126125. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126125>.

Pinto, V. Z., Vanier, N. L., Klein, B., Zavareze, E. de R., Elias, M. C., Gutkoski, L. C., Helbig, E. & Dias, A. R. G. (2012). Physicochemical, crystallinity, pasting and thermal properties of heat-moisture-treated pinhão starch. *Starch-Stärke*, 64, 855-863. <https://doi.org/10.1002/star.201200040>.

Pozo, C., Rodríguez-Llamazares, S., Bouza, R., Barral, L., Castaño, J., Müller, N., & Restrepo, I. (2018). Study of the structural order of native starch granules using combined FTIR and XRD analysis. *Journal of Polymer Research*, 25, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s10965-018-1651-y>.

Pukkahuta, C., Shobsngob, S. & Varavinit, S. (2007). Effect of osmotic pressure on starch: new method of physical modification of starch. *Starch-Stärke*, 59, 78-90. <https://doi.org/10.1002/star.200600509>.

Pukkahuta, C., Shobsngob, S., & Varavinit, S. (2007). Effect of osmotic pressure on starch: New method of physical modification of starch. *Starch-Stärke*, 59(2), 78-90. <https://doi.org/10.1002/star.200600509>.

Pukkahuta, C., Suwannawat, B., Shobsngob, S., & Varavinit, S. (2008). Comparative study of pasting and thermal transition characteristics of osmotic pressure and heat-moisture treated corn starch. *Carbohydrate Polymers*, 72(3), 527-536. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.09.024>.

Punia, S., Dhull, S. B., Kunner, P., & Rohilla, S. (2020). Effect of γ -radiation on physico-chemical, morphological and thermal characteristics of lotus seed (*Nelumbo nucifera*) starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 157, 584-590. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.181>.

Rafiq, S. I., Singh, S., & Saxena, D. C. (2016). Effect of heat-moisture and acid treatment on physicochemical, pasting, thermal and morphological properties of Horse Chestnut (*Aesculus indica*) starch. *Food Hydrocolloids*, 57, 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.01.009>.

Ramos, A. H., Rockenbach, B. A., Ferreira, C. D., Gutkoski, L. C. & de Oliveira, M. (2019). Characteristics of flour and starch isolated from red rice subjected to different drying conditions. *Starch - Stärke*, 71(7-8), 1800257. <https://doi.org/10.1002/star.201800257>.

Ramos-Aguilar, A. L., Ornelas-Paz, J., Tapia-Vargas, L. M., Gardea-Béjar, A. A., Yahia, E. M., Ornelas-Paz, J. de J., Ruiz-Cruz, S., Rios-Velasco, C., & Escalante-Minakata, P. (2021). Effect of cultivar on the content of selected phytochemicals in avocado peels. *Food Research International*, 140, 110024. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110024>.

Ribeiro, V. H. D. A., Cavalcanti-Mata, M. E. R. M., Almeida, R. L. J., & Silva, V. M. D. A. (2023). Characterization and Evaluation of Heat–Moisture-Modified Black and Red Rice Starch: Physicochemical, Microstructural, and Functional Properties. *Foods*, 12(23), 4222. <https://doi.org/10.3390/foods12234222>.

Rincón-Londoño, N., Millan-Malo, B., & Rodríguez-García, M. E. (2016). Analysis of thermal pasting profile in corn starch rich in amylose and amylopectin: Physicochemical transformations, part II. *International Journal of Biological Macromolecules*, 89, 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.04.057>.

Santos, N. C., Almeida, R. L. J., de Medeiros, M. F. D., Hoskin, R. T., & Pedrini, M. R. S. (2022). Foaming characteristics and impact of ethanol pretreatment in drying behavior and physical characteristics for avocado pulp powder obtained by foam mat drying. *Journal of Food Science*, 87, 1780–1795. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16123>.

Schafrański, K., Ito, V. C., & Lacerda, L. G. (2021). Impacts and potential applications: A review of the modification of starches by heat-moisture treatment (HMT). *Food Hydrocolloids*, 117, 106690. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106690>.

Segovia-Siapco, G., Paalani, M., Oda, K., Pribis, P., & Sabaté, J. (2021). Associations between Avocado Consumption and Diet Quality, Dietary Intake, Measures of Obesity and Body Composition in Adolescents: The Teen Food and Development Study. *Nutrients*, 13. <https://doi.org/10.3390/nu13124489>.

Sodhi, N. S., & Singh, N. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food Chemistry*, *80*(1), 99-108. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00246-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00246-7).

Su, Q., Cai, S., Duan, Q., Huang, W., Huang, Y., Chen, P., & Xie, F. (2024). Combined effect of heat moisture and ultrasound treatment on the physicochemical, thermal and structural properties of new variety of purple rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, *261*(2), 129748. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129748>.

Tan, X., Li, X., Chen, L., Xie, F., Li, L., & Huang, J. (2017). Effect of heat-moisture treatment on multi-scale structures and physicochemical properties of breadfruit starch. *Carbohydrate polymers*, *161*, 286-294. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.029>.

Tangsrianugul, N., Wongsagonup, R., & Suphantharika, M. (2019). Physicochemical and rheological properties of flour and starch from Thai pigmented rice cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, *137*, 666-675. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.196>.

Tesfaye, T., Gibril, M., Sithole, B., Ramjugernath, D., Chavan, R., Chunilall, V., & Gounde, N. (2018). Valorisation of avocado seeds: extraction and characterisation of starch for textile applications. *Clean Techn Environ Policy*, *20*(9), 2135–2154. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1597-0>.

Thirumdas, R., Kadam, D., & Annapure, U. S. (2017). Cold plasma: an alternative technology for the starch modification. *Food Biophysics*, *12*(1), 129–139. <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9468-5>.

Valdez-Arana, J., Steffolani, M. E., Repo-Carrasco-Valencia, R., Pérez, G. T., & Condezo-Hoyos, L. (2020). Physicochemical and functional properties of isolated starch and their correlation with flour from the Andean Peruvian quinoa varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, *147*, 997-1007. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.067>.

Wen, Y., Yao, T., Xu, Y., Corke, H., & Sui, Z. (2020). Pasting, thermal and rheological properties of octenylsuccinylate modified starches from diverse small granule starches differing in amylose content. *Journal of Cereal Science*, *95*, 103030. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103030>.

Wu, K., Li, C., Li Z., Gu, Z., Ban, X., Hong, Y., Cheng, L., & Kong, H. (2024). Enzymatic modification lowers syneresis in corn starch gels during freeze–thaw cycles through 1,4- α -glucan branching enzyme. *International Journal of Biological Macromolecules*, *269*(2), 132183. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132183>.

CAPÍTULO 6:
CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A rota de secagem em leito de jorro se mostrou eficiente, proporcionando rendimentos superiores a 50% para as pastas de amido da semente de abacate. O amido obtido apresentou características desejáveis, com destaque para o amido conduzido a 70 °C, proporcionado alto conteúdo de amido e amilose, além de bom poder de inchaço e grânulos com superfície lisa e oval. A temperatura não foi um fator predominante para alterar a estrutura morfológica dos grânulos de amido, no entanto, à medida que a temperatura de secagem aumentou, os grânulos de amido apresentaram um aumento no seu diâmetro médio.

As propriedades de textura dos géis e a cristalinidade não foram afetadas pela temperatura de secagem, o que é positivo para aplicações industriais que requerem consistência nas propriedades funcionais. Já as altas temperaturas de conclusão (>130 °C) e entalpia de gelatinização (14,18-15,49 J/g) obtidas pela análise de DSC, demonstram a alta funcionalidade do amido da semente de abacate.

As modificações isoladas ou combinadas (HMT, OPT, HMT+OPT e OPT+HMT) aplicadas ao amido da semente de abacate afetaram o teor de amido, amilose e amilopectina, a capacidade de absorção de água, óleo e leite, o poder de inchamento e solubilidade. A combinação dos métodos, na ordem OPT+HMT destacou-se para o teor de amido e amilopectina, indicando potencial para aplicações que demandam alta concentração desses componentes.

No entanto, os tratamentos por HMT demonstraram menor sinérese e preservação das características de textura, sugerindo aplicabilidade em produtos que requerem estabilidade e consistência. Os tratamentos simples e duplos influenciaram a estrutura dos grânulos de amido, com distorções e aglomerações, e aumento no seu diâmetro, e essas diferenças foram mais pronunciadas no HMT+OPT e OPT+HMT. Houve uma redução na cristalinidade do amido, e foi observado que o tratamento por OPT resultaram em maiores valores, indicando alterações na organização molecular do amido.

No padrão de difração de Raio-X, os resultados mostraram que a intensidade dos picos foi menor para o tratamento HMT, seguido pelo OPT. No caso das modificações duplas, a ordem OPT+HMT apresentou maior intensidade dos picos, já para a cristalinidade, o tratamento por OPT apresentou o maior valor de CR (23,55%). Para o FT-IR, as duplas modificações apresentaram as menores intensidades, sendo que OPT+HMT foi o menos intenso, além disso, não houve formação de novos grupos

funcionais. Por fim, O OPT+HMT apresentou valores mais elevados de T_o , T_p e T_c , e podemos associar o aumento nos valores de T_c a uma provável formação de amido resistente, além disso, a entalpia de gelatinização (ΔH) diminuiu substancialmente com o tratamento por HMT+OPT.

Portanto, o amido da semente de abacate, especialmente após a secagem em leito de jorro e aplicação das modificações por calor-umidade e pressão osmótica, apresenta potencial para diversas aplicações industriais. No entanto, como sugestões de trabalho futuros, seria explorar a fluidodinâmica aplicada ao processo de secagem em leito de jorro e avaliações mais detalhadas para compreender o comportamento do amido modificado em diferentes formulações alimentares e condições de processamento.