



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO

TAÍS HELENA GOUVEIA RODRIGUES

**POTENCIAL TECNOLÓGICO E FUNCIONAL DO AMIDO DA BATATA-DOCE DE
POLPA ALARANJADA CULTIVAR *BEAUREGARD***

Recife
2025

TAÍS HELENA GOUVEIA RODRIGUES

**POTENCIAL TECNOLÓGICO E FUNCIONAL DO AMIDO DA BATATA-DOCE DE
POLPA ALARANJADA CULTIVAR *BEAUREGARD***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Doutor em Nutrição. Área de concentração: Ciências dos Alimentos.

Orientador (a): Tânia Lúcia Montenegro Stamford

Coorientador (a): Silvana Gonçalves Brito de Arruda

Recife

2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Rodrigues, Taís Helena Gouveia.

Potencial tecnológico e funcional do amido da batata-doce de polpa alaranjada cultivar Beauregard / Taís Helena Gouveia Rodrigues. - Recife, 2025.
140f.: il.

Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Nutrição, 2025.
Orientação: Tânia Lúcia Montenegro Stamford.
Coorientação: Silvana Gonçalves Brito de Arruda.

1. Amido da batata-doce; 2. Cultivar Beauregard; 3. Propriedades tecnológicas; 4. Propriedades funcionais do amido; 5. Análise reológica. I. Stamford, Tânia Lúcia Montenegro. II. Arruda, Silvana Gonçalves Brito de. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

TAÍS HELENA GOUVEIA RODRIGUES

**POTENCIAL TECNOLÓGICO E FUNCIONAL DO AMIDO DA BATATA-DOCE DE
POLPA ALARANJADA CULTIVAR *BEAUREGARD***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco, na área de concentração Ciência dos Alimentos, como requisito para obtenção do título de Doutor(a) em Nutrição.

Aprovado em: 04 / 09 / 2025.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
MARGARIDA ANGELICA DA SILVA VASCONCELOS
Data: 24/09/2025 11:26:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Margarida Angelica da Silva Vasconcelos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE



Documento assinado digitalmente
JENYFFER MEDEIROS CAMPOS GUERRA
Data: 19/09/2025 07:49:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Jenyffer Medeiros Campos Guerra (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE



Documento assinado digitalmente
TANIA LUCIA MONTENEGRO STAMFORD
Data: 22/09/2025 08:55:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Tânia Lúcia Montenegro Stamford (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE



Documento assinado digitalmente

CARLOS EDUARDO VASCONCELOS DE OLIVEIRA

Data: 23/09/2025 08:25:49-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^o. Carlos Eduardo Vasconcelos de Oliveira (Examinador Externo)
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



Documento assinado digitalmente

LUCIA RAQUEL RAMOS BERGER

Data: 25/09/2025 07:47:08-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Lúcia Raquel Ramos Berger (Examinador Externo)
University of Salford - Reino Unido/Inglaterra

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, pelo apoio incondicional e por todo o incentivo, por segurarem minha mão nos dias difíceis e celebrarem comigo cada pequena conquista ao longo dessa jornada.

Aos meus amigos, que foram porto seguro durante o percurso: obrigada por ouvirem minhas reclamações, celebrarem minhas vitórias e por nunca deixarem que eu me sentisse sozinha. O afeto de vocês foi essencial!

Agradeço à minha orientadora, Prof^a. Tânia Stamford, pela oportunidade de desenvolver este trabalho e por todo o aprendizado proporcionado durante o doutorado. Cada orientação contribuiu para minha formação acadêmica e profissional, e sou grata por essa etapa da caminhada.

Minha eterna gratidão à minha coorientadora, Prof^a. Silvana Arruda, que me acompanha desde a graduação e nunca desistiu de mim. Obrigada por acreditar no meu potencial mesmo quando eu mesma tive dúvidas. Sua generosidade, paciência e dedicação marcaram profundamente a minha trajetória. Você foi muito mais que uma coorientadora: foi mentora, conselheira e inspiração. Tenho enorme carinho e admiração por tudo que representa na minha vida acadêmica.

Agradeço à FACEPE pelo apoio financeiro que subsidiou o desenvolvimento deste projeto e possibilitou a execução de cada etapa com a qualidade necessária.

Aos laboratórios do Centro Universitário Tabosa de Almeida (ASCES/UNITA), do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) e do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), meu agradecimento por disponibilizarem suas estruturas para a realização das análises. Agradeço especialmente aos técnicos de cada instituição, pela ajuda incansável, pela disponibilidade e pela contribuição na interpretação dos dados que fundamentam esta pesquisa.

Por fim, encerro este trabalho com o coração cheio de gratidão e orgulho. Foi uma caminhada intensa, repleta de desafios e aprendizados, mas que me transformou profundamente. Olhar para o que construí até aqui me faz acreditar que todo esforço valeu a pena. Esta tese é fruto de muitos sonhos e de uma dedicação sincera à ciência e à nutrição e, acima de tudo, é prova de que sou capaz.

RESUMO

A batata-doce de polpa alaranjada (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) cultivar *Beauregard* destaca-se por seu valor nutricional e potencial tecnológico. Esta pesquisa teve como objetivo caracterizar o amido extraído dessa cultivar e avaliar sua aplicação no desenvolvimento de biscoitos. O amido foi obtido por via úmida e submetido a análises físico-químicas, composição mineral, teor de amilose e amilopectina, morfologia granular, digestibilidade *in vitro*, propriedades funcionais (absorção e solubilidade em água/leite), comportamento térmico, perfil viscoamilográfico e resistência dos géis sob estresses (térmico, ácido e congelamento). Em seguida, foram elaboradas três formulações de biscoitos com substituição progressiva de amido de milho por amido de batata-doce (0%, 50% e 100%). As amostras foram analisadas quanto ao perfil microbiológico, físico-químico, aceitabilidade sensorial por meio da escala hedônica de 9 pontos (para cor, odor, aparência, sabor e textura) e amostra preferida. O amido *Beauregard* demonstrou elevada pureza, grânulos de formato oval e superfície lisa, boa capacidade de absorção e solubilidade em leite, presença de amido resistente e alta estabilidade sob condições adversas. A formulação com 50% de substituição obteve os melhores escores sensoriais demonstrando boa aceitação. Conclui-se que o amido da cultivar *Beauregard* apresenta propriedades tecnológicas e funcionais promissoras, sendo uma alternativa viável para a formulação de produtos isentos de glúten, contribuindo para a diversificação e agregação de valor nutricional em alimentos processados.

Palavras-chave: Amido da Batata-doce; Cultivar Beauregard; Propriedades tecnológicas; Propriedades funcionais do amido; Análise reológica.

ABSTRACT

The orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) cultivar Beauregard stands out for its nutritional value and technological potential. This study aimed to characterize the starch extracted from this cultivar and evaluate its application in the development of cookies. The starch was obtained using the wet extraction method and subjected to physicochemical analyses, mineral composition, amylose and amylopectin content, granule morphology, in vitro digestibility, functional properties (absorption and solubility in water/milk), thermal behavior, pasting properties, and gel resistance under stress conditions (thermal, acidic, and freezing). Subsequently, three cookie formulations were prepared with progressive substitution of corn starch by sweet potato starch (0%, 50%, and 100%). The samples were analyzed for microbiological, physicochemical, sensory characteristics using a 9-point hedonic scale (evaluating color, odor, appearance, flavor, and texture) and preferred sample. Beauregard starch showed high purity, oval-shaped granules with smooth surfaces, good absorption capacity, solubility in milk, presence of resistant starch, and high stability under adverse conditions. The formulation with 50% substitution achieved the best sensory scores, indicating good acceptance. It is concluded that starch from the Beauregard cultivar presents promising technological and functional properties, being a viable alternative for the formulation of gluten-free products and contributing to the diversification and added nutritional value of processed foods.

Keywords: Sweet Potato Starch; Beauregard Cultivar; Technological Properties; Functional Properties of Starch; Rheological Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspecto da casca de algumas variedades de batata-doce cultivadas no Brasil.....	10
Figura 2. Aquisição domiciliar per capita anual de batata-doce (quilogramas), por Unidade da Federação.....	12
Figura 3. Prevalência de deficiência de vitamina A entre crianças de 6 a 59 meses para o Brasil e segundo macrorregião.....	13
Figura 4. Batata-doce descascada Biofortificada de cultivar <i>Beauregard</i> adquiridas na feira Municipal de Sapé/Paraíba usadas na presente pesquisa.....	15
Figura 5. Fórmula estrutural da amilose (A) e amilopectina (B).....	17
Figura 6. Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C.....	18
Figura 7. Micrografia (x1000) de amido de batata-doce.....	20
Figura 8. Fases do amido durante a gelatinização e retrogradação.....	23
Figura 9. Fluxograma da metodologia de análise de géis de amido em condição de estresse de esterilização pelo calor.....	37
Figura 10. Fluxograma da metodologia de análise de géis de amido em condição de estresse de acidez.....	38
Figura 11. Fluxograma da metodologia de análise de géis de amido em condição de estresse de congelamento e congelamento/descongelamento.....	39
Figura 12. Etapas-teste de extração do amido da Batata-doce <i>Beauregard</i>	47
Figura 13. Morfologia do amido da Batata doce <i>Beauregard</i> em MEV a 15 kV, com ampliação de 2.00 e 5.00 kx, de tamanhos 20 e 10 µm, respectivamente.....	58
Figura 14. Morfologia do amido da Batata doce <i>Beauregard</i> em MEV a 15 kV, com ampliação de 10.00 kx e tamanho de 5 µm.....	58
Figura 15. Sinerese (%) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento após o estresse de esterilização.....	68
Figura 16. Sinerese (%) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de pH e temperatura.....	70

Figura 17. Sinerese (%) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento após o estresse de congelamento e congelamento/descongelamento.....	72
Figura 18. Firmeza (%) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento após o estresse de esterilização.....	74
Figura 19. Firmeza (%) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de pH e temperatura.....	76
Figura 20. Firmeza (%) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento após o estresse de congelamento e congelamento/descongelamento.....	78
Figura 21. Viscosidade (cP) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento após o estresse de esterilização.....	80
Figura 22. Viscosidade (cP) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de pH e temperatura.....	81
Figura 23. Viscosidade (cP) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento após o estresse de congelamento e congelamento/descongelamento.....	83
Figura 24. Distribuição dos escores sensoriais atribuídos às formulações F1 (100% amido de milho), F2 (50% amido de milho e 50% amido de batata-doce Beauregard) e F3 (100% amido de batata-doce Beauregard) quanto aos atributos de (A) Cor, (B) Odor, (C) Aparência, (D) Sabor e (E) Textura.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Morfologia granular observada pelo MEV de diferentes fontes botânicas de amido.	19
Tabela 2. Faixa de temperatura de gelatinização para o amido de diferentes espécies botânicas.....	22
Tabela 3. Lista de ingredientes da formulação do biscoito experimental com substituição total e formulação padrão de amido de milho pelo amido da batata-doce de variedade <i>Beauregard</i>	41
Tabela 4. Caracterização físico-química do amido extraído da Batata-doce biofortificada de cultivar <i>Beauregard</i>	47
Tabela 5. Composição de minerais do amido extraído da Batata-doce biofortificada de cultivar <i>Beauregard</i>	51
Tabela 6. Digestibilidade <i>in vitro</i> do amido da Batata doce <i>Beauregard</i>	60
Tabela 7. Dados da análise viscoamilográfica RVA do amido da Batata doce <i>Beauregard</i>	62
Tabela 8. Dados da análise CDV do amido da Batata doce <i>Beauregard</i>	64
Tabela 9. Determinação de Índice de Absorção e Índice de Solubilidade em Água e Leite do amido extraído da Batata-doce biofortificada de cultivar <i>Beauregard</i>	65
Tabela 10. Perfil microbiológico das formulações para os principais microrganismos indicados pela legislação vigente (RDC nº 331/2019 e IN nº 60/2019) para biscoitos sem recheio e sem cobertura.....	84
Tabela 11. Perfil físico-químico (g/100g) das formulações de biscoitos elaboradas com amido de milho e/ou amido de batata-doce da cultivar <i>Beauregard</i>	86
Tabela 12. Perfil físico das formulações elaboradas com amido de milho e/ou amido de batata-doce da cultivar <i>Beauregard</i>	90
Tabela 13. Notas fornecidas pelos consumidores quanto ao índice de aceitabilidade (%) para cor, odor, sabor, textura e aparência de formulações elaboradas com amido de milho e/ou amido de batata-doce da cultivar <i>Beauregard</i>	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDPA – Batata-doce biofortificada de polpa alaranjada

B.O.D. – *Biochemical Oxygen Demand* (Demanda Bioquímica de Oxigênio)

DRI – *Dietary Reference Intakes* (Ingestão Dietética de Referência)

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

DSC – Calorimetria Diferencial de Varredura

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

POF – Pesquisa de Orçamentos Familiares

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

CIP – Centro Internacional de la Papa

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

g - Gramas

h - Hora

kg - Quilograma

kV - Quilovolt

m - Metro

mm - Milímetro

nm - Nanômetro

rpm - Rotações por minuto

v - Volume

μm - Micrômetro

°C - Graus Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 BATATA-DOCE (<i>Ipomoea batatas</i> L. Lam)	9
2.2 BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL	11
2.3 BATATA DOCE BIOFORTIFICADA DE CULTIVAR <i>BEAUREGARD</i>	14
2.4 AMIDO: CARACTERÍSTICAS GERAIS	15
2.4.1 Poder de inchamento e solubilidade	19
2.4.2 Gelatinização	20
2.4.3 Retrogradação	21
2.5 NOVAS FONTES DE AMIDO E SEU POTENCIAL TECNOLÓGICO	23
2.6 ANÁLISE SENSORIAL	24
3 HIPÓTESE	27
4 OBJETIVOS	28
4.1 OBJETIVO GERAL	28
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
5 MATERIAIS E MÉTODOS	29
5.1 MATÉRIA-PRIMA	29
5.2 HIGIENIZAÇÃO, DESCASCAMENTO E FATIAMENTO	29
5.3 EXTRAÇÃO DO AMIDO	29
5.4 RENDIMENTO DO AMIDO	30
5.5 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO AMIDO	30
5.6 DETERMINAÇÃO DE MACRO E MICROMINERAIS	31
5.7 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AMIOLOSE E AMILOPECTINA	31
5.8 DETERMINAÇÃO DA FORMA E TAMANHOS DOS GRÂNULOS	31
5.9 DETERMINAÇÃO DA DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i> DO AMIDO	31
5.10 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA PASTA	32
5.11 DETERMINAÇÃO DO GRAU DE GELATINIZAÇÃO DA PASTA	33
5.12 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO (IA) E SOLUBILIDADE (IS) EM ÁGUA E EM LEITE	33
5.13 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS GÉIS DO AMIDO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSES	34

5.13.1 Preparo dos géis para as condições de estresses de esterilização, acidez, congelamento e congelamento/descongelamento.....	35
5.13.2 Armazenamento de géis sujeitos a estresse de esterilização pelo calor .	35
5.13.3 Armazenamento de géis sujeitos a estresse de acidez	36
5.13.4 Armazenamento de géis sujeitos a estresse congelamento e congelamento/descongelamento	37
5.14 ANÁLISES DAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE	38
5.14.1 Sinerese.....	38
5.14.2 Firmeza dos géis.....	39
5.14.3 Viscosidade	39
5.15 ANÁLISES MICROBIOLÓGICA, FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DOS BISCOITOS	39
5.15.2 Análise microbiológica	41
5.15.3 Análises físico-químicas	41
5.15.4 Análises físicas	41
5.15.5 Análise sensorial.....	43
5.16 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	44
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
6.1 EXTRAÇÃO DO AMIDO	46
6.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO AMIDO.....	47
6.3 COMPOSIÇÃO DE MACRO E MICRO MINERAIS DO AMIDO	51
6.5 FORMA E TAMANHOS DOS GRÂNULOS DO AMIDO.....	57
6.6 DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i> DO AMIDO	59
6.7 PROPRIEDADES DA PASTA	61
6.8 GRAU DE GELATINIZAÇÃO DA PASTA	63
6.9 ÍNDICE DE ABSORÇÃO (IA) E SOLUBILIDADE (IS) EM ÁGUA E EM LEITE	65
6.10 CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DOS GÉIS DO AMIDO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE TERMICO E VARIAÇÕES DE pH.....	67
6.10.1 SENERESE DOS GÉIS.....	67
6.10.1.1 Estresse de esterelização.....	67
6.10.1.2 Estresse de acidez.....	69
6.10.1.3 Estresse de congelamento e congelamento/descongelamento	71
6.10.2 FIRMEZA DOS GÉIS	73
6.10.2.1 Estresse de esterelização	73
6.10.2.2 Estresse de acidez.....	75

6.10.2.3 Estresse de congelamento e congelamento/descongelamento	78
6.10.3 VISCOSIDADE DOS GÉIS	79
6.10.3.1 Estresse de esterelização	79
6.10.3.2 Estresse de acidez	81
6.10.3.3 Estresse de congelamento e congelamento/descongelamento	82
6.11 ANÁLISE SENSORIAL E ESPECÍFICA DOS BISCOITOS	84
6.11.1 Perfil Microbiológico	84
6.11.2 Perfil Físico-químico	86
6.11.3 Perfil físico dos Biscoitos	90
6.11.4 Perfil do Painel de Avaliadores	92
6.11.4 Análise Sensorial Afetiva	94
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
REFERÊNCIAS	103
APÊNDICES	121
APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)	121
APÊNDICE B – Questionário de Recrutamento para Teste Sensorial	123
APÊNDICE C - Ficha de Análise Sensorial Afetiva	125
APÊNDICE D – “Propriedades funcionais e inovações tecnológicas da batata-doce <i>Beauregard</i> : uma revisão de literatura”	126

1 INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L. Lam) é considerada o sexto alimento mais importante do mundo, e a quarta raiz mais consumida por países tropicais (SAPKHOVA et al., 2023). Por apresentar fácil manutenção e boa tolerância a períodos de estresse hídrico, o Nordeste se destaca por ser o segundo maior produtor nacional de batata-doce (IBGE, 2023). Atualmente as estatísticas confirmam que a produção de batata-doce no Brasil atingiu 847 mil toneladas, com a região Nordeste sendo responsável por uma grande parte dessa produção, consolidando-se como uma das regiões mais relevantes nesse cultivo (VIEIRA et al., 2023). Tal fato apresenta grande relevância, visto que permite uma produção em grande escala e baixo custo, além de fomentar a agricultura familiar, contribuindo no âmbito econômico e na saúde da população local (VITAL; MESSIA, 2020).

Diante das características de produção, a batata-doce biofortificada de polpa alaranjada (BDPA) de variedade *Beauregard* foi desenvolvida pela Louisiana Agricultural Experiment Station (EUA), em 1981, trazidas ao Brasil através da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), sob a alcunha da Rede BioFORT (BIOFORT, 2020). A cor laranja da polpa sinaliza a presença de alto teor de betacaroteno, precursor da vitamina A (até dez vezes superiores a outros cultivares) além de micronutrientes importantes para o organismo humano (VIZZOTTO et al., 2018; PILON et al., 2021). Além disso, o principal constituinte da batata-doce é o amido, correspondendo a 30 – 80g/100g da matéria seca do tubérculo (HUANG et al., 2015).

O amido desempenha papéis funcionais importantes no desenvolvimento de produtos alimentícios como espessante, estabilizador ou intensificador de textura (TSAI; LAI, 2021). Os amidos de diferentes cultivares também apresentam diferentes propriedades físicas e componentes químicos únicos que incluem tamanho do grânulo, poder de dilatação e solubilidade, propriedades de pasta de amido, propriedades de colagem e digestibilidade *in vitro* (TONG et al., 2018).

Wang et al. (2020) ao analisar as características físico-químicas do amido de oito variedades de batata-doce (polpas brancas, laranjas e roxas) descobriram que as propriedades texturais, reológicas e de gelatinização de todas apresentaram grande potencial de aplicação na indústria alimentícia. Lee e Lee (2017) analisaram o amido de variedades de batata-doce laranja, roxa e branca; Zhang et al. (2018) analisaram

o amido de uma variedade de batata-doce de polpa roxa e seis outras de genótipos com melhoramento avançado; Guo et al. (2019) analisaram amidos de variedades de batata-doce amarela, branca e roxa; Todos estes apresentaram diferenças entre si no que diz respeito a tamanho dos grânulos, poder de expansão e solubilidade, teor de amilose e em propriedades térmicas de colagem.

As propriedades estruturais e funcionais do amido determinam sua qualidade e aplicações, e estas, dependerão de sua origem, variações de genótipos e formas de cultivo, o que justifica o crescimento exponencial de pesquisas com a intenção de encontrar novas fontes de amido para atribuir a produtos alimentícios características diferentes dos demais produtos já comercializados (CRUZ et al., 2022). Desta forma, a análise sensorial desempenha um papel crucial na descoberta e desenvolvimento desses novos produtos alimentícios. Através dela, é possível verificar a aceitação de um produto pelo consumidor, considerando aspectos como textura, sabor, aparência e aroma, elementos fundamentais que influenciam diretamente a preferência de mercado (FIORENTINI et al., 2020). No caso de produtos à base de amido de batata-doce, essa análise permite identificar a melhor forma de utilização do amido como espessante ou estabilizador, assegurando que o produto final tenha as características desejadas pelo consumidor (YANG et al., 2021; MUSHOLLINI et al., 2024). Além disso, testes sensoriais são essenciais para ajustar a formulação de novos alimentos e garantir que as propriedades texturais, como maciez e crocância, estejam alinhadas com as expectativas do público-alvo (YANG et al., 2024).

Diante do exposto, esta pesquisa propôs determinar as características físico-químicas do amido presente na batata-doce de variedade *Beauregard*, bem como, avaliou o potencial tecnológico a partir do comportamento sob tipos de estresses aplicados na industrialização de alimentos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BATATA-DOCE (*Ipomoea batatas* L. Lam)

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), pertence à família Convolvulaceae, originária do Noroeste da América do Sul. É a única espécie desta família destinada a fins alimentícios, uma das raízes mais populares a nível mundial (MCGEE, 2014). Destaca-se a pluralidade das variedades cultivadas que se distinguem pelo tamanho, forma, textura, sabor, além de diversas tonalidades na cor da casca (branca, creme, amarela, laranja e roxa) e da polpa (branca, creme, amarela, laranja, rosa, vermelha e roxa) como ilustra a Figura 1. Essa variação de cor se deve a quantidade e variedade dos compostos presentes na batata-doce, como por exemplo, antocianinas e carotenoides, estes amplamente difundidos na cultura (FAN et al., 2007; KIM et al., 2015).

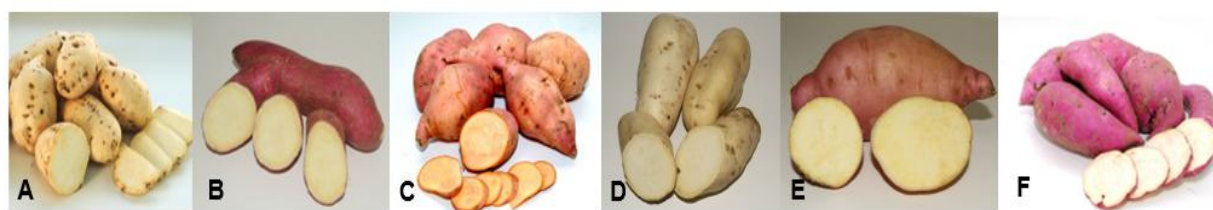


Figura 1. Aspecto da casca de algumas variedades de batata-doce cultivadas no Brasil.

Nota: A: BRS Cuia; B: Brazlândia Roxa; C: BRS Amélia; D: Brazlândia Branca; E: Brazlândia Rosada; F: BRS Rubissol. Fonte: EMBRAPA (2024).

A batata-doce é considerada um alimento nutritivo e funcional devido ao seu baixo índice glicêmico, elevados teores de fibra, vitaminas (A, C e B6) e minerais (ferro, magnésio e potássio). Este reconhecimento foi também concedido pela CSPI (*Center for Science in Public Interest*) que, tendo por base estudos sobre os efeitos do consumo regular de alimentos, classificou a batata-doce na primeira posição, de entre um grupo de 10 alimentos tidos como benéficos para a saúde humana. As razões que justificam esta posição são atribuídas às propriedades antidiabética, anti-inflamatória, antialérgica, antimicrobiana e vasodilatadora, associadas ao consumo de batata-doce (JOSÉ, 2012; BERNI et al., 2015).

Estudos de caracterização nutricional realizados em diferentes variedades de batata-doce cultivada em Portugal, no âmbito do Grupo Operacional “Batata-doce competitiva e sustentável no Perímetro de Rega do Mira” (+BDMIRA), salientam ainda a importância da componente funcional, atribuída nesta raiz à presença de β -caroteno

(precursor da vitamina A) nas variedades alaranjadas e à presença de fenólicos (antocianinas), nas variedades roxas (SÁNCHEZ et al., 2019). Esta composição de caráter antioxidante desempenha ainda um importante papel para a saúde, nomeadamente na diminuição do estresse oxidativo (eliminação de radicais livres) como forma de prevenir o envelhecimento e o desenvolvimento de algumas doenças do foro oncológico.

A produção mundial de batata-doce, concentra-se maioritariamente no continente Asiático, sendo a China o principal país produtor. Na Europa, destacam-se Espanha, Portugal, Itália e França, como os principais produtores. Já no continente Americano, os principais produtores de batata-doce são: Estados Unidos, Brasil, Argentina, Peru, Cuba, Jamaica, Porto Rico e Venezuela (FAOSTAT, 2021). Suas características morfológicas são marcadas por ter predominância em áreas para plantio em cerrados, caatinga e também lugares semiáridos, o seu cultivo é rústico, portanto sua produção tem um grande desenvolvimento em lugares secos (GARCIA, 2013).

Devido a estas características, o cultivo da batata doce tem despertado interesse e a atenção de vários pesquisadores no Brasil pelas suas características diversas, pois é uma opção para os pequenos e médios agricultores que queiram investir em uma lavoura que não exige muito investimento por ser um plantio bruto, é uma fonte de renda devido a sua comercialização em mercados (OLIVEIRA, 2016).

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, apresentados na pesquisa denominada Produção Agrícola Municipal - PAM de 2020, as principais regiões produtoras de batata-doce no Brasil são Nordeste (317,3 mil toneladas), Sul (252,9 mil toneladas), e Sudeste (214,0 mil toneladas). Dentre os dez maiores estados produtores, Sergipe, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba e Alagoas apresentam produtividades equivalentes à média nacional, perdendo para o Rio Grande do Sul seguido pelo estado de São Paulo (IBGE, 2020).

Segundo o último levantamento de pesquisa do orçamento familiar (POF) 2017-2018, realizado pelo IBGE, a aquisição anual per capita de batata-doce no Brasil foi de aproximadamente 1,34 kg. Os maiores consumidores foram Paraíba, com 2,142 kg per capita; Pernambuco, com 1,473 kg per capita; Santa Catarina, com 1,264 kg per capita; e o Rio Grande do Sul, com 1,189 kg per capita (Figura 2). É possível observar pelo mapa abaixo que as regiões Sul e Nordeste, que constituíam os maiores consumidores, estão atualmente entre os maiores produtores (EMBRAPA, 2021).

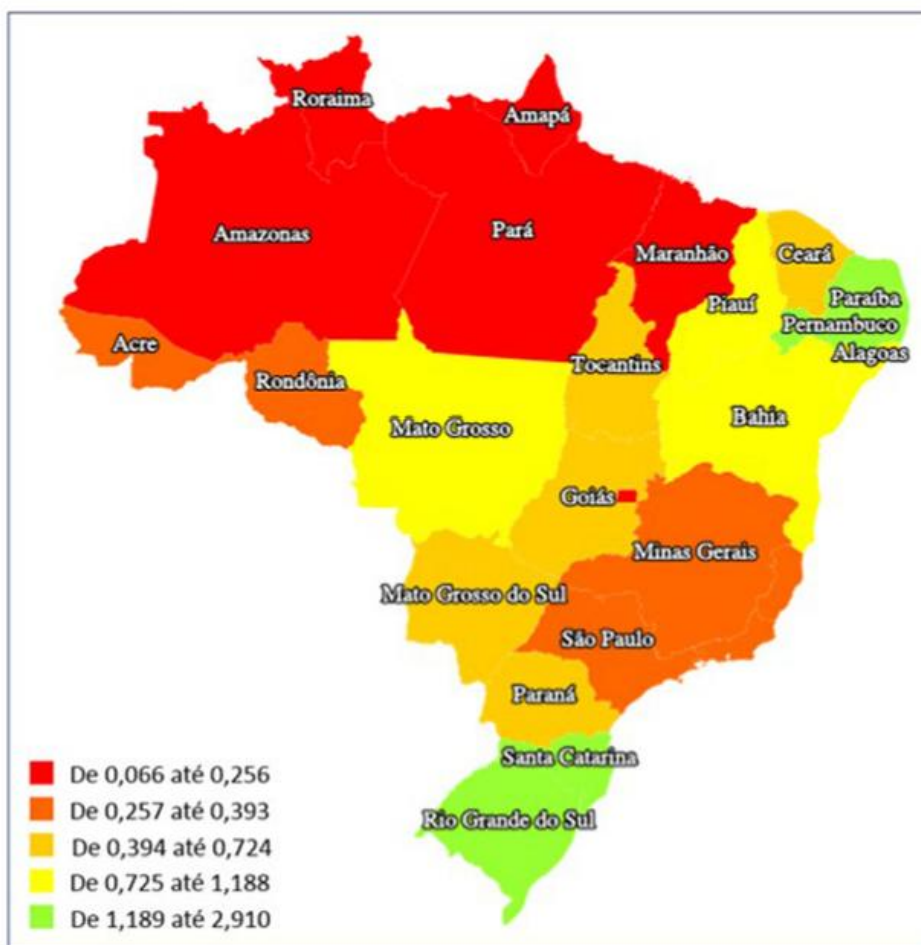


Figura 2. Aquisição domiciliar per capita anual de batata-doce (quilogramas), por Unidade da Federação. Fonte: EMBRAPA (2021).

2.2 BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL

A fome oculta é um fenômeno que atinge pessoas no mundo inteiro, desde as mais necessitadas nos países subdesenvolvidos até aquelas com maior poder aquisitivo nos países desenvolvidos. Trata-se de um estado de carência nutricional, seja pela falta de acesso a uma alimentação completa e de qualidade, seja pelo consumo de alimentos de alto teor calórico e de incompleto valor nutricional (PIRES, 2021).

No entanto, o problema torna-se mais preocupante em regiões menos desenvolvidas e, conseqüentemente, mais pobres. Nestes casos, os grupos prioritários são as crianças na pré-escola, as gestantes, as lactantes e os idosos. O déficit de micronutrientes como ferro, zinco e beta-caroteno (pró-vitamina A) compromete o desenvolvimento físico e intelectual de crianças, perdurando por toda

a sua vida, podendo levar à cegueira (no caso da deficiência de vitamina A) e à morte prematura, principalmente em crianças até cinco anos de idade.

Observa-se na Figura 3 que a prevalência de deficiência de vitamina A foi de 6,0% no Brasil, sendo maior nas regiões Centro-Oeste (9,5%), Sul (8,9%) e Norte (8,3%) e menor na região Sudeste (4,3%). A diferença foi estatisticamente significativa entre as regiões Centro-Oeste e Sudeste e entre Norte e Sudeste (ENANI, 2019).

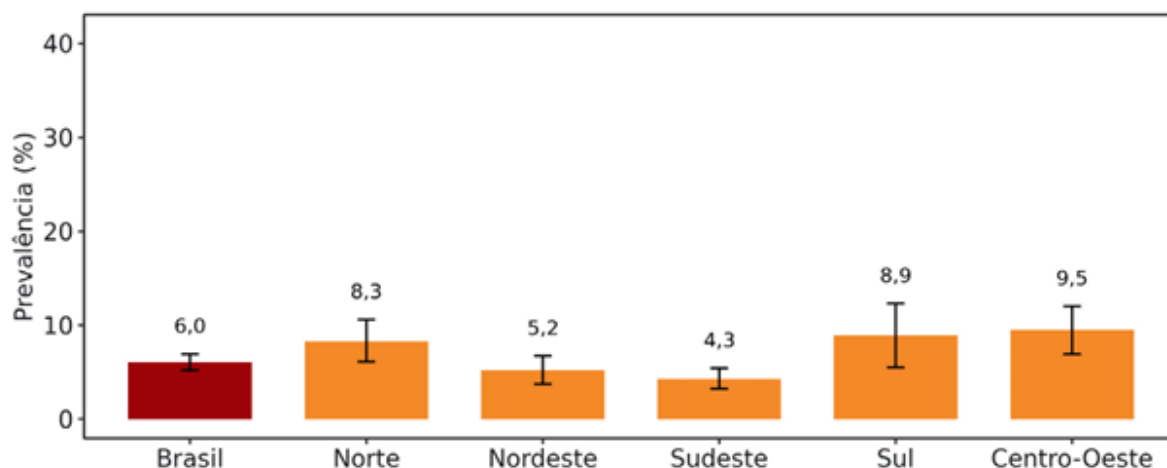


Figura 3. Prevalência de deficiência de vitamina A entre crianças de 6 a 59 meses para o Brasil e segundo macrorregião. Fonte: ENANI (2019).

Sendo assim, na busca de uma opção que alcance as populações mais necessitadas, surge a técnica de biofortificação. Segundo Nutti (2010), os produtos agrícolas biofortificados constituem uma alternativa para complementar as intervenções em andamento, proporcionando uma maneira sustentável e de baixo custo para alcançar as populações carentes. Os estudos sobre biofortificação de alimentos tiveram início nos Estados Unidos no início dos anos 1990, quando Howarth Bouis, economista do Instituto Internacional de Pesquisa em Políticas Alimentares (IFPRI), fez a seguinte pergunta a si mesmo: e se as plantas pudessem fazer parte desse trabalho, de combate à fome oculta, por nós? Essa pergunta (talvez oriunda do ócio criativo) deu origem à biofortificação de alimentos e, uma década depois, ao *HarvestPlus*, um programa internacional responsável por promover e coordenar as ações de biofortificação de alimentos no mundo (BOUIS; SALTZMAN, 2017).

A biofortificação de alimentos é a técnica de elevar o conteúdo de micronutrientes de cultivares básicas produzidas em grande escala no campo, que pode ocorrer de três formas diferentes: melhoramento convencional de plantas, transgenia e/ou fortificação agronômica. Na técnica de melhoramento convencional,

são selecionadas para serem cruzadas e reavaliadas plantas da mesma espécie e aquelas com maiores teores de nutrientes desejados e melhores características agronômicas. Após vários cruzamentos e testes, são obtidas variedades com maiores teores de ferro, zinco ou pró-vitamina A (ZHENG, 2020). Já a transgenia é uma técnica de introdução de uma ou mais sequências de genes de outra espécie no genoma da planta utilizando a tecnologia de DNA recombinante. Quanto à fortificação agronômica, esta visa ao enriquecimento dos alimentos com nutrientes minerais, como o ferro, o zinco, o selênio e o iodo. Uma das principais práticas da biofortificação agronômica é o uso de fertilizantes, modificando-se apenas o manejo da cultura, em especial a adubação (NUTTI, 2011).

Embora técnicas de engenharia genética (transgenia) possam produzir culturas biofortificadas com potencial nutricional, há evidências de que o uso do melhoramento convencional é o meio mais rápido para obter colheitas mais nutritivas nas mãos de agricultores e consumidores, já que não se enfrenta os mesmos obstáculos regulatórios e é amplamente aceito (BOUIS; SALTZMAN, 2017). Na publicação de Nestel et al. (2006) pode-se constatar que o direcionamento para o melhoramento convencional foi feito em resposta às normas políticas e regulatórias contrárias ao uso de técnicas transgênicas. O estudo de Nestel et al. (2006) foi de suma importância para subsidiar e evidenciar várias vantagens da estratégia de biofortificação de produtos agrícolas, tais como: potencializar, em micronutrientes, a ingestão dos alimentos básicos que são consumidos diariamente por todos os membros da família; o sistema de cultivo biofortificado, uma vez, desenvolvido e implementado é altamente sustentável. Isso ocorre porque variedades melhoradas nutricionalmente continuarão a ser cultivadas e consumidas ano após ano, mesmo que a atenção do governo e o financiamento internacional para questões de aumento de micronutrientes para a alimentação desapareçam; A biofortificação fornece um meio viável de alcançar as populações subnutridas em áreas rurais relativamente remotas e pode ser benéfica para o ser humano de outra forma além do beneficiamento do sistema nutricional, que é a de atuar aumentando a resistência das sementes às doenças e a outros estresses ambientais, devido ao seu maior conteúdo de minerais.

No Brasil, desde meados dos anos 2000, o programa de biofortificação de alimentos não é conduzido pela Rede BioFORT, o qual é coordenado pela Embrapa Agroindústria de Alimentos. Desde o seu início, a Rede BioFORT optou por trabalhar com o melhoramento convencional das culturas. Segundo Nutti (2011), o Brasil é o

único país que conduz trabalhos simultâneos de melhoramento com oito culturas básicas: arroz, feijão, feijão-caupi e trigo, com maiores teores de ferro e zinco; e mandioca, milho, abóbora e batata-doce, com maiores teores de vitamina A. Esse aspecto faz com que a pesquisa e o desenvolvimento de alimentos biofortificados no Brasil apresente um aspecto inédito que o diferencia dos demais países.

2.3 BATATA DOCE BIOFORTIFICADA DE CULTIVAR *BEAUREGARD*

A batata-doce *Beauregard* é um cultivar de polpa alaranjada altamente produtivo desenvolvido pela *Louisiana Agricultural Experiment Station* em 1987 (RODRIGUES-AMAYA et al., 2011). Foi introduzida no Brasil pelo Centro Internacional de la Papa (CIP) e selecionada no âmbito do programa Biofortificação no Brasil (BioFort) no intuito de diminuir a carência de vitamina A, apresenta 10 vezes mais carotenoides (pró-vitamina A) do que outras raízes (EMBRAPA, 2010). A cor laranja da polpa da batata-doce *Beauregard* indica a maior presença do pigmento betacaroteno, também conhecido como provitamina A (Figura 4).



Figura 4. Batata-doce descascada Biofortificada de cultivar *Beauregard* adquiridas na feira Municipal de Sapé/Paraíba usadas na presente pesquisa. Fonte: Próprio autor (2022).

Em variedades de polpa branca, a concentração de betacaroteno é inferior a 10 miligramas por quilo de raiz. No caso batata-doce *Beauregard*, o teor pode chegar a 115 miligramas por quilo de raiz, por isso, ela é considerada uma batata-doce biofortificada. O consumo em torno de 25 a 50 gramas dessa batata-doce supre as

necessidades diárias de carotenoides pró vitamina A (EMBRAPA, 2014). A recomendação de Ingestão dietética (RDA) de vitamina A, incluindo carotenoides e retinol para adultos entre 19-30 anos é de 900 µg/dia para homens e 700 µg/dia para mulheres, de acordo com *Dietary Reference Intakes* (DRI, 2001).

A sua produtividade normal por hectare é 30 toneladas de raízes comerciais em uma densidade de 33.000 plantas. Possui ciclo de 120 a 150 dias. É recomendada para o plantio nas principais regiões produtoras de batata-doce no Brasil ao longo do ano todo, exceto em locais e períodos em que a temperatura mínima for inferior a 15 °C (RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2004). O seu sabor é mais suave do que o da batata doce de polpa branca, além disso é essencialmente energética, rica em amido e pobre em lipídios e proteínas. Portanto, o amido se torna o principal componente dessa raiz, representando cerca de 50-80% da raiz com base no peso seco (HUANG et al., 2015; ZHU, et al., 2017).

2.4 AMIDO: CARACTERÍSTICAS GERAIS

Um material de grande interesse é o amido, pois além de ser o segundo biopolímero mais abundante no mundo, ficando atrás apenas da celulose, ele apresenta grande importância na vida da população sendo a principal fonte de carboidratos consumida pelo ser humano (DIYANA et al., 2021). Quanto a sua origem, o amido é sintetizado dentro das organelas celulares chamadas de amiloplastos, conforme seu desenvolvimento formam uma estrutura semicristalina conhecida como grânulo (LLOYD; KOSSMANN, 2019).

O amido é uma substância de reserva energética dos vegetais, podendo ser extraído de cereais, raízes ou tubérculos. A batata inglesa (*Solanum tuberosum*), por exemplo cerca de 50-80 % da batata-doce (*Ipomoea batatas*) é composta de amido com base no peso seco (SEUNG et al., 2020). O amido de batata-doce tem alto teor de amilose (24,1–35,55%), semelhante aos amidos de milho (28–33%) e trigo (30–32%) e superior ao amido de mandioca (16–19%). De toda forma, possui distintas aplicações na indústria alimentícia, farmacêutica, cosmética e têxtil (LI; WEI, 2020). Este polímero natural é formado principalmente de amilose e amilopectina (98-99% peso seco), composto também por proteínas e lipídios, cerca de 0,6%, cálcio, magnésio, potássio e fósforo, representando em torno de 0,4%, podendo alterar suas propriedades funcionais (BARBOSA et al., 2019; RAMÍREZ, 2011).

Estruturalmente, o amido é um homopolímero composto por pelo menos dois polímeros principais de glicose; a amilose que é essencialmente linear (Figura 5A), com pequenas ramificações, estas não influenciam o desempenho das cadeias de amilose em solução, continuando idênticas às cadeias lineares e a amilopectina um polímero altamente ramificado, como mostrado na Figura 5B (MAJZOOBI; FARAHNAKY, 2021; FUENTES et al., 2019).

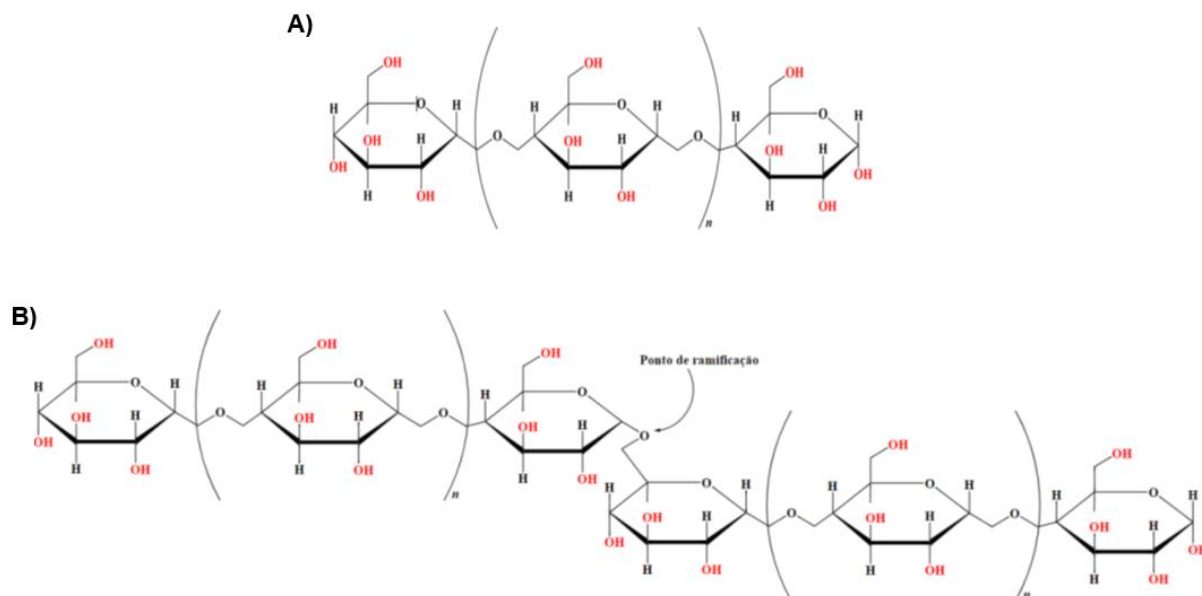


Figura 5. Fórmula estrutural da amilose (A) e amilopectina (B).

Normalmente o amido possui teores de 20 a 30% de amilose e 70 a 80% de amilopectina, embora as quantidades de amilose e amilopectina variem de acordo com sua origem botânica. As diferentes proporções de amilose e amilopectina no amido, proporcionam também, diferentes propriedades físicas, químicas e funcionais, diversificando sua aplicação (BARBOSA, et al., 2019; SJÖÖ; NILSSON, 2017; QIN, Y. et al., 2016.). A diferença na estrutura do amido implica em diferentes propriedades físicas e químicas desses dois componentes. Por exemplo, a solubilidade da amilopectina em água quente é maior do que a da amilose (FAN; PICCHIONI, 2020).

O amido tem como fórmula geral, $(C_6H_{10}O_5)_n$, onde as unidades de glicose estão unidas pelos carbonos (1-4) e (1-6), por meio do oxigênio originando ligações glicosídicas. A amilose tem massa molar na ordem de 104 a 105 e possui grau de polimerização de 250 a 1.000 unidades de D-glicose unidas por ligações α (1-4) (QUIROGA, 2015; SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015). Em

contraste, a amilopectina, é um polímero que possui entre 25-30 unidades de glicose, vinculado por ligações α (1-4) e α (1-6) tendo sua massa molar entre 106 e 108 e grau de polimerização de 5.000 a 50.000 unidades de glicose (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

É necessário compreender que a aplicabilidade do amido está intimamente ligada a amilose e amilopectina, assim como a organização física da estrutura do grânulo. Devido a isso, a Figura 6 ilustra as diferentes classificações das cadeias de amilopectina, que podem ser categorizadas como A, B e C. O tipo A representa uma cadeia não redutora de glicoses unidas por ligações α -(1,4), sem ramificações, ligada a uma cadeia do tipo B por meio de ligações α -(1,6). As cadeias do tipo B são compostas por glicoses unidas por ligações α -(1,4) e α -(1,6), contendo uma ou mais cadeias do tipo A, e podendo incluir também outras cadeias do tipo B, conectadas por grupos hidroxila primários. O tipo C é composto por ligações α -(1,4) e α -(1,6), com um grupamento terminal redutor (DERNADIN; SILVA, 2009).

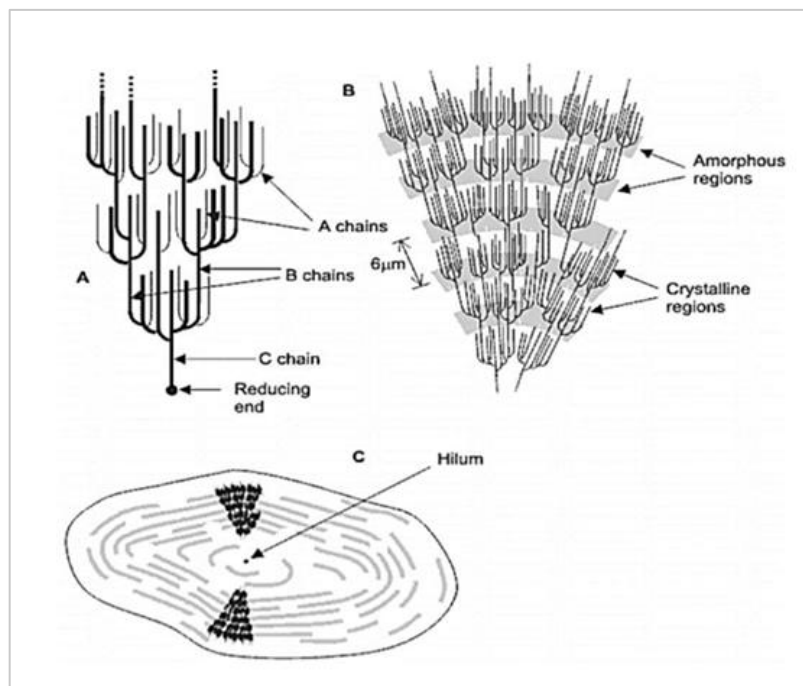


Figura 6. Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C.

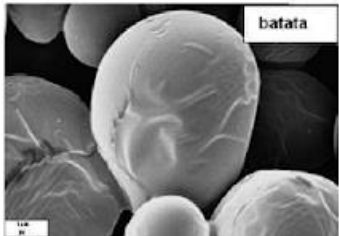
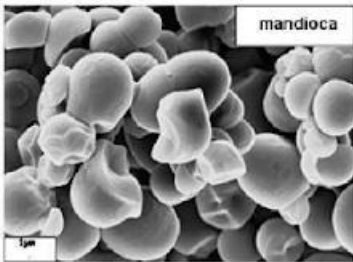
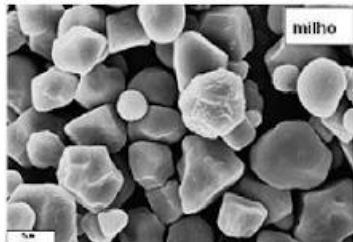
Nota: A: Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C; B: Estrutura da amilopectina formando as regiões amorfas e cristalinas no grânulo de amido; C: Modelo da estrutura interna do grânulo de amido com a visualização dos anéis de crescimento e centro (Hilum). Fonte: (DERNADIN; SILVA, 2009).

Para conseguir obter imagem da estrutura dos grânulos de amido de alta resolução são utilizados os microscópios e a escolha da técnica que será empregada

dependerá de qual informação quer se obter. Para analisar a superfície do grânulo de amido pode-se utilizar a microscopia eletrônica de varredura (MEV). O MEV é um equipamento bastante utilizado na avaliação de microestruturas de materiais sólidos. O mecanismo para o alcance da imagem é complexo, porém a interpretação é extremamente fácil. A sua grande vantagem está na alta profundidade do foco e na viabilidade de associar a análise estrutural com a microanálise química. Estas, são razões que colaboram para o extenso uso desta técnica. Na Tabela 1 é possível verificar as diferenças na morfologia do amido obtida a partir do MEV (MUCCILLO, 2009).

A técnica do MEV aplicada no amido permite diferenciar tamanho e formato dos grânulos. De modo geral, os grânulos de amido possuem tamanho de partícula em torno de 2 a 100 μm , apresentando formas regulares e irregulares dependendo do tipo de planta analisada. A forma e o diâmetro dos grânulos são aspectos individuais de cada espécie e são utilizados também para identificar a procedência do amido (MUCCILLO, 2009).

Tabela 1. Morfologia granular observada pelo MEV de diferentes fontes botânicas de amido.

FORTE BOTÂNICA	FORMATO DO AMIDO	DIÂMETRO (μm)
Batata		15-100
Mandioca		5-30
Milho		2-26

Fonte: Adaptado (TEIXEIRA, 2007).

O amido de batata-doce mostra heterogeneidade no tamanho dos grânulos, que cobre uma faixa de 0,5 a 60 μm e em contraste com os amidos de trigo, cevada e milho, o amido de batata-doce é menos abordado do ponto de vista da dependência do tamanho dos grânulos de suas características moleculares e funcionalidade (YE et al., 2020). Na figura 7 está a micrografia dos grânulos de amido de batata-doce, onde observa-se a maioria dos grânulos são esféricos com superfície lisa, e alguns com formato irregular (CHEN et al., 2021).

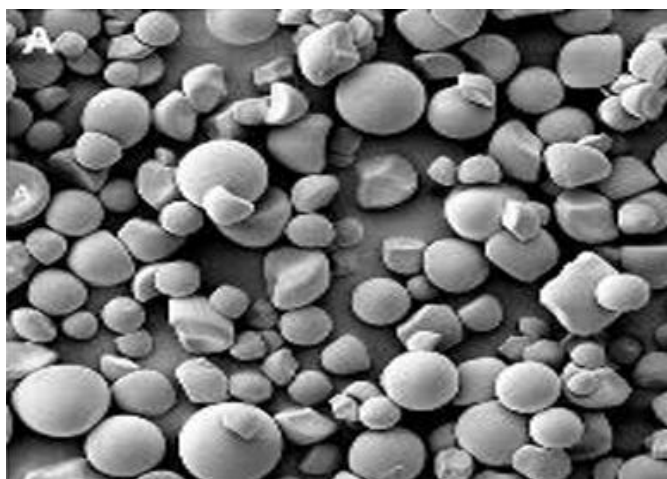


Figura 7. Micrografia (x1000) de amido de batata-doce.

Fonte: (CHEN et al., 2021).

Como exposto, o conhecimento das propriedades físicas, químicas e funcionais dos amidos como a estrutura, relação amido-água, temperaturas de gelatinização, propriedade de pasta, poder de inchamento, viscosidade e solubilidade são de fundamental importância, principalmente, para determinar onde o amido será aplicado.

2.4.1 Poder de inchamento e solubilidade

O grânulo de amido é praticamente insolúvel em água fria, mas passa por um certo nível de hidratação reversível na sua região amorfa (CARR, 2007). As hidroxilas presentes na molécula de amido conferem a ela um caráter altamente hidrofílico. No entanto, as fortes ligações de hidrogênio que mantêm as cadeias de amilose e amilopectina unidas reduzem a área disponível para a formação de ligações entre a água e os grânulos de amido.

O poder de inchamento é um parâmetro que avalia a capacidade dos grânulos de amido em absorver água, sendo calculado pela razão entre a massa final do amido inchado e a massa inicial do amido (FRANCO et al., 2002). O inchamento dos grânulos

ocorre quando as moléculas de amilopectina, à medida que a temperatura aumenta, retêm água e se expandem sem romper a estrutura do grânulo (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015). Quando a temperatura excede a de gelatinização, uma fração solúvel do amido se difunde dentro do grânulo, rompendo sua estrutura cristalina. A interação entre as moléculas de água e os grupos hidroxila provoca o inchamento do grânulo, que pode expandir-se até romper e perder a birrefringência, isto é, seu alto grau de organização (HOOVER, 2001).

É notório que a temperatura é um parâmetro essencial para a determinação da solubilidade e do poder de inchamento dos grânulos de amido, já que a água quando aquecida a uma determinada temperatura, causa uma vibração intensa nas moléculas de amido fazendo que as ligações intermoleculares quebrem e formam ligações de hidrogênio com a água (MARCON et al., 2007).

2.4.2 Gelatinização

A gelatinização ocorre quando as moléculas de água possuem energia cinética suficiente para romper as ligações de hidrogênio mais fracas entre as moléculas de amilose e amilopectina, permitindo a hidratação e o consequente inchaço do grânulo. A amilose é então dissolvida na fase aquosa, resultando em uma transição irreversível, devido à perda de cristalinidade (PENG et al., 2007; JIMÉNEZ et al., 2012; SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

Fisicamente, o inchamento e a solubilidade podem ser observados pelo aumento da viscosidade, devido maior assimilação da água. A viscosidade começa elevar em uma determinada temperatura e esta é chamada de “temperatura de pasta”, parâmetro que pode ser adquirido pelas análises de viscosidade. A temperatura de pasta não deve ser confundida com a temperatura de gelatinização, que é a faixa de temperatura onde o processo de expansão torna-se irreversível (MARCON et al., 2007).

O intervalo de temperatura específico que ocorre a gelatinização depende, dentre outros fatores, de cada fonte de amido. A água é o principal parâmetro que influencia a temperatura de gelatinização, pois ela funciona como agente plastificante nos cristais de amido (PENG et al., 2007). A Tabela 2 mostra a faixa de temperatura de gelatinização para o amido proveniente da batata, mandioca, milho e trigo.

Tabela 2. Faixa de temperatura de gelatinização para o amido de diferentes espécies botânicas.

AMIDO	INTERVALO DE TEMPERATURA DE GELATINIZAÇÃO (°C)
Batata	58-65
Mandioca	52-65
Milho	62-80
Trigo	52-85

Fonte: (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2008).

Portanto, as propriedades de inchamento e gelatinização são influenciadas pela estrutura molecular da amilopectina, composição do amido e estrutura granular. Este fenômeno está ligado à cristalinidade, pois quanto maior a cristalinidade maior é a temperatura de transição e consequentemente os grânulos são mais resistentes à gelatinização. Em contraste, a amilose que é composta em maior parte de regiões amorfas, diminui o ponto de fusão das regiões cristalinas e a energia necessária para o início da gelatinização, ou seja, apresenta menor temperatura de gelatinização (SINGH et al., 2003).

A gelatinização pode ser caracterizada usando a técnica térmica de calorimetria diferencial de varredura (DSC), medindo a quebra das ligações no interior do grânulo de amido quantificando a temperatura e a entalpia na mudança da estrutura semicristalina para gel. O DSC independe da birrefringência, quando se trata de detectar as fases de transição, observando o desaparecimento da cristalinidade comprovada pela difração de raios X (CEREDA, 2001; YU; CHRISTIE, 2001).

2.4.3 Retrogradação

A retrogradação ou recristalização ocorre, após a gelatinização, com a diminuição da temperatura as moléculas de amido podem se aproximar através das ligações de hidrogênio formando novas zonas cristalinas. A amilose é a principal responsável por esse processo, em razão de sua estrutura linear, porém a retrogradação também acontece na amilopectina, apesar de possuir uma fração ramificada, de modo mais lento e na periferia de sua estrutura. Devido a este fato, a retrogradação é um fenômeno que está relacionado com o tamanho da cadeia (ZIEBA; SZUMNY; KAPELKO, 2011). Na Figura 8 pode-se verificar o processo de gelatinização e retrogradação do amido.

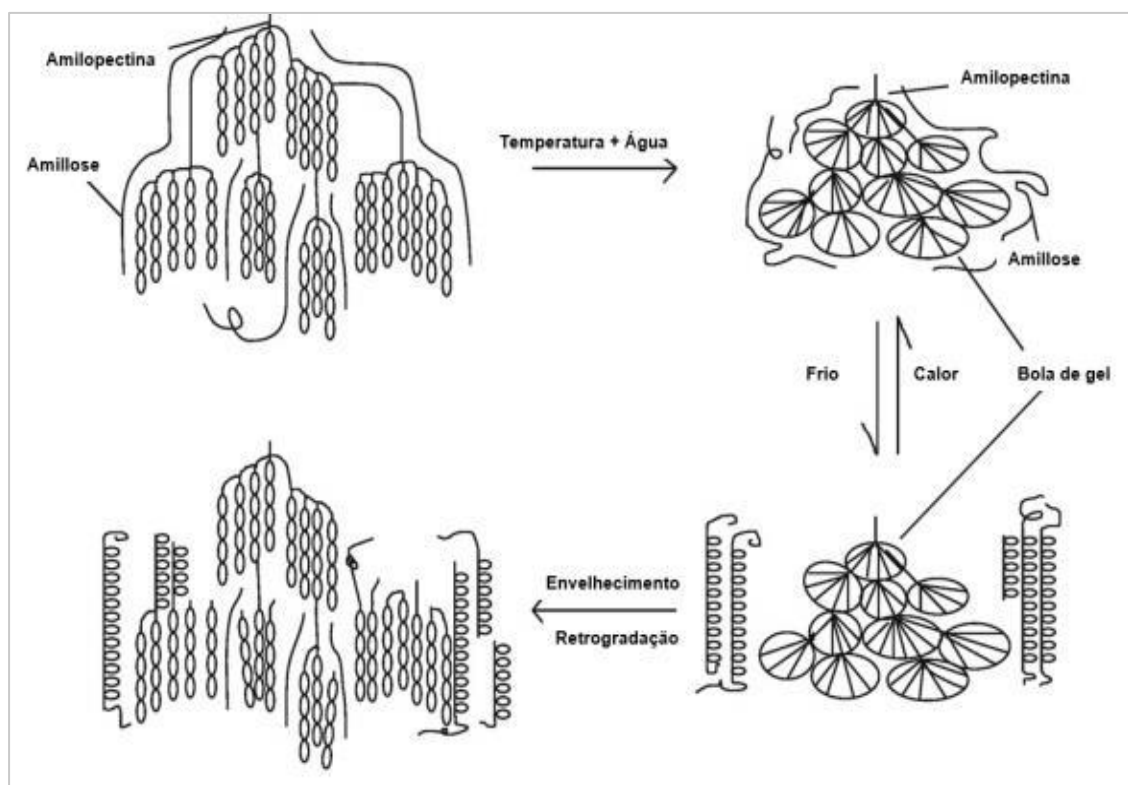


Figura 8. Fases do amido durante a gelatinização e retrogradação.

Fonte: (KHAN et al., 2016).

A retrogradação é um processo difícil e muda de acordo com diferentes parâmetros, como fonte botânica, concentração de amilose, tamanho das moléculas, presença de componentes (lipídios, eletrólitos e açúcares), condições de seu processo, temperatura e tempo de armazenamento (COZZOLINO; ROUMELIOTIS; EGLINTON, 2013). Um fator importante que afeta a taxa de retrogradação do amido é o fenômeno da transição vítrea (T_g), que é o deslocamento das moléculas nas fases amorfas de materiais semicristalino (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

A temperatura de transição vítrea é diretamente dependente da mobilidade das cadeias poliméricas e esta é ligada à temperatura. Ou seja, quando a temperatura diminui os movimentos moleculares também diminuem. Abaixo da T_g o amido está em estado vítreo, ou seja, a energia interna não é suficiente para que as cadeias adquiram a mobilidade. Já com a temperatura de T_g acima, há mudança no estado físico do amido, passando de um sólido quebradiço, para outro mais móvel (MADRIGAL; SANDOVAL; MÜLLER, 2011).

Como exposto há uma ligação direta entre as propriedades do amido e sua origem botânica. Entre as fontes de amido que são exploradas no Brasil, a mandioca é a que possui maior rendimento e menos etapas de isolamento (STOFFEL, 2015).

Porém, há a necessidade de explorar outras fontes para obtenção de amido com melhores propriedades físico-químicas e funcionais (DEREJE, 2021; MAKROO et al., 2021).

2.5 NOVAS FONTES DE AMIDO E SEU POTENCIAL TECNOLÓGICO

Amidos comerciais são normalmente extraídos de culturas como milho, batata, mandioca, além de outras fontes de grãos e tubérculos em todo o mundo e esses amidos são denominados de naturais ou nativos. Apesar da consolidação e da ampla utilização industrial dos amidos convencionais, principalmente em alimentos, novas aplicações estão surgindo além da indústria alimentícia, mas também nas indústrias farmacêutica, biomédica e de embalagens (MANIGLIA; TAPIA-BLÁCIDO, 2016). Estudos estão sendo realizados em amidos nativos que não requerem modificação para suprir as necessidades de propriedades almejadas pelo mercado, já que o amido de fontes convencionais possui propriedades que limitam seu uso na indústria, além de explorar fontes da alimentação humana. Portanto, a descoberta de novos materiais proporciona uma alternativa potencial para obter características diferentes que possam ser agregadas a um produto (MAKROO et al., 2021).

As fontes não convencionais de amido são caracterizadas pela pouca usabilidade, principalmente para usos tecnológicos (ZHU, 2020). Fontes não convencionais de amido englobam frutas, rizomas, cereais, leguminosas, entre outras. Os amidos de culturas não convencionais estão sendo atrativos e apresentando potencial para serem utilizados em diferentes aplicações (MAKROO et al., 2021). É perceptível que estudos estão sendo desenvolvidos para a descoberta e aplicação desses produtos amiláceos.

No mundo há uma grande diversidade de produtos agrícolas ou não ricos em amido que ainda não foram completamente estudados e que possuem características essenciais para suprir necessidades particulares de processos industriais. Portanto, explorar o método de obtenção, propriedades físico-químicas, estruturais, morfológicas e térmicas são fundamentais para avaliar a possível aplicação de cada amido (MANIGLIA; TAPIA-BLÁCIDO, 2016; PIRES et al., 2021). Além disso é importante evidenciar que amidos de mesma fonte botânica possuem propriedades diferentes pois variam de acordo com a região, clima e solo em que a fonte foi cultivada.

Um amido de cultura não convencional que apresentou importantes propriedades para a sua utilização em formulações de alimentos e outros campos industriais, foi o amido de feijão-verde que apresentou alto rendimento, um material mais puro e propriedades térmicas e estruturais diferentes de fontes convencionais (LI et al., 2021). Outro exemplo foi a extração de amido de arroz pigmentado realizada por Da Silva et al. (2020), os quais obtiveram grânulos de formatos poligonais e angulares, a composição dos amidos mostraram diferenças estatísticas para algumas propriedades e podem ser aplicados como ingredientes alimentares funcionais viáveis, no desenvolvimento de produtos alimentícios ou em filmes e revestimentos comestíveis. Oliveira et al. (2021) isolaram o amido de inhame e resultados indicaram um amido de alta pureza e baixas concentrações de outras substâncias não amiláceas. Apresentando potencial de aplicação em alimentos crocantes, molhos para saladas e sobremesas prontas, além de alimentos que necessitam de altas temperaturas de processamento, como alimentos enlatados.

2.6 ANÁLISE SENSORIAL

A qualidade sensorial de produtos alimentícios é um fator determinante para a escolha do produto, além de características nutricionais e microbiológicas. Desse modo, é necessário testes sensoriais para prever como a modificação na formulação, no processamento, na embalagem ou no armazenamento, podem afetar as características sensoriais dos alimentos, seja em aparência, sabor, textura e aroma, tornando-as perceptíveis aos consumidores, além de fornecer informações importantes para o direcionamento no desenvolvimento de novos produtos (DUTCOSKY, 2011; KIM et al., 2021).

Desta forma, a análise sensorial tem por definição estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1993) como um método utilizado para evocar, mensurar, avaliar e interpretar reações das características dos alimentos e materiais como são percebidos pelos sentidos da visão, olfato, paladar, tato e audição. Os desígnios da análise são inúmeros, aspectos como a avaliação de uma matéria prima destinada a um novo produto, o efeito de processamento de um determinado material, qualidades organolépticas ou estabilidade de armazenamento de um alimento, entre outras. As informações resultantes da análise sensorial são

expressas estatisticamente para verificar a viabilidade do produto testado (CHAVES, 1998).

Munõz et al. (1992) foi o grande responsável pelos registros iniciais sobre análise sensorial na conservação da qualidade de indústrias de alimentos. Contudo, de acordo com Munõz (1999), as aplicações deste método tiveram destaque na década de 80 a partir de seminários organizados pelo *Institute of Food Technologists*, mesmo sendo efetivada em meados da década de 40. Os principais métodos são classificados como afetivos, de diferença ou discriminativos, analítico ou descritivo, e de sensibilidade.

Os testes subjetivos, também conhecidos como testes afetivos ou de consumidor, fornecem dados característicos sobre aceitabilidade, gosto ou preferência. De acordo com Anzaldúa-Morales (1994), o objetivo do teste de aceitação é estabelecer preferência por uma determinada amostra em detrimento de outra. Assim, sendo totalmente pessoal, a preferência pode ser influenciada tanto pela qualidade do alimento, quanto pela cultura do provador. Para isso, são empregados os métodos pareados, por ordenação ou por escala hedônica (MORAES, 1988). Originalmente grega, a palavra Hedônica significa “prazer”. Assim, quando se faz necessário verificar níveis de satisfação, são aplicados métodos com escalas hedônicas, para expressar o grau de “gostar ou desgostar” através da descrição das apreciações, possuindo sempre um ponto central de indiferença, ou seja, apresenta um número ímpar de classificações, que pode variar entre um e nove (TEIXEIRA et al., 1987; MORAES, 1988; ANZALDÚA; MORALES, 1994).

Já os métodos discriminativos envolvem a comparação de dois ou mais produtos, verificando a diferença qualitativa ou quantitativa entre eles. Para os testes discriminativos, a acuidade sensorial não é essencial, mas pode ser desejável em algumas situações, especialmente quando se trata de um grupo pequeno de provadores, geralmente menor que 25 indivíduos. Para a aplicação desses métodos, o ambiente mais comum é o de cabines, que devem seguir as orientações da NBR ISO 6658 (ABNT, 2014). Estes métodos são classificados em testes de diferença e testes de sensibilidade (DUTCOSKY, 2011; ROGERS, 2017).

Os métodos descritivos têm a função de detectar e descrever as propriedades sensoriais de um alimento, avaliando as características específicas da amostra de formas qualitativa e quantitativa. A aplicação de testes dessa classe possibilita descrições sensoriais completas de uma variedade de produtos, fornecendo

embasamento para mapear semelhanças e diferenças entre eles e para determinar os atributos sensoriais que são importantes para sua aceitação. Podem ser amplamente utilizados em testes de desenvolvimento de produto, otimização de produtos, avaliação de mercado, avaliação competitiva, vida útil e controle de qualidade, dentre outros (STONE, SIDEL, 2004; DUTCOSKY, 2011).

3 HIPÓTESE

O amido extraído da batata-doce de polpa alaranjada cultivar *Beauregard* apresentará propriedades físico-químicas e estruturais diferenciadas em comparação com amidos tradicionais, como milho, mandioca e arroz. Este amido possuirá menor temperatura de gelatinização, elevado poder de absorção e retenção de água, além de alta estabilidade sob condições adversas, como estresses térmicos, variações de pH e ciclos de congelamento e descongelamento. Tais características o qualificam como um hidrocolóide funcional promissor para uso como espessante, estabilizante ou agente texturizante em produtos alimentícios processados. Ademais, sua aplicação poderá contribuir para a elaboração de formulações mais estáveis e sensorialmente aceitáveis, especialmente em sistemas alimentares que exigem resistência à retrogradação e manutenção da consistência em diferentes condições de processamento e armazenamento. Nesse contexto, o amido da cultivar *Beauregard* destaca-se como uma alternativa tecnológica viável para o desenvolvimento de produtos de panificação isentos de glúten, como biscoitos, promovendo melhorias na textura, estabilidade e aceitação sensorial do produto final.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial tecnológico e funcional do amido da batata-doce de polpa alaranjada cultivar *Beauregard*.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extrair o amido da batata-doce de cultivar *Beauregard*;
- Determinar as características físico-químicas e estruturais do amido;
- Determinar a temperatura de geleificação do amido;
- Analisar os géis do amido em condições de estresse térmico e variações de pH;
- Caracterizar as ações funcionais dos géis obtidos;
- Elaborar um produto a partir do amido e testá-lo sensorialmente.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATÉRIA-PRIMA

Foi utilizada a batata-doce de cultivar *Beauregard* adquirida no município de Sapé – Paraíba. Provenientes das safras de 2024 e 2025 (exclusivamente para o desenvolvimento da análise sensorial), por cultivo convencional. Após a aquisição, as raízes foram transportadas embaladas em caixas, e transportadas à temperatura ambiente até o Laboratório de Técnica Dietética, localizado no Centro Acadêmico de Vitória de Santo Antão/UFPE, para devida extração. As amostras livres de lesões mecânicas, pragas, doenças e deterioração foram selecionadas para experimentação. Posteriormente, as análises descritas nos itens a seguir foram realizadas com parceria nos Laboratórios de Técnica Dietética, Tecnologia dos Alimentos, Microbiologia e Bromatologia da Centro Universitário Tabosa de Almeida (ASCES/UNITA), Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) e Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP).

5.2 HIGIENIZAÇÃO, DESCASCAMENTO E FATIAMENTO

Realizou-se a pré-higienização com água potável e posterior sanitização química em solução de hipoclorito de sódio diluído em água, na concentração de 0,15mL/L. Após 15 minutos, as raízes foram retiradas da solução e lavadas novamente com água potável, para então proceder a etapa do pré-preparo.

Após a fase de higienização, as raízes frescas foram descascadas manualmente com o auxílio de uma faca de aço inoxidável. A porção comestível (seção intermediária do mesocarpo) foi fatiada em fatias com 0,5 cm de espessura e pesada em balança digital analítica (HAUS Corporation, modelo AR2140, Brasil). Esta etapa foi desenvolvida no Laboratório de Técnica Dietética da ASCES/UNITA, Caruaru/PE, bem como os itens 5.3 e 5.4.

5.3 EXTRAÇÃO DO AMIDO

As raízes foram desintegradas na proporção 1:2 em água gelada com auxílio de liquidificador industrial. A suspensão foi passada por peneiras de aberturas de 0,250 mm (60 mesh) e 0,088 mm (170 mesh). O bagaço retido nas peneiras foi novamente desintegrado em liquidificador industrial, permitindo assim, melhor

eficiência de extração. Após a decantação do amido descarta-se o sobrenadante. O amido ficou suspenso novamente em água gelada, e este processo foi repetido inúmeras vezes para melhor rendimento do processo. Posteriormente o amido foi seco em estufa com circulação de ar forçado à temperatura de 35 °C por 28 horas, obedecendo à metodologia descrita por Guerreiro (2002).

5.4 RENDIMENTO DO AMIDO

O rendimento do amido foi calculado conforme descrito por Leonel et al. (1998), com base na Equação 1:

$$R = \frac{(PAS)}{(PIN)} \times 100 \text{ g}^{-1} \quad (1)$$

Onde: PIN = peso da batata-doce *in natura* previamente descascada; PAS = peso final do amido obtido após a secagem.

É importante destacar que esse cálculo não considera eventuais perdas ocorridas durante o processamento, como retenção de amido nos resíduos fibrosos, perdas mecânicas em equipamentos, ou perdas por arraste durante as etapas de filtração e lavagem. Dessa forma, os valores obtidos representam uma estimativa do rendimento técnico do processo, podendo superestimar ligeiramente o rendimento real. A inclusão de medidas de controle e quantificação das perdas ao longo das etapas de extração pode oferecer uma estimativa mais precisa da eficiência desse processo.

5.5 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO AMIDO

As determinações foram realizadas no Laboratório de Bromatologia da ASCES/UNITA, Caruaru/PE, assim como dos itens 5.6 e 5.7. Foram feitas análises do teor de cinzas (Método 08-12.01), teor de umidade (Método 44-15.02), teor de proteína (Método 46-10.01 de Micro-Kjeldahl), o teor de lipídeos (Método 30-25.01), teor de açúcares totais (Método 80-60.01) e teor de fibra bruta (Método 32-10.01) foram realizadas conforme metodologias propostas pela AOAC (2007). Os resultados foram expressos em g 100g⁻¹. O pH foi lido de forma direta no medidor de pH digital e acidez total determinada por titulometria, segundo Brasil (2008).

5.6 DETERMINAÇÃO DE MACRO E MICROMINERAIS

A determinação dos minerais foi realizada a partir dos métodos descritos pela EMBRAPA (2009). O teor de fósforo foi determinado por espectrofotometria com azul de molibdênio. Sódio, Cálcio, magnésio, potássio, cobre, ferro, manganês e zinco foram quantificados por espectrofotometria e valores calculados em mg/100g.

5.7 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AMILOSE E AMILOPECTINA

O teor de amilose foi determinado através do método colorimétrico, utilizando curva padrão de amilose (4 mg mL^{-1}). A leitura foi realizada a 590 nm e o teor de amilopectina, determinado por diferença [(100 - amilose (%)) (MARTINEZ; CUEVAS, 1989).

5.8 DETERMINAÇÃO DA FORMA E TAMANHOS DOS GRÂNULOS

A forma e o tamanho dos grânulos do amido foram determinados pelo Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), Recife/PE, a partir da Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV (Quanta 250 FEI Company®), em diferentes magnitudes. Para estas análises, um volume de 100 μL das amostras diluídas em álcool etílico P.A (1:10, p/p) foi colocado no porta-amostra do MEV. O potencial de aceleração utilizado foi de 15 keV e 20 keV (LEONEL; CEREDA, 2002).

5.9 DETERMINAÇÃO DA DIGESTIBILIDADE *IN VITRO* DO AMIDO

A determinação de digestibilidade foi baseada em um processo de hidrólise *in vitro* do amido proposto por Englyst et al. (1992), realizadas em triplicata no Laboratório de Tecnologia dos Alimentos do Centro Universitário Tabosa de Almeida (ASCES/UNITA), Caruaru/PE, assim como os itens 5.10 a 5.13. A amostra (0,5 g base seca), foi adicionada de 20 mL de tampão acetato (0,1 M e pH 5,2) contendo 4 mM de CaCl_2 e levada ao banho térmico a 37°C por 5 min. Em seguida foi adicionado 5 mL de solução enzimática contendo α -amilase pancreática (Termamyl® 2X), amiloglucosidase (Sigma - A9913) e invertase (Sigma - I4504), e imediatamente foi retirada uma alíquota de 0,5 mL em tempo zero (glicose livre) e colocado em tubo contendo 4 mL de etanol absoluto. Foram retiradas duas outras alíquotas (0,5 mL) após 20 min e 120 min, G20 e G120, respectivamente, e colocadas em tubos contendo 4 mL de etanol absoluto. Os tubos foram centrifugados por 1-2 min até obter um

sobrenadante claro. Foi retirado 1 mL do sobrenadante e transferido para um tubo contendo 9 mL de água destilada.

Para determinação da glicose total (GT) a partir dos centrifugados, agitou-se vigorosamente e levou-se ao banho fervente por 30 min, e resfriado em banho de gelo. Em seguida foram adicionados 10 mL de KOH 7M, homogeneizados, e incubados em banho de gelo por 30 min. Foi removido 1 mL do hidrolisado e colocado em tubos de centrifuga contendo 10 mL de ácido acético 0,5 M e homogeneizado. Imediatamente foi adicionado 0,2 mL de amiloglucosidase (50 AGU/mL) e incubado a 70°C por 30 min. Em seguida transferido para banho fervente por 10 min e resfriado a temperatura ambiente. Então, foram adicionados 40 mL de água destilada e levados para centrifugação a 1500 g por 5 min e quantificada glicose com kit glicose oxidaseperoxidase (Kit Enzimática Colorimétrica - GOD – PAP, da BioClin – Belo Horizonte /Brasil). Os valores obtidos para glicose livre (GL), G20, G120 e GT foram utilizados para calcular para AT, ARD, ALD e AR como segue as Equações 2, 3, 4 e 5, respectivamente:

$$AT = (GT - GL) \times 0,9 \quad (2)$$

$$ARD = (G20 - GL) \times 0,9 \quad (3)$$

$$ALD = (G120 - G20) \times 0,9 \quad (4)$$

$$AR = AT - (ARD + ALD) \text{ ou } (GT - G120) \times 0,9 \quad (5)$$

Onde: AT= Amido total; GT= Glicose Total; GL = Glicose livre; ARD = Amido de Rápida Digestão; ALD = Amido de Lenta Digestão; AR = Amido Resistente.

5.10 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA PASTA

A "pasta" é o produto da gelatinização do amido na presença de água sob aquecimento. Desta forma, suas propriedades foram determinadas por *Rapid Visco Analyser* (RVA) equipado com o *Software Thermocline for Windows*, versão 2.6, seguindo metodologia descrita por Lacerda et al., (2015). Uma suspensão em água a 8% (m/m) de amido em base seca (28 g de massa total) foi preparada e submetida a um ciclo de aquecimento até 95 °C e resfriamento controlado sob agitação circular constante. A programação utilizada foi de temperatura mantida a 50 °C por 2 min, seguido de aquecimento até 95 °C a uma razão de aquecimento de 6 °C min⁻¹,

temperatura mantida a 95 °C durante 5 min, seguido de arrefecimento até 50 °C a 6 °C min⁻¹. Ao fim do ciclo a temperatura foi mantida por 2 min a 50 °C. Foram avaliadas a temperatura de início de formação de pasta, o pico de viscosidade, a queda da viscosidade ou *breakdown*, a viscosidade final e a tendência à retrogradação ou *setback*. Os resultados foram expressos em centipoise (cP).

5.11 DETERMINAÇÃO DO GRAU DE GELATINIZAÇÃO DA PASTA

As propriedades térmicas da pasta foram analisadas utilizando Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC), Perkin Elmer, equipado com um intracooler e um *software* de análise térmica - Pyris 1, para determinação das temperaturas de gelatinização. As amostras em triplicata foram aquecidas de 30 a 100 °C com taxa de 5 °C min⁻¹, sendo os parâmetros avaliados, temperatura inicial, de pico, de conclusão, variação de temperatura e variação de entalpia (T_o , T_p , T_c , ΔH gel, respectivamente). Uma massa de aproximadamente 2,5 mg de cada amostra foi pesada e homogeneizada em 10 µL de água deionizada em cadinhos de alumínio hermeticamente seláveis (LACERDA et al., 2015).

5.12 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO (IA) E SOLUBILIDADE (IS) EM ÁGUA E EM LEITE

O Índice de Absorção e Índice de Solubilidade em Água (IAA e ISA, respectivamente) e leite (IAL e ISL, respectivamente) foram determinados segundo método descrito por Anderson, Conway e Griffin (1969), com algumas adaptações. Em um tubo de centrífuga, foi pesada 0,5 g de amostra e adicionada 6 mL de água destilada ou leite. Os tubos foram submetidos ao banho-maria com agitação por 30 min à 30°C e, em seguida, centrifugados por 10 min. O líquido sobrenadante foi escorrido cuidadosamente em placa de Petri previamente tarada e o material remanescente foi pesado. A água da placa de Petri foi evaporada em estufa com circulação à 105 °C e o resíduo da evaporação até massa constante. O material remanescente foi pesado e calculado o IA e IS. As determinações foram realizadas em triplicata. Os cálculos foram realizados de acordo com as Equações 6 e 7, respectivamente:

$$IA (g \cdot g^{-1}) = PRC / (PA - PRE) \quad (6)$$

$$IS (\%) = PRE / PA * 100 \quad (7)$$

Onde: PRC= peso do resíduo de centrifugação (g); PA= peso da amostra (g); PRE= peso do resíduo e evaporação (g).

5.13 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS GÉIS DO AMIDO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSES

Foram utilizadas metodologias adaptadas para a realidade do uso do consumidor e do processamento em indústria, não levando em consideração a escala. Pensando nisso, a temperatura de congelamento de -20 °C foi adotada por ser frequentemente utilizada pelas industriais de alimentos no armazenamento de pratos preparados, uma vez que inibe a atividade e o crescimento microbiano. Para avaliar o amido sob condições de acidez adotou-se o pH 3,5, que é comum em alimentos ácidos, como conservas, molhos e alguns produtos de frutas (GUERREIRO, 2002). Esse valor permite avaliar como o amido reage em condições que simulam o ambiente de alimentos ácidos, o que é relevante para determinar sua estabilidade e aplicabilidade como espessante ou estabilizador em uma ampla gama de produtos.

Além disso, o pH 3,5 proporciona um cenário em que as interações entre as moléculas de amilose e amilopectina são alteradas, podendo impactar na viscosidade, solubilidade e formação de géis do amido. Avaliar a estabilidade do amido em condições ácidas ajuda a determinar sua adequação para produtos que exigem resistência a ambientes de baixa acidez, garantindo que o amido mantenha suas propriedades tecnológicas, como textura e espessamento, durante o processamento e o armazenamento. E conforme descrito recentemente por Sohany et al. (2021) que analisaram as propriedades físico-químicas do amido da batata-doce, foi adotado como pH natural a variação entre 5,5 e 6,5. Esse pH pode ser influenciado por fatores como a variedade da batata-doce e o método de extração utilizado, portanto, são considerados adequados para várias aplicações na indústria alimentícia (SOHANY et al., 2021). Todas as análises descritas nos itens 5.13.1, 5.13.2, 5.13.3 e 5.13.4 foram

realizadas no Laboratório de Tecnologia dos Alimentos da ASCES/UNITA, Caruaru/PE.

5.13.1 Preparo dos géis para as condições de estresses de esterilização, acidez, congelamento e congelamento/descongelamento

As suspensões de amido (5% peso seco/v) em água foram colocadas em béquer de 3 litros e aquecidas em banho-maria de água fervente (97 °C) por 30 minutos. Foi adicionado benzoato de sódio (0,1%) aos géis, como conservante, segundo Bermudez (1997), e as análises de avaliação foram feitas após 1 e 3 dias do preparo dos géis em cada situação de armazenamento (ambiente e congelamento) (GUERREIRO, 2002).

5.13.2 Armazenamento de géis sujeitos a estresse de esterilização pelo calor

Após o resfriamento da pasta em temperatura ambiente 50 mL de gel foram colocados em Erlenmeyer de 125 mL, o qual foi tampado com algodão e folha de papel alumínio. O gel foi esterilizado por 2 horas a 121 °C. Desta forma, os géis foram submetidos a duas condições de armazenamento, o Grupo 1 em temperatura de refrigeração em B.O.D., regulada a 4 °C, e o Grupo 2 sob temperatura ambiente (28 °C). Os testes foram feitos em duplicatas e as análises de avaliação foram realizadas no 1 e 3 dias após preparo do gel (GUERREIRO, 2002).

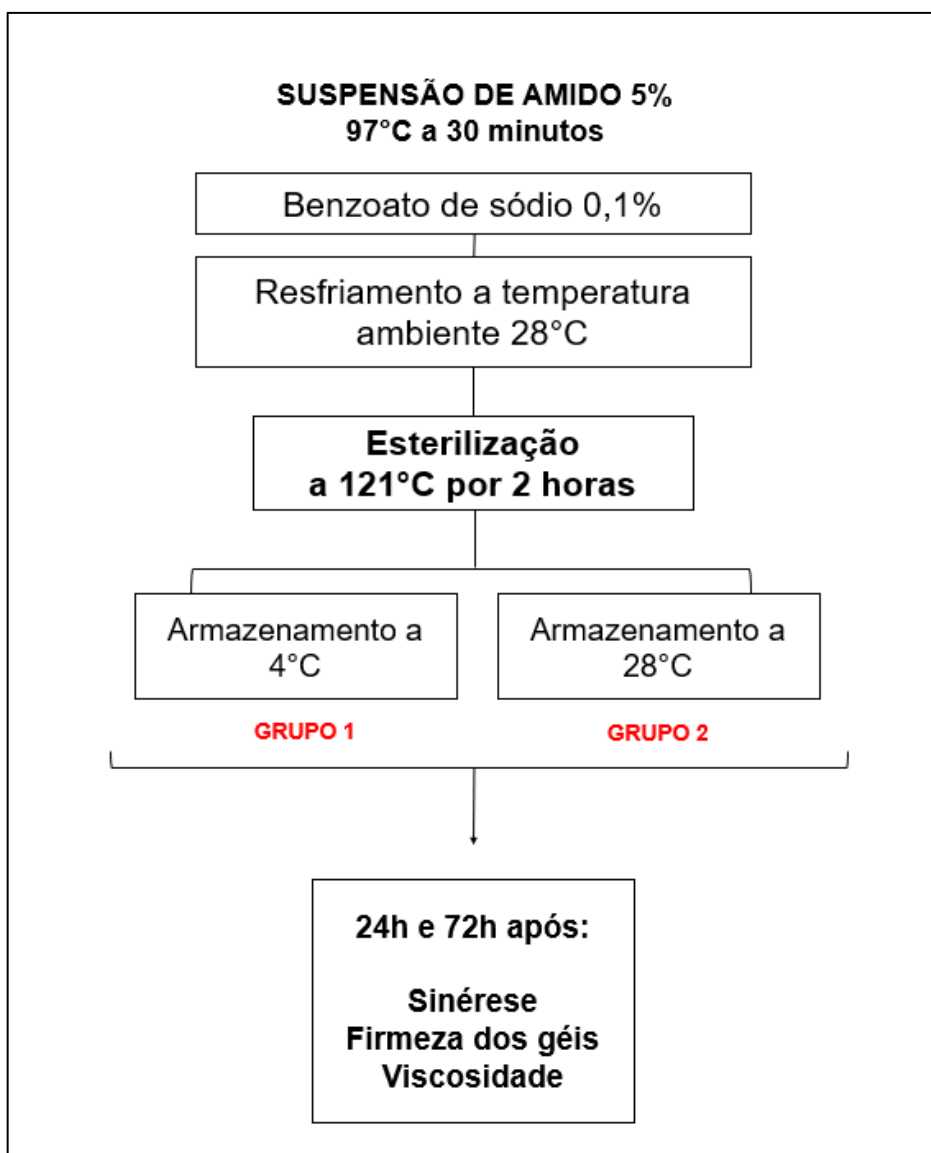


Figura 9. Fluxograma da metodologia de análise de géis de amido em condição de estresse de esterilização pelo calor. Fonte: Autor (2025).

5.13.3 Armazenamento de géis sujeitos a estresse de acidez

Após o resfriamento da pasta em temperatura ambiente amostras de 50 g de gel foram colocadas recipientes de 50 mL. Para os testes de resistência a acidez os géis foram avaliados sob pH natural dos amidos e pH ajustado para 3,5 com solução de ácido cítrico a 3 mol/L (GUERREIRO, 2002) e submetidos a duas condições de armazenamento, em temperatura de refrigeração em B.O.D. regulada a 4 °C (Grupo 1: pH natural, Grupo 3: pH ácido), e sob temperatura ambiente a 28 °C (Grupo 2: pH natural, Grupo 4: pH ácido). Os testes foram feitos em duplicatas e as avaliações foram realizadas no 1 e 3 dias após preparo do gel.

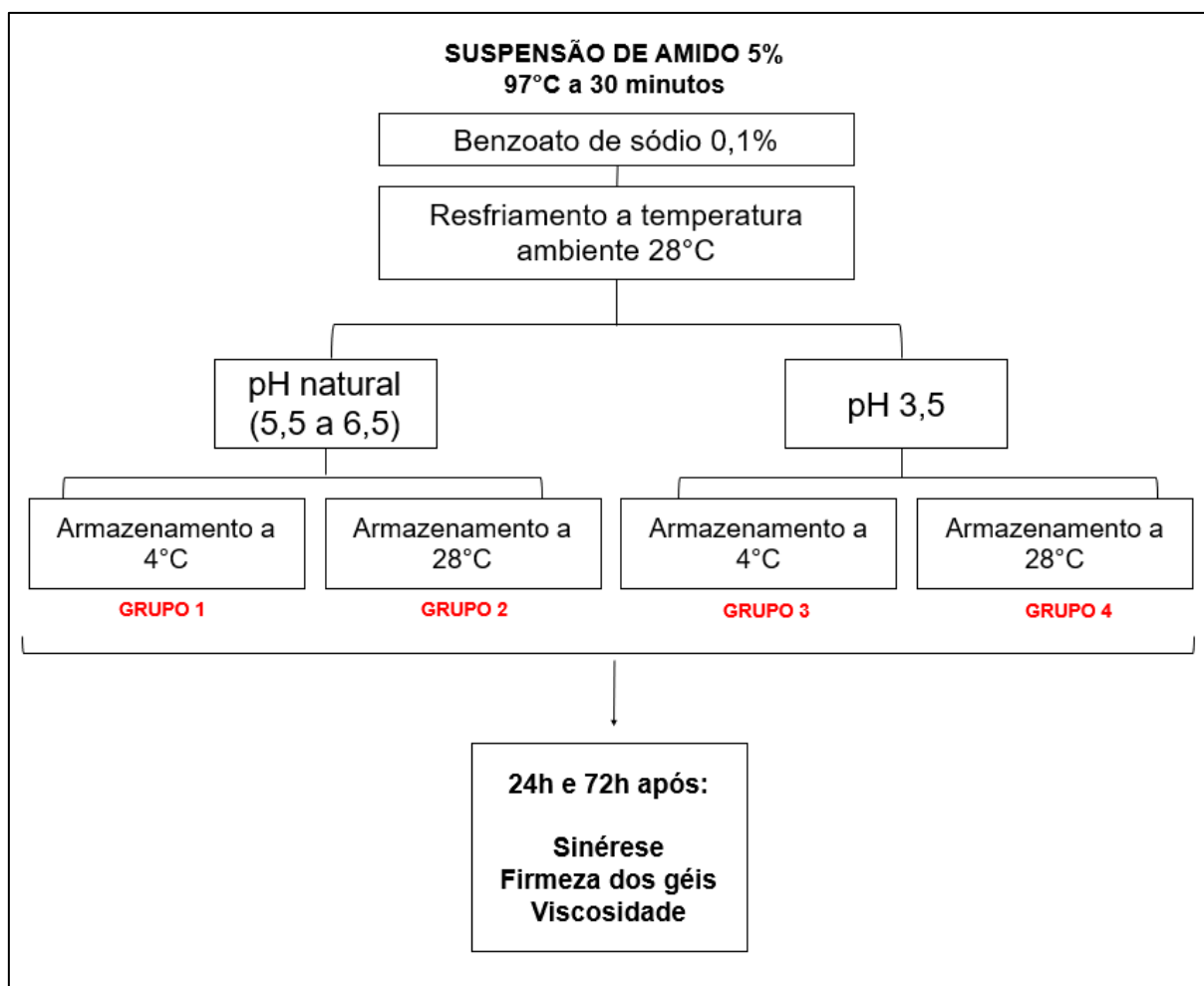


Figura 10. Fluxograma da metodologia de análise de géis de amido em condição de estresse de acidez. Fonte: Autor (2025).

5.13.4 Armazenamento de géis sujeitos a estresse congelamento e congelamento/descongelamento

Após o resfriamento da pasta em temperatura ambiente, 40 mL de gel foram colocados em recipientes de 50 mL e tampados com folha de papel alumínio. Duas amostras foram congeladas a -20°C para cada dia de análise. Ambas só foram descongeladas 24 horas após esse congelamento e, enquanto uma delas foi apenas centrifugada, a outra foi centrifugada e recongelada nas mesmas condições (-20 °C por 24 horas), formando 2 grupos analisados (Grupo 1: congelamento, Grupo 2: congelamento/descongelamento). A amostra foi descongelada no dia seguinte (24 horas após o recongelamento) e centrifugada. Este processo permitiu criar condições de re-congelamento do produto depois de descongelado (GUERREIRO, 2002).

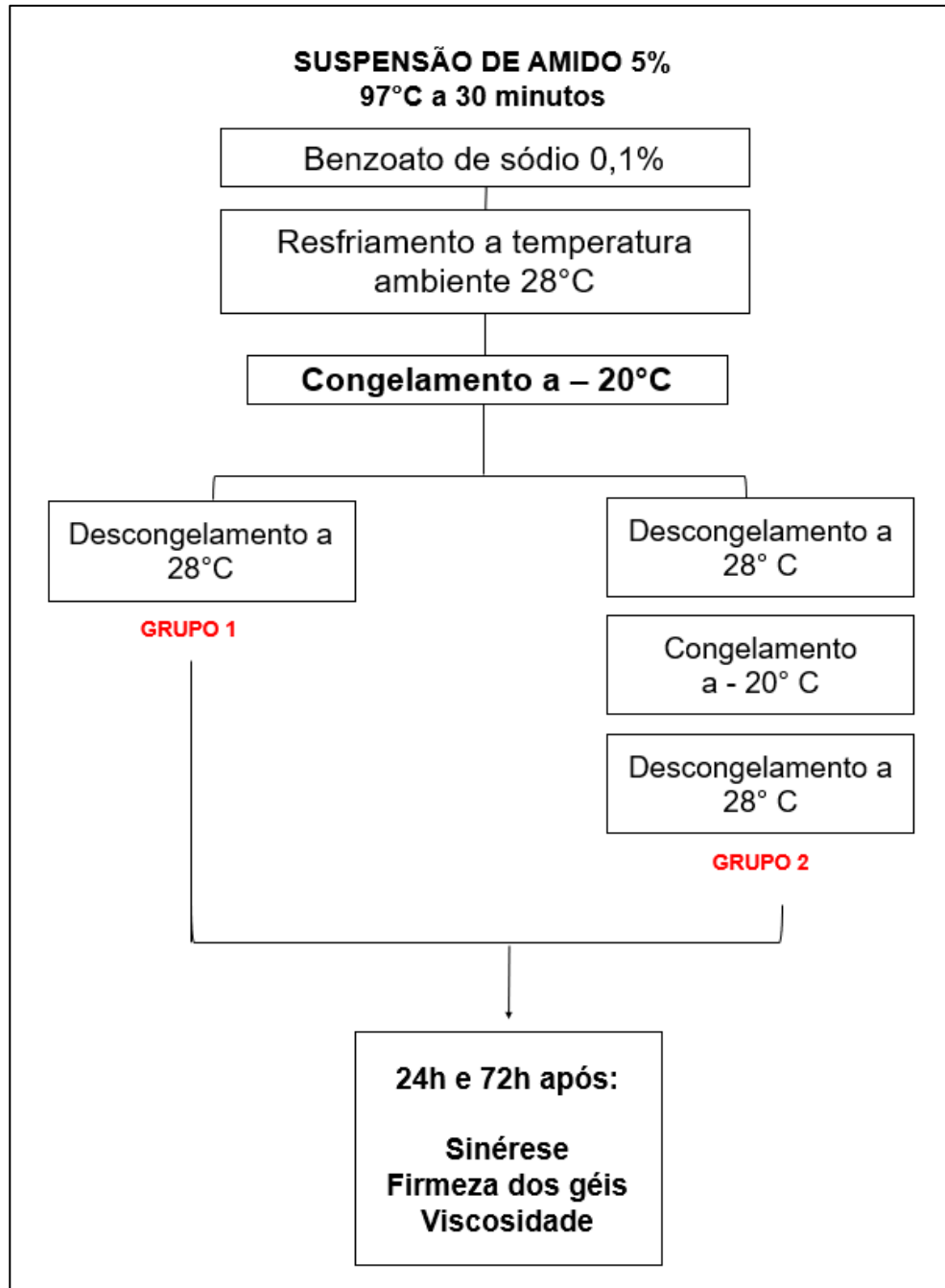


Figura 11. Fluxograma da metodologia de análise de géis de amido em condição de estresse de congelamento e congelamento/descongelamento. Fonte: Autor (2025).

5.14 ANÁLISES DAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE

5.14.1 Sinerese

A metodologia consistiu na determinação da porcentagem de líquido liberado pelo gel. Os géis foram centrifugados a 50g/10 minutos e o líquido liberado foi pesado

e expresso em porcentagem do peso total da amostra (HOOD; SEIFRIED; MEYER, 1974).

5.14.2 Firmeza dos géis

A técnica utilizada para medir firmeza é proposta por Sarmento (1997), na qual os géis foram colocados em copinhos plásticos e invertidos sobre placas de *Petri*, para estabelecer quanto o gel mantém ou não o formato do copinho. Foram medidas as alturas do copo e do gel para estabelecer a porcentagem de redução de firmeza do gel.

5.14.3 Viscosidade

A viscosidade aparente da pasta de amido, antes e depois de passar por condição de estresse foi medida com o aparelho *Brookfield*, modelo LVT, selecionando-se a haste mais adequada: 1, 2, 3 ou 4. Foi pré-determinada a faixa de leitura a ser tomada (entre 20 e 60 no visor) para evitar valores extremos. A haste e rotação variaram em função da textura do gel analisado. Os resultados foram expressos em centipoise (cP).

5.15 ANÁLISES MICROBIOLÓGICA, FISÍCO-QUÍMICA E SENSORIAL DOS BISCOITOS

5.15.1 Elaboração e formulação dos biscoitos

Essa etapa propôs o desenvolvimento de biscoitos elaborados a partir de amido de batata doce biofortificada de variedade *Beauregard*, iniciado apenas após a aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Associação Caruaruense de Ensino Superior e Técnico – ASCES (CAAE: 83439324.9.0000.5203). Não foi realizado teste piloto para a aplicação da análise sensorial, contudo, as formulações foram previamente definidas com base em estudos anteriores e adequados ao perfil dos consumidores.

Desta forma, no Laboratório de Técnica Dietética e Tecnologia dos Alimentos da ASCES/UNITA, Caruaru/PE, foram elaboradas três formulações: F1 amostra padrão (com 100% amido de milho), F2 amostra mista (com 50% amido de milho e 50% amido de batata doce *Beauregard*) e F3 amostra experimental (com 100% amido de batata doce *Beauregard*), com os respectivos ingredientes listados na Tabela 3.

Tabela 3. Lista de ingredientes da formulação do biscoito experimental com substituição total e formulação padrão de amido de milho pelo amido da batata-doce de variedade *Beauregard*.

INGREDIENTES	FORMULAÇÕES		
	F1 PADRÃO	F2 MISTA	F3 EXPERIMENTAL
AMIDO DE MILHO (g)	440	220	0
AMIDO DE BATATA DOCE <i>BEAUREGARD</i> (g)	0	220	440
AÇÚCAR (g)	72	72	72
MANTEIGA (g)	200	200	200
GEMA DE OVO (g)	20	20	20

A escolha do amido de milho como ingrediente padrão nas formulações de biscoitos, em detrimento ao amido de batata-doce, fundamentou-se em dois principais critérios: referencial industrial e comparação de desempenho funcional. O amido de milho é amplamente utilizado na indústria alimentícia como espessante e agente de textura, sendo considerado um padrão tecnológico consolidado (BEMILLER, 2019). Dessa forma, sua utilização permitiu uma comparação mais representativa entre o amido da cultivar *Beauregard* e um espessante de uso corrente. Além disso, a inexistência de padronização tecnológica do amido da batata-doce convencional, com variações genéticas, regionais e de processamento, poderia comprometer a homogeneidade dos testes. Assim, optou-se por utilizar o amido de milho como parâmetro de referência, assegurando maior robustez à avaliação das características funcionais e sensoriais do amido *Beauregard* frente a um insumo já estabelecido.

Os ingredientes secos foram inicialmente homogeneizados manualmente, seguidos pela adição dos ingredientes úmidos até formação de uma massa uniforme. Em seguida, a massa foi porcionada em unidades de aproximadamente 5 g utilizando balança digital analítica (HAUS Corporation, modelo AR2140, Brasil) e modelada manualmente em formato circular. Os biscoitos foram dispostos em assadeiras forradas com papel manteiga e levados à cocção em forno industrial pré-aquecido a 180 °C por cerca de 20 minutos. Após o resfriamento natural à temperatura ambiente, as amostras foram armazenadas em embalagens plásticas herméticas, sob temperatura ambiente, até a realização das análises microbiológicas, físico-químicas, físicas, e sensoriais, seguindo então por 4 etapas, respectivamente.

5.15.2 Análise microbiológica

As análises foram conduzidas de acordo com os critérios estabelecidos pela Instrução Normativa nº 161, de 1º de julho de 2022 da ANVISA que define os padrões microbiológicos para alimentos. Para “(...)biscoitos e outros produtos de panificação, estáveis à temperatura ambiente” sem recheio e sem cobertura, foi realizada a pesquisa de *Salmonella* spp., sendo exigida sua ausência em 25 g de amostra, a contagem de *Escherichia coli* com limite máximo tolerado de 10^2 UFC/g, a quantificação de *Bacillus cereus* cujo limite é de 10^2 UFC/g, e por fim, a contagem de bolores e leveduras, limitada a 10^3 UFC/g. Todas as análises foram conduzidas em triplicata, respeitando as condições de assepsia e os parâmetros técnicos recomendados.

5.15.3 Análises físico-químicas

As determinações do teor de cinzas (Método 08-12.01), o teor de umidade (Método 44-15.02), teor de proteína (Método 46-10.01 de Micro-Kjeldahl), e teor de lipídeos (Método 30-25.01) foram realizadas conforme metodologias propostas pela AOAC (2007). A determinação da fração glicídica (carboidratos totais) foi realizada pela diferença dos valores encontrados para umidade, cinzas, proteína bruta e lipídeos em 100 g do produto, seguindo as normas do Instituto Adolfo Lutz (2008). Os resultados foram expressos em g 100 g⁻¹. O pH foi lido de forma direta no medidor de pH digital e acidez total determinada por titulometria, segundo Brasil (2008). E, para determinar os valores energéticos da amostra, foi considerado os fatores de conversão de Atwater, segundo Wilson, Santos e Vieira (1982) de 4kcal/g de proteína, 4kcal/g de carboidrato e 9kcal/g de lipídeo.

5.15.4 Análises físicas

As análises físicas dos biscoitos de cada formulação foram realizadas antes e após a assadura, conforme os procedimentos descritos no macrométodo 10-50D da *American Association of Cereal Chemists – AACC* (1995), com as devidas adaptações à presente pesquisa. Foram determinados os parâmetros de peso, diâmetro, espessura, volume, densidade aparente, rendimento e fator térmico de cada formulação.

- a) O peso (g) foi obtido utilizando balança analítica de precisão (0,01g);
- b) O diâmetro (mm) foi determinado por meio de duas medições perpendiculares na superfície do biscoito, também utilizando paquímetro, e expressando-se a média aritmética dos valores;
- c) A espessura (mm) foi medida com o auxílio de um paquímetro digital, realizando-se três medições por biscoito de cada formulação e calculando-se a média;
- d) O volume (cm³) foi calculado a partir da fórmula geométrica do cilindro, considerando-se a média do diâmetro e da espessura de cada biscoito, conforme Equação 8:

$$V = \pi r^2 h \quad (8)$$

Onde: V = é o volume; π representa o valor de 3,14; e r é o raio do biscoito (metade do diâmetro, em cm); h = altura ou espessura do biscoito (em cm).

- e) A densidade aparente (g/cm³) foi estimada pela razão entre o peso do biscoito e o volume calculado (Equação 9):

$$Dap = \frac{M}{Vap} \quad (9)$$

Onde: *Dap* é a densidade aparente; M é a massa ou peso inicial da amostra; *Vap* é o volume aparente após assentamento da amostra.

- f) O rendimento (R) do produto pronto (pós-cocção) foi calculado a partir do peso pré e pós-cocção dos biscoitos, segundo (ARAÚJO; GUERRA, 1992), conforme a Equação 10:

$$R = \frac{\text{Peso pós - cocção}}{\text{Peso pré - cocção}} \times 100 \quad (10)$$

- g) O fator térmico (FT) também foi calculado a partir do peso pré e pós-cocção dos biscoitos, segundo Equação 11:

$$FT = \frac{\text{Peso pós - cocção}}{\text{Peso pré - cocção}} \quad (11)$$

As análises foram realizadas em triplicata para cada formulação, tanto antes quanto após o forneamento, com o objetivo de avaliar a expansão, perda de massa e alterações estruturais decorrentes do processo térmico.

5.15.5 Análise sensorial

A análise sensorial dos produtos foi realizada por um painel formado de 50 a 100 avaliadores, segundo recomendado por Dutcosky (2011), e selecionados aleatoriamente entre a comunidade técnica, colaborativa e acadêmica da ASCES/UNITA. Antes da execução dos testes sensoriais foi solicitado aos avaliadores o preenchimento do Questionário de Recrutamento (APÊNDICE B), o qual incluiu perguntas sobre o consumo de biscoitos, a presença de doenças e a prática de atividades físicas e orientados a respeito dos possíveis riscos e benefícios da pesquisa. Esses critérios foram utilizados apenas para caracterizar a amostra dos avaliadores, garantindo que os dados coletados sejam representativos e relevantes para o estudo; e após a assinatura do TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A).

As análises ocorreram no Laboratório de Técnica Dietética e Tecnologia dos Alimentos da ASCES/UNITA no período da manhã, entre 9 e 11 horas, em cabines individuais adaptadas, iluminadas com luz branca, com espaço suficiente para acomodar o avaliador e as amostras. Foram servidas aproximadamente 5 g de cada uma das três formulações, em pratos descartáveis brancos identificados com números aleatórios de três dígitos e ficha de Análise Sensorial (APÊNDICE C) p. As amostras foram apresentadas ao painel sensorial juntamente com um copo d'água, para a lavagem do palato entre uma degustação e outra e uma ficha para avaliação do teste afetivo.

Para a realização do teste afetivo de aceitabilidade foram avaliados os atributos cor, odor, aparência, sabor e textura, por meio da escala hedônica estruturada de nove pontos, que varia de 1: desgostei muitíssimo a 9: gostei muitíssimo (STONE; SIDEL,

2004). Para avaliar a aceitabilidade global das formulações, foi calculado o Índice de Aceitabilidade (IA), utilizando-se a Equação 12:

$$IA (\%) = \frac{(A \times 100)}{B} \quad (12)$$

Onde: A = corresponde à média das notas atribuídas pelos provadores ao produto; e B = representa a nota máxima possível na escala hedônica utilizada.

De acordo com Teixeira, Meinert e Barbeta (1987), valores de IA iguais ou superiores a 70% indicam boa aceitação sensorial por parte dos avaliadores. Esse índice permite uma interpretação padronizada dos resultados, sendo amplamente empregado em estudos de desenvolvimento de novos produtos alimentícios.

O teste de intenção de compra foi aplicado através da escala de 5 pontos (5= certamente compraria; 1 = certamente não compraria), além disto, os avaliadores foram instruídos a selecionar a amostra preferida. Os testes afetivos são importantes ferramentas para avaliar a preferência ou aceitação do consumidor em relação às características globais de um produto. É um método que determina qual o produto preferido, ou, mais aceito, ou ainda a sua probabilidade de ser adquirido, por determinado público-alvo, em função das suas características sensoriais (MINIM, 2010).

5.16 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para análises realizadas em triplicata, foram submetidas ao teste de normalidade seguido da Análise de Variância (ANOVA) one-way, e em duplicata expressos por meio de média $\pm$ desvio-padrão. Para a análise estatística dos escores sensoriais inicialmente foram feitas análises descritivas (percentual, média e desvio padrão) e calculado o Índice de Aceitabilidade (IA%). Em seguida foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) one-way, com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas entre as três formulações (F1, F2 e F3) para cada atributo sensorial avaliado (cor, odor, aparência, sabor e textura). Para os atributos que apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), foi aplicado o teste de comparação múltipla de *Tukey*, com o intuito de identificar quais formulações diferiram entre si. Os

dados foram previamente computados no programa Excel versão 2019 e posteriormente analisados no programa *Graphpad Prism* 7.04.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 EXTRAÇÃO DO AMIDO

Para a realização do teste piloto, foram utilizados inicialmente 2kg de batata-doce *Beauregard*, que, quando descascadas, sofreu uma redução de aproximadamente 400g do peso inicial da matéria-prima. Quando extraído, rendeu ~280g de amido não purificado, representando um rendimento de 14%. O processo está ilustrado na Figura 12 a seguir.



Figura 12. Etapas de extração do amido da Batata-doce *Beauregard*.

Nota: Em 1 – Peso Bruto; 2 – Peso Líquido; 3 – Desintegração das batatas em liquidificador industrial; 4 – Suspensão do amido em peneiras 0,425 mm (300 mesh); 5 – Amido na etapa de decantação; 6 – Amido extraído após 20 horas de secagem. Fonte: Autor (2025).

O rendimento da extração de amido é um parâmetro fundamental tanto do ponto de vista industrial quanto científico, pois reflete a eficiência do processo adotado e a qualidade do amido obtido (TESSEMA; ADMASSU, 2021). Diversas metodologias são descritas na literatura para a extração de amido de origem vegetal, sendo a extração por via úmida amplamente utilizado, tem sido consistentemente reportado como eficiente tanto em rendimento quanto na pureza do material, com valores que

variam entre 10% e até 65%, conforme o tipo de matéria-prima vegetal (métodos upland ou raízes/tubérculos) (DORANTES-FUERTE et al., 2024). Em particular, esse método permite alcançar purezas de até 99,5% em estudos recentes, sendo um padrão de referência na indústria alimentícia e farmacêutica (RASHWAN et al., 2024).

Nessa abordagem, o material vegetal é submetido a processos de trituração ou moagem em meio aquoso (ou, em alguns casos, ácido ou alcalino), seguido por etapas de separação de fibras, centrifugação, purificação e secagem em temperaturas inferiores a 50 °C. Na presente pesquisa, foi adotado o método de extração por via úmida utilizando água como meio de dispersão, o que resultou em rendimento dentro da faixa relatada na literatura para essa metodologia, que varia de 11% a 28% (LUBIS et al., 2017; MAHANTA; KALITA, 2015; ZHANG et al., 2018).

Embora não tenha sido utilizado neste estudo, vale destacar que técnicas emergentes, como a aplicação de ondas ultrassônicas, têm sido investigadas como alternativas para aumentar o rendimento da extração de compostos naturais. Segundo Falua et al. (2022), o rendimento é de aproximadamente 10% em comparação com a metodologia tradicional, mantendo os custos e características físico-químicas da pasta praticamente inalterados. No entanto, é importante ressaltar que a adoção de diferentes metodologias pode influenciar significativamente os valores obtidos de rendimento, o que reforça a importância de considerar a técnica empregada ao comparar resultados entre estudos.

6.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO AMIDO

Os resultados das análises físico-químicas do amido de batata-doce biofortificada de variedade *Beauregard* estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização físico-química do amido extraído da Batata-doce biofortificada de cultivar *Beauregard*.

PARÂMETROS	(g/100g de amido)
Umidade	10,70 ± 0,16
Cinzas	0,32 ± 0,02
Lipídeos	0,07 ± 0,02
Proteínas	0,67 ± 0,16
Áçúcares totais	1,20 ± 0,04
Fibra Bruta	0,40 ± 0,08
pH	5,7 ± 0,04

Acidez total	0,10 ± 0,00
Atividade de Água	0,60

*Dados apresentados são valores médios ± desvio padrão de três repetições expressos em grama. O teor de carboidratos foi calculado por diferença. Fonte: Autor (2025).

De acordo com um estudo recente de Batista et al. (2020), o teor de umidade do amido de batata-doce varia entre 10,5% e 12%, dependendo da variedade e das condições de processamento, apresentando consonância com o teor de umidade observado nesse estudo ($10,70 \pm 0,16$ g/100g). Esse teor é considerado adequado para garantir a estabilidade do produto durante o armazenamento, já que níveis mais baixos de umidade favorecem a conservação, evitando o crescimento microbiano. Outros estudos, como o de Nwankwo et al. (2023) destaca que a desidratação do amido é uma prática comum para melhorar sua estabilidade e prolongar a vida útil.

O uso de métodos como a liofilização e a desidratação térmica, que são amplamente aplicados em alimentos ricos em amido, não apenas removem a umidade, mas também ajudam a preservar as características físico-químicas do amido, como a capacidade de reidratação e a estabilidade durante o armazenamento (NWANKWO et al., 2023).

O teor de umidade encontrado ($10,70 \pm 0,16$ g/100g) está dentro da faixa considerada ideal para amidos de batata-doce, garantindo estabilidade durante o armazenamento. Estudos recentes indicam que os amidos de batata-doce apresentam teores de umidade entre 8% e 12%, dependendo da variedade e das condições de processamento, como observado no trabalho de Leonel et al. (2023) que avaliaram o impacto das condições sazonais sobre as propriedades de amidos de diferentes cultivares de batata-doce. A umidade adequada é crucial para prevenir a deterioração microbiana durante o armazenamento prolongado.

Segundo um estudo recente, o teor de cinzas em amidos de batata-doce pode variar dependendo da cultivar e do ambiente de cultivo, com valores que normalmente variam entre 0,22% e 0,36%. Esse parâmetro reflete a presença de minerais no amido e pode ser influenciado pelas práticas agrícolas e pelo tipo de solo onde as plantas são cultivadas, como observado por estudos que compararam diferentes cultivares de batata-doce sob diferentes condições climáticas e de cultivo (LEONEL et al., 2023). O valor de cinzas encontrado nesta pesquisa ($0,32 \pm 0,02$ g/100g) está dentro do que foi supracitado e também com o estudo de Collado et al. (2019), que relatam teores de cinzas variando de 0,30% a 0,36% em amidos extraídos de batata-doce.

A concentração de lipídeos foi baixa ($0,07 \pm 0,02$ g/100g), o que é uma característica comum em amidos, o que contribui para a pureza do produto e seu uso em diversas aplicações industriais. Segundo Martínez-Castellanos et al. (2024), amidos de raízes e tubérculos, como a batata-doce, geralmente contêm menos de 0,1% de lipídeos, o que contribui para sua neutralidade em termos de sabor e versatilidade no uso em várias indústrias, incluindo a alimentícia e farmacêutica.

Os resultados de proteínas encontrados ($0,67 \pm 0,16$ g/100g) é compatível com os achados de outros estudos recentes. Por exemplo, Kaur et al. (2021) mencionam teores de proteínas em torno de 0,5% a 0,7% para amidos de batata-doce. A quantidade relativamente baixa de proteínas é esperada, visto que o processo de extração de amido remove a maioria das frações proteicas, concentrando carboidratos. Essa característica é vantajosa para a aplicação do amido em produtos alimentícios de textura suave e controle de viscosidade (WANI et al., 2024).

O amido isolado da batata-doce cultivar *Beauregard* apresentou teores de açúcares totais de 1,20 g/100 g e fibra bruta de 0,40 g/100 g, o que está em consonância com os dados reportados na literatura científica recente. Esses valores podem refletir a eficácia dos processos de extração e purificação do amido, que visam reduzir ao máximo a presença de açúcares simples e fibras não amiláceas, componentes indesejáveis em aplicações que requerem alta pureza de amido. Por exemplo, um estudo conduzido por Nascimento et al. (2013) analisou a fécula de batata-doce biofortificada de polpa alaranjada e encontrou um teor de fibras de 18,81 g/100 g, valor significativamente superior ao observado na presente pesquisa. Essa diferença pode ser atribuída às distintas metodologias de processamento e ao grau de purificação do amido, sendo que a fécula analisada por Nascimento et al. possivelmente continha maior quantidade de componentes fibrosos residuais. Adicionalmente, Acevedo et al. (2018) reportaram um teor de fibra bruta de 1,92 g/100 g em farinha de batata-doce, indicando que produtos menos processados tendem a reter maiores quantidades de fibra alimentar.

A baixa concentração de açúcares totais observada no amido isolado é desejável, especialmente para aplicações industriais onde a presença de açúcares simples pode afetar negativamente as propriedades funcionais do amido, como a viscosidade e a gelatinização. Além disso, baixos teores de açúcares e fibras são indicativos de um amido de alta pureza, adequado para usos em produtos alimentícios que exigem características específicas de textura e estabilidade. Em resumo, os

resultados obtidos para o amido isolado da batata-doce cultivar *Beauregard* demonstram uma composição compatível com as exigências de qualidade para aplicações alimentícias e industriais, destacando-se pela baixa presença de componentes não amiláceos e pela alta pureza do produto final.

O valor de pH encontrado nesta pesquisa ($\text{pH } 5,7 \pm 0,04$) está em consonância com outros estudos recentes sobre o amido dessa variedade de polpa alaranjada. Por exemplo, um estudo de Fernandes, Leonel e Nunes (2023) relataram que o pH de amidos de batata-doce varia entre 5,5 e 6,5, dependendo da variedade e das condições de extração. Outro estudo que analisa o amido de batata-doce roxa, também relatara valores similares, indicando que a maioria dos amidos extraídos de batatas-doces tende a ter um pH levemente ácido (ARIFFIN; SHAH; YUSOF, 2021). Essa característica de amidos de raízes e tubérculos contribui para sua estabilidade em formulações alimentícias (SOHANY et al., 2021). Comparativamente, o pH encontrado está dentro da faixa esperada e reforça a consistência com as propriedades físico-químicas de amidos de batata-doce relatadas em estudos anteriores.

A importância do pH no desenvolvimento de novos produtos alimentícios é notável, pois ele afeta diretamente a funcionalidade do amido em processos industriais, como gelatinização, solubilidade e interação com outros ingredientes (COMPART et al, 2023). Um pH levemente ácido, como o encontrado em amidos de batata-doce, favorece sua utilização como espessante e estabilizador em produtos alimentares, especialmente em formulações que exigem um pH controlado para preservar sabor e textura, como molhos do tipo ketchup, mostarda, maionese. Além disso, estudos recentes, como o de Fernandes, Leonel e Yusof (2023), destacam que o controle do pH pode otimizar as propriedades funcionais do amido, como viscosidade e resistência a ciclos de congelamento/descongelamento, tornando-o uma opção viável para produtos congelados e embalagens inteligentes, como pratos prontos congelados (ex: escondidinhos, lasanhas, purês). Assim, o pH adequado aumenta a versatilidade do amido, permitindo sua aplicação em uma ampla gama de produtos alimentícios, desde sobremesas até produtos à base de amido modificado.

Sabe-se que o pH e a acidez total estão inter-relacionados: o pH 5,7 indicou um alimento ligeiramente ácido, o que é compatível com uma acidez total que apresentou valor de $0,10 \pm 0,00 \text{ g/100g}$ no amido de batata-doce da variedade *Beauregard*. O pH de um amido reflete sua capacidade de liberar íons H^+ , o que afeta

diretamente seu comportamento em soluções. Níveis moderados de acidez, como o encontrado no presente trabalho, são típicos de amidos de tubérculos, que têm pH levemente ácido e acidez baixa, favorecendo a estabilidade do gel e a funcionalidade em alimentos (ZANG et al., 2022). O que está em conformidade com os resultados encontrados por outros estudos, como o de Lyu et al. (2021), que relataram valores semelhantes para amidos extraídos de batata-doce biofortificada. Segundo Ačkar et al. (2015), a baixa acidez total também facilita a aplicação do amido em produtos alimentícios, preservando a neutralidade do sabor e permitindo melhor integração em produtos com requisitos específicos de textura. Esse controle da acidez é essencial para manter as propriedades físico-químicas do amido, especialmente em alimentos processados que exigem estabilidade prolongada, como destaca o estudo de Xu et al. (2021), que menciona a importância da modificação do amido para garantir a sua funcionalidade em aplicações que variam desde alimentos funcionais até materiais industriais especializados.

A atividade de água (0,60) encontrada neste estudo está dentro da faixa aceitável para amidos que são destinados ao armazenamento prolongado. Segundo Leonel et al. (2023), amidos com atividade de água moderada, entre 0,55 e 0,65, apresentam menor susceptibilidade ao crescimento microbiano, contribuindo para a sua durabilidade e estabilidade, parâmetro crucial para prever a estabilidade microbiológica e química dos alimentos.

6.3 COMPOSIÇÃO DE MACRO E MICRO MINERAIS DO AMIDO

Na Tabela 5 a seguir estão descritos os valores obtidos a partir da determinação de minerais presentes no amido extraído da Batata-doce biofortificada de cultivar *Beauregard*.

Tabela 5. Composição de minerais do amido extraído da Batata-doce biofortificada de cultivar *Beauregard*.

MINERAIS	(mg/100g de amido)
Fósforo	10,90 ± 0,14
Sódio	0,60 ± 0,06
Cálcio	0,72 ± 0,02
Magnésio	11,55 ± 0,09
Potássio	9,80 ± 0,84
Cobre	0,01 ± 0,00

Ferro	$0,52 \pm 0,05$
Manganês	$0,04 \pm 0,01$
Zinco	$0,15 \pm 0,00$

*Dados apresentados são valores médios $\pm$ desvio padrão de três repetições expressos em miligrama do mineral correspondente a 100 gramas de amido. Fonte: Autor (2025).

O teor de fósforo encontrado ($10,90 \pm 0,14$ mg/100g) está de acordo com estudos recentes, como o de Xu et al. (2017), que observaram que o conteúdo de fósforo em amidos varia com base no processo de biossíntese e nas condições de cultivo. O fósforo é essencial para o metabolismo energético, sendo um componente-chave do ATP, além de contribuir para a gelatinização do amido e outras propriedades funcionais, como a viscosidade e a retrogradação. A variação no teor de fósforo pode ser atribuída tanto à origem botânica do tubérculo quanto às práticas de cultivo, o que influencia diretamente as propriedades físico-químicas do amido (AČKAR et al., 2015).

Já o teor de sódio encontrado ($0,60 \pm 0,06$ mg/100g) pode ser considerado um valor baixo, mas condizente com a literatura científica. Esse resultado é esperado, visto que o sódio é um mineral solúvel em água e tende a ser removido durante as etapas de lavagem e decantação no processo de extração do amido. Segundo Zhang et al. (2017), os teores de sódio em amidos isolados de diferentes cultivares de batata-doce variaram entre 0,60 e 1,00 mg/100g, sendo influenciados tanto pela variedade do tubérculo quanto pelas suas condições de cultivo e purificação do amido. Moorthy (2002), em revisão sobre as características físico-químicas de amidos de raízes tropicais, também relatou valores similares, com teores de sódio entre 0,50 e 1,20 mg/100 g. A baixa concentração deste mineral é vantajosa para formulações alimentares com restrição de sódio, reforçando o potencial do amido de batata-doce como ingrediente funcional em produtos voltados à saúde cardiovascular e dietas hipossódicas. Além disso, a manutenção de baixos teores de sódio pode favorecer a estabilidade do amido em formulações alimentares industrializadas que exigem controle de minerais para preservação de sabor e textura.

O cálcio no amido, embora tenha menor impacto direto nas propriedades funcionais, é relevante para a fortificação nutricional, especialmente em produtos destinados a populações com deficiências minerais. O teor de cálcio encontrado ($0,72 \pm 0,02$ mg/100g) está em linha com estudos como o de Wolde et al. (2022), que relataram concentrações de cálcio variando de 0,50 a 1 mg/100g em amidos de tubérculos, destacando seu potencial uso em fortificação.

A presença de cálcio pode, de fato, influenciar a estabilidade térmica do amido durante o processamento industrial. Isso ocorre porque o cálcio pode interagir com as moléculas de amido, promovendo uma maior resistência ao calor e à degradação durante tratamentos térmicos. Estudos destacam que o cálcio pode aumentar a rigidez da estrutura do amido, resultando em maior estabilidade térmica, o que é particularmente relevante na produção de alimentos industrializados que passam por aquecimento prolongado (LEWANDOWICZ et al., 2022).

A variação no teor de magnésio pode ser influenciada pelas condições de cultivo e pela variedade da batata-doce, impactando suas aplicações industriais e alimentícias (LIU et al., 2021). Outro estudo de Wang et al. (2020) também destaca a influência dos métodos de processamento no conteúdo de minerais em amidos de batata-doce, com teores de magnésio variando dentro de uma faixa semelhante. O teor de magnésio no amido de batata-doce alaranjada foi de $11,55 \pm 0,09$ mg/100g, o que está abaixo do sugerido por Laurie et al. (2022), que diz que a quantidade de magnésio no amido de batata-doce varia, normalmente, entre 15 a 37 mg por 100 g, dependendo da cultivar e das condições de cultivo.

O magnésio é um mineral essencial para várias funções biológicas, incluindo a ativação enzimática, síntese de proteínas, e manutenção de gradientes iônicos. A biofortificação de alimentos, especialmente em cultivos como batata-doce, pode aumentar o teor de magnésio, contribuindo para melhorar a saúde pública em regiões com deficiência desse mineral. A adição de fertilizantes de magnésio tem se mostrado eficaz para aumentar sua concentração em plantas, melhorando tanto a produtividade quanto o valor nutricional do alimento. Práticas agrícolas como a biofortificação têm sido implementadas para otimizar a quantidade de magnésio nas culturas e aumentar a disponibilidade de micronutrientes (SHEORAN et al., 2022).

O teor de potássio ($9,80 \pm 0,84$ mg/100g) encontrado no estudo está próximo ao relatado por Gao et al. (2021), que observaram variações no conteúdo de potássio em amidos de tubérculos, especialmente em batata-doce, onde o potássio desempenha um papel vital no equilíbrio osmótico e na conversão de sacarose em amido durante o crescimento. Embora o potássio não afete diretamente as propriedades tecnológicas do amido, ele contribui para o valor nutricional, especialmente na redução do sódio em formulações alimentícias.

O teor de cobre ($0,01 \pm 0,00$ mg/100g) está de acordo com estudos sobre traços de minerais em amidos de tubérculos. Olivares et al. (2013) discutem que o cobre é

reconhecido por seu papel essencial em processos enzimáticos, mesmo em pequenas quantidades, sendo sua concentração em raízes e tubérculos geralmente baixa. Essa quantidade pode não influenciar diretamente as propriedades tecnológicas do amido, mas contribui para aumentar a densidade nutricional dos produtos alimentares que utilizam amido como ingrediente.

O ferro ($0,52 \pm 0,05$ mg/100g) é um valor relevante e está de acordo com estudos de Gao et al. (2021), que mencionam valores similares para o ferro em diferentes variedades de batata-doce, onde variam de 0,50 mg a 1 mg por 100g, dependendo da cultivar e das condições de cultivo. Além disso, o ferro é crucial para a prevenção da anemia, e a biofortificação de tubérculos, como a batata-doce, é uma estratégia eficaz para aumentar o teor desse nutriente nos alimentos. A quantidade de ferro presente pode variar conforme as técnicas de cultivo e as condições do solo. Um estudo de Liberal et al. (2020) destaca que a biofortificação é uma abordagem promissora para melhorar a concentração de ferro em culturas alimentares essenciais, ajudando a combater a anemia, especialmente em regiões onde a deficiência de ferro é um problema significativo. Além disso, práticas como a biofortificação genética ou a adição de fertilizantes ricos em ferro podem aumentar os níveis desse mineral em produtos derivados de amido, tornando-os mais nutritivos e valiosos para populações em risco.

Assim como o teor de cobre que não afeta diretamente as propriedades físico-químicas do amido, o teor de manganês encontrado ($0,04 \pm 0,01$ mg/100g) está alinhado com outras pesquisas, que relatam concentrações semelhantes de manganês em cultivares de batata-doce. Por exemplo, Laurie et al. (2022) observaram que as batatas-doces alaranjadas possuem níveis importantes de minerais como manganês, que, embora em pequenas quantidades, contribuem para a densidade nutricional dos produtos alimentares. Esse mineral, juntamente com outros oligoelementos, desempenha um papel crucial na biofortificação e na qualidade nutricional dos alimentos à base de amido.

O teor de zinco no amido de diferentes fontes pode variar significativamente. Em geral, para amidos extraídos de milho, o teor de zinco é cerca de 0,62 mg/100g, enquanto no amido de batata-doce, o conteúdo de zinco tende a ser um pouco menor, em torno de 0,32 mg/100g. O teor de zinco encontrado nesta pesquisa ($0,15 \pm 0,00$ mg/100g) difere da literatura. Essas variações refletem as diferentes capacidades dos cereais em absorver e armazenar minerais como o zinco, influenciadas por fatores

como o tipo de solo e práticas agrícolas. Sua presença em pequenas quantidades no amido é comum e, como no caso do ferro, o zinco é frequentemente alvo de biofortificação em tubérculos para aumentar seu valor nutricional em dietas deficientes desse mineral (KÄRENLAMPI, WHITE, 2009).

Outra possível explicação para o baixo teor de zinco observado no amido extraído da batata-doce cultivar *Beauregard* está relacionada à localização preferencial desse mineral nas estruturas não amiláceas do tubérculo. Estudos indicam que minerais como o zinco tendem a se concentrar majoritariamente na casca e em frações associadas à parede celular ou complexadas com proteínas, e não na fração amilácea propriamente dita. Um trabalho que avaliou diferentes variedades de batata colorida demonstrou que a casca apresenta um conteúdo significativamente maior de minerais, incluindo o zinco, em comparação com a polpa, que é a principal fonte de amido (GARCÍA-MARTÍNEZ, RODILEZ-LÓPEZ, MARTÍNEZ-FLORES, 2024). Assim, considerando que o processo de extração e purificação do amido promove a remoção de componentes da casca e proteínas associadas, é plausível que essas etapas contribuam para a redução dos teores de zinco na fração final analisada.

6.4 TEOR DE AMILOSE E AMILOPECTINA

Os valores obtidos para o conteúdo total de amilose e amilopectina presentes no amido extraído da Batata-doce biofortificada de cultivar *Beauregard* são, respectivamente, $24,35 \pm 0,35$ g/100g e $76,65 \pm 0,35$ g/100g. Muito semelhante a estes valores são os encontrados no estudo de Ahmed et al. (2018), que avaliaram 29 genótipos de batata e observaram uma grande variabilidade deste parâmetro (o teor aparente de amilose dos amidos de batata foi em média 25,3%, variando de 18,9 a 29,4%), atribuindo-o a diferentes métodos de análise, origens geográficas, condições de cultivo e antecedentes genéticos. O teor de amilose nos amidos naturais pode variar e impactar de forma significativa as propriedades térmicas, de pasta, estruturais e de digestibilidade dos amidos quando tratados com água ou ácidos orgânicos (BARRETTI et al., 2020; VAN HUNG; MY; PHI, 2014).

O teor de amilose varia de acordo com a fonte botânica, com valores típicos entre 20% e 30% em cereais e 15% a 25% em tubérculos. Segundo Jiang et al. (2019), amidos com alto teor de amilose são preferidos para a formulação de produtos alimentícios que requerem maior firmeza e menor propensão à retrogradação durante

o armazenamento. Amidos com alto conteúdo de amilose tendem a formar géis mais firmes e são menos suscetíveis à retrogradação, o que é ideal para alimentos que precisam manter uma boa textura ao longo do tempo.

Ainda, os amidos podem ser classificados em tipos cerosos, semi-cerosos, normais/regulares e com alto teor de amilose quando o teor de amilose é 0-2%, 3-15%, 15-35% e > 40% do amido total, respectivamente (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015). Portanto, o amido encontrado nesta pesquisa se classificou como normais/regulares, indicando que há maior tendência à retrogradação e formação de géis firmes, sendo úteis em aplicações onde a firmeza e a retenção de estrutura são importantes.

Os valores obtidos para a amilopectina, calculados por diferença em relação ao conteúdo de amilose, são de extrema relevância para a caracterização funcional do amido. No presente estudo, a amilopectina representa aproximadamente 76,65 g/100 g de amido, um valor consistente com o reportado para amidos de batata-doce e outros tubérculos (WANG et al., 2016). Amidos ricos em amilopectina exibem propriedades específicas, como maior capacidade de formação de géis viscosos, resistência à retrogradação e maior digestibilidade, o que os torna atraentes para aplicações em alimentos e na indústria farmacêutica (ZAVAREZE; DIAS, 2011).

A predominância de amilopectina no amido contribui diretamente para suas características de gelatinização e comportamento durante o processamento térmico. Sua estrutura altamente ramificada facilita a interação com a água, resultando em maior viscosidade aparente, fator essencial em produtos como molhos, sobremesas e alimentos instantâneos (HOOVER, 2010). Além disso, a proporção de amilopectina influencia a textura e a estabilidade durante o armazenamento, particularmente em sistemas de baixa temperatura, onde sua menor tendência à cristalização minimiza a sinérese (CHEN et al., 2017). Amidos com alto teor de amilopectina também apresentam aplicações específicas no desenvolvimento de filmes comestíveis e embalagens biodegradáveis, devido à sua capacidade de formar matrizes coesas e flexíveis (PEREIRA et al., 2013). Esse aspecto é especialmente importante em um contexto de crescente demanda por alternativas sustentáveis.

Os resultados encontrados indicam que a cultivar analisada possui potencial para atender a nichos de mercado que demandam amidos com essas propriedades. A relação entre amilose e amilopectina deve ser considerada em conjunto com outros

parâmetros físico-químicos para aplicações específicas, como alimentos funcionais e modificados.

6.5 FORMA E TAMANHOS DOS GRÂNULOS DO AMIDO

A seguir, as Figuras 13 e 14 mostram micrografias MEV do amido da Batata doce *Beauregard* obtidos para descrever suas propriedades morfológicas.

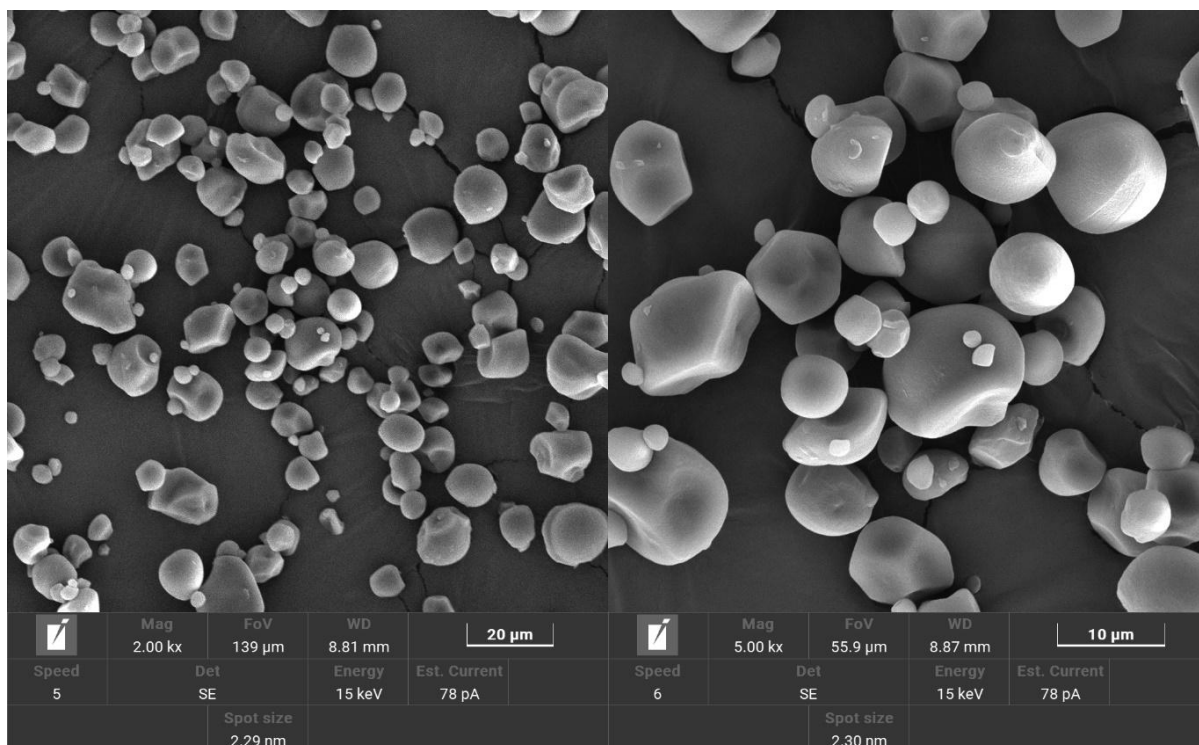


Figura 13. Morfologia do amido da Batata doce *Beauregard* em MEV a 15 keV, com ampliação de 2.00 e 5.00 kx, de tamanhos 20 e 10 µm, respectivamente.

A Figura 13 apresenta a morfologia dos grânulos de amido extraído da batata-doce *Beauregard*, obtida por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) a 15 keV. À esquerda, com ampliação de 2.00 kx, observa-se que os grânulos variam entre 20 µm, e à direita, com ampliação de 5.00 kx, há uma concentração de grânulos menores, com cerca de 10 µm de diâmetro. Com ampliação de 10.00 kx e com tamanho de aproximadamente 5 µm, observa-se ainda na Figura 13, que os grânulos exibem predominantemente formato esférico, com algumas variações de forma ovalada, superfícies relativamente lisas, algumas com pequenas fissuras e marcas superficiais. A estrutura homogênea e esférica dos grânulos reflete a morfologia típica do amido de batata-doce, que tende a apresentar grânulos maiores quando comparado a outras fontes amiláceas, como os cereais.

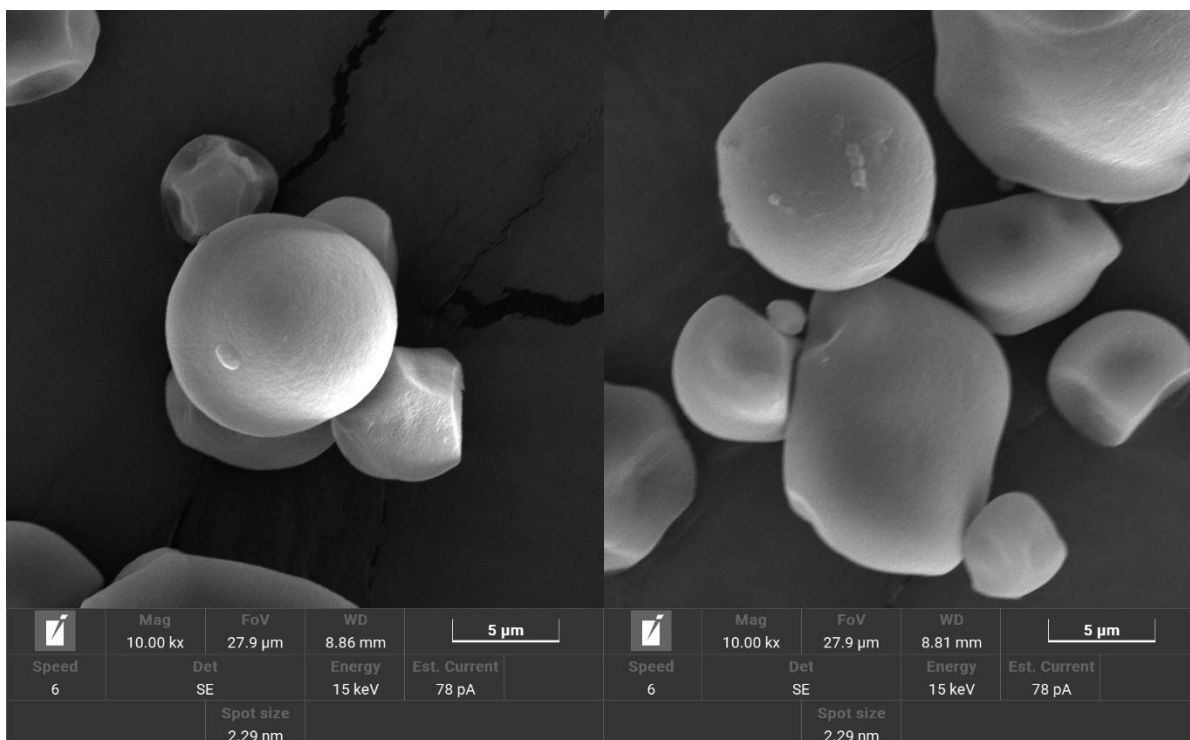


Figura 14. Morfologia do amido da Batata doce *Beauregard* em MEV a 15 keV, com ampliação de 10.00 kx e tamanho de 5 µm.

A morfologia dos grânulos de amido da batata-doce *Beauregard* é semelhante à descrita por outros estudos sobre amido de batata-doce. Liao et al. (2020) verificaram que os grânulos de amido de variedades de batata-doce, incluindo cultivares com polpa laranja, roxa e branca, apresentam tamanhos que variam de 5 a 90 µm, com predominância de grânulos ovais e poligonais. Grânulos menores, como os observados em estudos com batata-doce roxa, tendem a apresentar maior solubilidade e capacidade de absorção de água, características que podem ser importantes para a modificação de propriedades funcionais de alimentos (LIAO et al., 2020).

Por outro lado, o amido de cereais como o milho e o arroz, apresenta grânulos de formas variadas, muitas vezes com formatos poligonais e tamanhos menores, entre 3 e 15 µm (LI et al., 2022). Esse tipo de amido, devido à sua estrutura granular e menor tamanho, possui maior capacidade de gelatinização a temperaturas mais baixas em comparação ao amido da batata-doce, o que pode influenciar nas aplicações industriais, principalmente em produtos que exigem rápida solubilidade e espessamento.

A morfologia dos grânulos de amido é um fator determinante nas suas propriedades funcionais e nas suas aplicações industriais (ZENG et al., 2011).

Grânulos maiores, como os encontrados na batata-doce *Beauregard*, podem apresentar maior resistência ao calor e maior viscosidade final, características que são essenciais para o uso em produtos de panificação e alimentos processados que necessitam de estabilidade térmica. Além disso, a alta retrogradação observada nesses amidos pode ser explorada em formulações que exigem textura firme após o resfriamento, como no caso de produtos à base de géis e pudins (LOW; THIELE, 2020).

Por outro lado, os grânulos menores e mais solúveis são favorecidos na produção de alimentos instantâneos e sobremesas, onde a rápida absorção de água e o espessamento são desejáveis. Isso faz do amido de batata-doce uma alternativa interessante para substituir amidos de cereais em certos produtos, dependendo das condições de processamento e das características desejadas no produto final (LUQUE-VILCA et al., 2023). Em suma, a morfologia granular do amido de batata-doce *Beauregard* não apenas influencia suas propriedades físico-químicas e funcionais, mas também oferece versatilidade em diversas aplicações alimentícias, especialmente onde viscosidade e textura são fatores críticos para o desenvolvimento de produtos industriais como produtos instantâneos e de preparo rápido (mingaus e cremes em pó), panificação e confeitaria (recheios e coberturas de tortas), produtos lácteos e sobremesas refrigeradas ou congeladas (iogurtes e bebidas lácteas espessadas), dentre outras.

6.6 DIGESTIBILIDADE *IN VITRO* DO AMIDO

Segundo Englyst et al. (1992), o amido pode ser classificado com base na sua velocidade de digestão *in vitro*: como rapidamente digerível, quando se converte em glicose em 20 minutos sob incubação com amilase pancreática e amiloglucosidase a 37°C; lentamente digerível, se essa conversão ocorre em 120 minutos nas mesmas condições; e como amido resistente (AR), quando não é digerido pelas enzimas digestivas. Os valores obtidos podem variar para diferentes fontes do amido, condições do processamento, tamanho do grânulo, relação entre amilose e amilopectina e cristalinidade (COLUSSI et al., 2017).

Os resultados da digestibilidade *in vitro* do amido da batata-doce *Beauregard*, apresentada na Tabela 6, pode ser orientada pelas frações de amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR).

Tabela 6. Digestibilidade *in vitro* do amido da Batata doce *Beauregard*.

PARÂMETROS	Digestibilidade (média $\pm$ DP)
AT%	90,0 $\pm$ 3,0
ARD%	22,5 $\pm$ 1,2
ALD%	40,5 $\pm$ 2,0
AR%	27,0 $\pm$ 1,5

Dados apresentados são valores médios $\pm$ desvio padrão (DP) de três repetições. Nota: AT - Amido Total; ARD - Amido Rapidamente Digerível; ALD - Amido Lentamente Digerível; AR - Amido Resistente. Fonte: Autor (2025).

Conforme Tabela 6, o valor de 90,0% de AT indica que a cultivar *Beauregard* apresenta um conteúdo considerável de amido, o que é esperado para batatas-doces, devido à sua função como reserva de carboidratos. Comparativamente, outros estudos reportam valores de amido total em cultivares similares variando entre 80% e 95% (ROMANO et al., 2016; SRIPRABLOM et al., 2023). Esse alto teor de amido torna o amido da *Beauregard* uma fonte viável para usos industriais e alimentícios, como espessantes, agentes texturizantes e ingredientes em formulações com propriedades digestíveis específicas.

Já o valor de ARD (22,5 $\pm$ 1,2) reflete a proporção de amido que é rapidamente hidrolisado no intestino delgado, contribuindo para um aumento rápido da glicose no sangue. Em estudos anteriores, como o de Sriprablom et al. (2023), a presença de amido rapidamente digerível é relevante para produtos com índice glicêmico elevado. No entanto, apesar de sua alta digestibilidade, amidos com altos teores de ARD são menos desejáveis em produtos que visam controle glicêmico e saúde metabólica, uma vez que estão associados a picos de glicose sanguínea.

O ALD (40,5 $\pm$ 2,0) indica uma significativa quantidade de amido que é hidrolisado lentamente ao longo do tempo, o que resulta em uma liberação gradual de glicose. Amidos com maior teor de ALD, como observado no estudo de Zhu et al. (2020), são vantajosos em dietas para controle glicêmico, pois promovem uma resposta glicêmica mais estável e são indicados para alimentos com baixo índice glicêmico. A batata-doce *Beauregard*, com o teor encontrado de ALD, pode ser utilizada para desenvolver produtos alimentícios voltados para populações que buscam controle glicêmico, como diabéticos.

O amido resistente (AR), representando 27,0%, é a fração que não é digerida no intestino delgado e chega intacta ao cólon, onde pode atuar como fibra dietética fermentável. Estudos mostram que o AR tem múltiplos benefícios para a saúde, incluindo a melhora da saúde intestinal e a redução do risco de doenças crônicas, como obesidade e diabetes (ROMANO et al., 2016). Além disso, o amido resistente pode ser utilizado em alimentos funcionais e prebióticos, como sugerido por Lin et al. (2020), que relatam a capacidade do AR de melhorar a microbiota intestinal.

O estudo conduzido por Remya et al. (2018) investigou as propriedades físico-químicas de amidos modificados e sua relação com a digestibilidade *in vitro*, incluindo o amido rapidamente digestível (ARD), amido lentamente digestível (ALD) e o conteúdo de amido resistente (AR). As análises revelaram uma correlação positiva entre o grau de gelatinização, o poder de inchaço e as temperaturas de gelatinização dos amidos modificados com o amido resistente, enquanto uma correlação negativa foi observada entre a sinérese, a retrogradação e o módulo de perda com o amido resistente.

Guo e colaboradores (2019) empregaram uma abordagem de modificação enzimática no amido de batata-doce, utilizando as enzimas transglucosidase em conjunto com α -amilase maltogênica e β -amilase. Os resultados revelaram uma redução no comprimento da cadeia, no peso molecular e nas proporções das cadeias longas. Por outro lado, ocorreu uma diminuição simultânea na viscosidade, temperatura de gelatinização e entalpia de fusão. Esses resultados indicam a eficácia da modificação enzimática para o desenvolvimento de novos produtos à base de amido de batata-doce.

6.7 PRORIEDADES DA PASTA

As características da pasta desempenham um papel importante na seleção de variedades de amidos para utilização na indústria alimentícia como espessante e aglutinante. O Perfil RVA (*Rapid Visco Analyzer*) do amido pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7. Dados da análise viscoamilográfica RVA do amido da Batata doce *Beauregard*.

PARÂMETROS	Valor médio $\pm$ DP (cP)
Temperatura de pasta ($^{\circ}\text{C}$)	78,1 $\pm$ 0,1
Pico de Viscosidade (RVA)	388,2 $\pm$ 1,4
Queda da Viscosidade ou <i>Breakdown</i> (RVA)	209,0 $\pm$ 2,0
Viscosidade Final (RVA)	269,8 $\pm$ 1,8
Retrogradação ou <i>setback</i> (RVA)	70,96 $\pm$ 4,5

Dados apresentados são valores médios $\pm$ desvio padrão de três repetições obtidos de acordo com a RVA medida pela resistência de um fluido ao movimento, expressa em unidades como centipoise (cP).

Fonte: Autor (2025).

O Pico de Viscosidade (PV) é uma medida que indica a capacidade dos grânulos de amido de reter água (PYCIA et al., 2012). No presente estudo o amido analisado foi caracterizado por uma faixa de valor relativamente bem próxima ao encontrado em outras variedades de batatas como por exemplo, no estudo de Przetaczek-Roznowska (2017), onde PV observado em diferentes fontes de amido de batata doce variou de 378 a 3.447 cP.

A queda da viscosidade ou *breakdown* (209,0 cP) encontrada no amido estudado foi relativamente diferente quando comparada ao estudo de Ahmed e colaboradores (2018), o qual encontraram valores que variaram de 178,2 a 277 cP em 29 genótipos de batatas. Outro estudo interessante que corrobora com os valores encontrados neste trabalho é o de Santos et al. (2016), que avaliou dentre outros fatores as propriedades da pasta de amidos de diferentes cultivares de batata cultivadas no Brasil, onde valores variaram de 258,31 a 677,81.

A gelatinização ocorre quando o amido é aquecido na presença de uma umidade adequada. Durante esse processo, os grânulos de amido absorvem água, incham e sua estrutura cristalina é permanentemente alterada. Conforme os grânulos são rompidos pelo calor e agitação, as moléculas de amilose começam a ser liberadas, elevando a viscosidade da pasta até atingir o máximo, indicando o ponto em que a maioria dos grânulos de amido estão inchados, porém ainda intactos. Este pico é seguido por uma diminuição na viscosidade da pasta, à medida que os grânulos se desintegram e as moléculas de amido se dispersam na fase aquosa (COPELAND et al., 2009). Desta forma, a queda da viscosidade ou *breakdown* permite avaliar a estabilidade do produto em altas temperaturas sob agitação mecânica e está diretamente relacionada ao pico de viscosidade (SANTOS et al., 2016).

O pico de viscosidade em uma determinada concentração reflete a capacidade dos grânulos de amido de expandir livremente antes da sua desintegração física. Amidos com maior capacidade de expansão tendem a ser mais suscetíveis à desintegração durante o cozimento, resultando em uma redução significativa na viscosidade após atingirem o pico (SINGH et al., 2003; COLLADO et al., 1996). No amido estudado observou-se uma diminuição significativa da viscosidade após o pico, indicando uma menor resistência ao cozimento desses amidos. Santos et al., (2016) também observaram essa diminuição após o pico nas batatas de variedades Asterix, Atlantic e Ágata, no entanto, com valores de quebra quase a metade dos valores de pico de viscosidade.

O valor de retrogradação medido em RVA reflete principalmente a rápida retrogradação do componente amilose lixiviado na pasta de amido. Foi encontrado o valor de retrogradação de 70,96 cP, onde está dentro da faixa (26,3 a 170,7) encontrada Ahmed et al. (2018). Uma possível explicação para a menor tendência à retrogradação, indicada pelo *setback* mais baixo quando comparado a literatura supracitada, seria pela maior quantidade de amilose lixiviada (DUDU et al., 2019).

De acordo com Lan et al. (2008), a retrogradação é principalmente influenciada pela interação entre os tamanhos dos grânulos de amido e a distribuição e tamanho das cadeias de amilopectina dentro desses grânulos. Além disso, a existência de grupos fosfato na amilopectina da batata pode levar à rápida hidratação, inchaço e alta viscosidade (NODA et al., 2004). Amidos com menor propensão à retrogradação podem ser empregados como espessantes em alimentos, reduzindo a sinérese em produtos como iogurtes e pudins, onde ocorre a liberação de líquido do gel na superfície (AGYEMANG et al., 2020). Esses resultados podem indicar uma maior estabilidade durante o processo de congelamento e descongelamento (WANG et al., 2015).

6.8 GRAU DE GELATINIZAÇÃO DA PASTA

A análise a partir do Calorímetro Diferencial de Varredura (CDV) de amido nativos e/ou modificados apresenta informações energéticas do evento de gelatinização (SCHAFRANSKI; ITO; LACERDA, 2021). A gelatinização é essencial para conferir a funcionalidade desejada, como espessamento e expansão ao amido em sistemas alimentares. A análise das características térmicas dos amidos de tubérculos por meio de CDV é um método valioso para investigar o impacto do

processamento térmico na transição de fase do amido hidratado (KAUR; SINGH, 2005). Os valores encontrados desta análise podem ser observados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8. Dados da análise CDV do amido da Batata doce *Beauregard*.

PARÂMETROS	Valor médio $\pm$ DP
To °C	62,08 $\pm$ 0,03
Tp °C	66,84 $\pm$ 0,05
Tc °C	76,75 $\pm$ 1,00
Tc - To / °C	13,25 $\pm$ 1,01
ΔH gel / J.g ⁻¹	15,33 $\pm$ 0,27

Dados apresentados são valores médios $\pm$ desvio padrão de três repetições. Nota: To - temperatura inicial, Tp - temperatura de pico, Tc - temperatura de conclusão, Tc-To - faixa de temperatura do evento, ΔH gel - entalpia de gelatinização. Fonte: Autor (2025).

As temperaturas de início (To), pico (Tp) e conclusão (Tc) referem-se ao evento endotérmico do amido estudado. Ahmed et al. (2018) encontraram valores de início de gelatinização (To), temperatura de pico (Tp) e temperatura de conclusão (Tc) em 29 genótipos de batatas que variaram de 62,2 °C a 67,6 °C, de 66,1 °C a 71,1 °C e de 73,5 °C a 77,4 °C, respectivamente. Os resultados são condizentes com a literatura, no entanto possuem pequenas variações. A amplitude da faixa de gelatinização (Tc – To) para o amido estudado difere entre outras fontes de batatas, como Oliveira et al. (2018) que relatam resultados de Tc - To = 16,8 °C e Ahmed et al. (2018) que variou de 17,5 °C a 21,0 °C, o que pode ser explicado pela variação da origem botânica e cultivares (DUDU et al., 2019; MA et al., 2017). Após os tratamentos térmicos, a mudança desta faixa está relacionada à formação de cristalitos com diferentes estabilidades térmicas (LEE et al., 2012). Desta forma, é importante notar que a temperatura de gelatinização é um parâmetro importante na determinação da aplicação de amido de batatas em alimentos.

A entalpia de gelatinização (ΔH gel) fornece uma medida geral da cristalinidade (qualidade e quantidade) e é calculada pela energia usada para desintegrar a estrutura ordenada dos grânulos de amido (COOKE; GIDLEY, 1992). O valor encontrado no amido da batata doce *Beauregard* foi bem semelhante ao de outras pesquisas realizadas com batatas, como 18,7 a 22,0 J/g⁻¹ (Noda et al., 2007), 15,1 a 18,4 J/g⁻¹ (ALVANI et al., 2011), 4,8 a 19,7 J/g⁻¹ (CRUZ et al., 2016) e 17,5 J/g⁻¹ a 21,0 J/g⁻¹ (AHMED et al., 2018). Esse parâmetro está relacionado ao tamanho e à forma

dos grânulos, ao grau de cristalinidade e à relação entre amido e água, bem como à disponibilidade de água. Um valor mais baixo de ΔH_{gel} pode indicar um nível reduzido de organização intergranular dentro dos grânulos de amido (ALVANI et al., 2011; SINGH et al., 2008).

6.9 ÍNDICE DE ABSORÇÃO (IA) E SOLUBILIDADE (IS) EM ÁGUA E EM LEITE

Os dados expostos na Tabela 10 revelam que os constituintes do amido examinado demonstram uma afinidade mais pronunciada pelas moléculas de água, tanto em absorção quando em solubilidade quando comparado a solubilidade em leite.

Tabela 9. Determinação de Índice de Absorção e Índice de Solubilidade em Água e Leite do amido extraído da Batata-doce biofortificada de cultivar *Beauregard*.

PARÂMETROS	Média $\pm$ desvio padrão
IAA (G.G ⁻¹)	1,97 $\pm$ 0,01
IAL (G.G ⁻¹)	1,85 $\pm$ 0,01
ISA (%)	0,38 $\pm$ 0,00
ISL (%)	0,25 $\pm$ 0,03

Nota: IAA - Índice de Absorção em Água; IAL - Índice de Absorção em leite; ISA – Índice de Solubilidade em Água; ISL - Índice de Solubilidade em leite. Dados apresentados são valores médios $\pm$ desvio padrão de três repetições. Fonte: Autor (2025).

Antes de discutir os achados nesta pesquisa é importante descrever alguns conceitos: o poder de inchamento e a solubilidade do amido, que são duas propriedades importantes e que refletem o comportamento do amido em diferentes condições de hidratação e aquecimento. O poder de inchamento do amido refere-se à capacidade dos grânulos de amido de absorver líquido e aumentar de tamanho (inchar) quando aquecidos em meio aquoso. Isso permite que mais água entre, aumentando o volume dos grânulos, um processo conhecido como gelatinização. O poder de inchamento está diretamente relacionado ao grau de gelatinização do amido e à sua composição (como a proporção de amilose e amilopectina), bem como à temperatura e ao pH do meio (LIN et al., 2020; KOU et al., 2022).

A solubilidade do amido, por outro lado, mede a quantidade de amido que se dissolve no meio aquoso quando é aquecido. Durante o processo de gelatinização, algumas moléculas de amido, particularmente a amilose, podem se dissolver na água, liberando sólidos solúveis. Esse processo de solubilização depende da estrutura do

amido, da temperatura, do pH, do tempo de aquecimento e da presença de outros compostos no meio, como lipídios ou proteínas (LIN et al., 2020; KOU et al., 2022).

Segundo Kou et al. (2022) o poder de inchamento e a solubilidade são frequentemente inter-relacionados. Amidos que incham mais tendem a ter uma menor solubilidade inicial, pois os grânulos mantêm sua estrutura até certo ponto de aquecimento. No entanto, à medida que o inchamento aumenta, a solubilidade também pode aumentar, uma vez que as moléculas de amido começam a se dispersar no meio aquoso. Essas propriedades são cruciais na escolha do amido para diferentes aplicações industriais, como em produtos alimentícios que requerem certa viscosidade, textura e estabilidade térmica.

Sob essa ótica, o índice de absorção de água (IAA) é uma propriedade importante no amido, pois como dito anteriormente, reflete a capacidade de retenção de água durante o processamento e pode influenciar a textura dos alimentos. Estudos recentes indicam que o IAA varia significativamente entre diferentes cultivares de batata-doce, sendo influenciado pelas estruturas granulares e o grau de amido gelatinizado. Exemplo disso é o estudo de Liu et al. (2020) que mostrou que o amido da batata-doce tem uma alta capacidade de absorção de água, o que é benéfico para a sua aplicação em produtos de panificação e espessantes. Comparado a outras cultivares, o amido da batata-doce biofortificada *Beauregard* tende a apresentar IAA superior devido ao seu teor diferenciado de amilose e compostos bioativos.

Já o índice de solubilidade em água (ISA) avalia a quantidade de sólidos solúveis que se dispersam durante o aquecimento do amido, um parâmetro importante na avaliação da funcionalidade do amido em sistemas alimentares. Recentemente, Kaur et al. (2022) observaram que a solubilidade em água do amido extraído de diferentes cultivares de batata-doce varia de acordo com o tratamento térmico aplicado e o ambiente líquido em que é avaliado. Amidos tratados em leite, por exemplo, tendem a apresentar menores índices de solubilidade comparados com a água devido à interação entre as proteínas e lipídios presentes no leite e a matriz amilácea. O amido da cultivar *Beauregard*, em particular, apresentou uma menor solubilidade em leite em comparação à água, o que pode ser associado à sua alta concentração de compostos bioativos que promovem a interação com as proteínas do leite.

As variações nos índices de absorção e solubilidade em diferentes meios, como água e leite, são influenciadas não apenas pela composição química do amido, mas

também pelas características estruturais da matriz granular. Em um estudo recente de Zhao et al. (2021), foi demonstrado que amidos de batata-doce com maior teor de amilose, como a cultivar *Beauregard*, apresentam maior absorção de água e menor solubilidade em comparação com cultivares de amido ceroso. Esse comportamento é particularmente interessante para a aplicação em formulações alimentares onde a absorção de água e a viscosidade são fatores críticos, como na produção de biscoitos e massas alimentícias.

6.10 CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DOS GÉIS DO AMIDO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE TERMICO E VARIAÇÕES DE pH

A composição do amido extraído influencia diretamente as propriedades funcionais. Não se pode generalizar sobre as estruturas, propriedades e comportamento de amidos de diferentes fontes, assim como os grânulos não se comportam todos do mesmo modo. Na hipótese de que as propriedades sejam determinadas pela estrutura, pode-se considerar que a composição química e molecular dos polímeros de amido e a quantidade e estrutura dos outros constituintes diferem de acordo com a fonte botânica.

Desta forma, para examinar diversas condições, os géis do amido de batata doce *Beauregard* foram submetidos a tratamentos, incluindo acidez, esterilização, congelamento e um ciclo de congelamento/descongelamento, conforme recomendado, visto que a manutenção da temperatura adequada (de 2° a 8° graus Celsius) ao longo da cadeia de frio é crucial para preservar a qualidade e a segurança de produtos alimentícios perecíveis (LEMOS et al., 2021). As avaliações foram realizadas 24 horas e 72 horas após a preparação do gel, conforme observado por Guerreiro (2002), período em que ocorrem as alterações mais significativas. As propriedades funcionais são importantes no uso industrial do amido pois podem ser a chave da sua aplicação em alimentos processados. Portanto, para obter produtos de melhor qualidade é necessário selecionar amidos que resistam a esses processos.

6.10.1 SINERESE DOS GÉIS

6.10.1.1 Estresse de esterelização

Os dados da Figura 15 mostram a evolução da sinerese após 24h e 72h, com o Grupo 2 armazenado a 28°C ($79,64 \pm 1,72$), apresentando valores de sinerese ligeiramente superiores após 72h em comparação com o Grupo 1 a 4°C ($75,1 \pm 2,68$).

Isso reflete a liberação de água do gel ao longo do tempo, conforme avaliado pela metodologia de centrifugação.

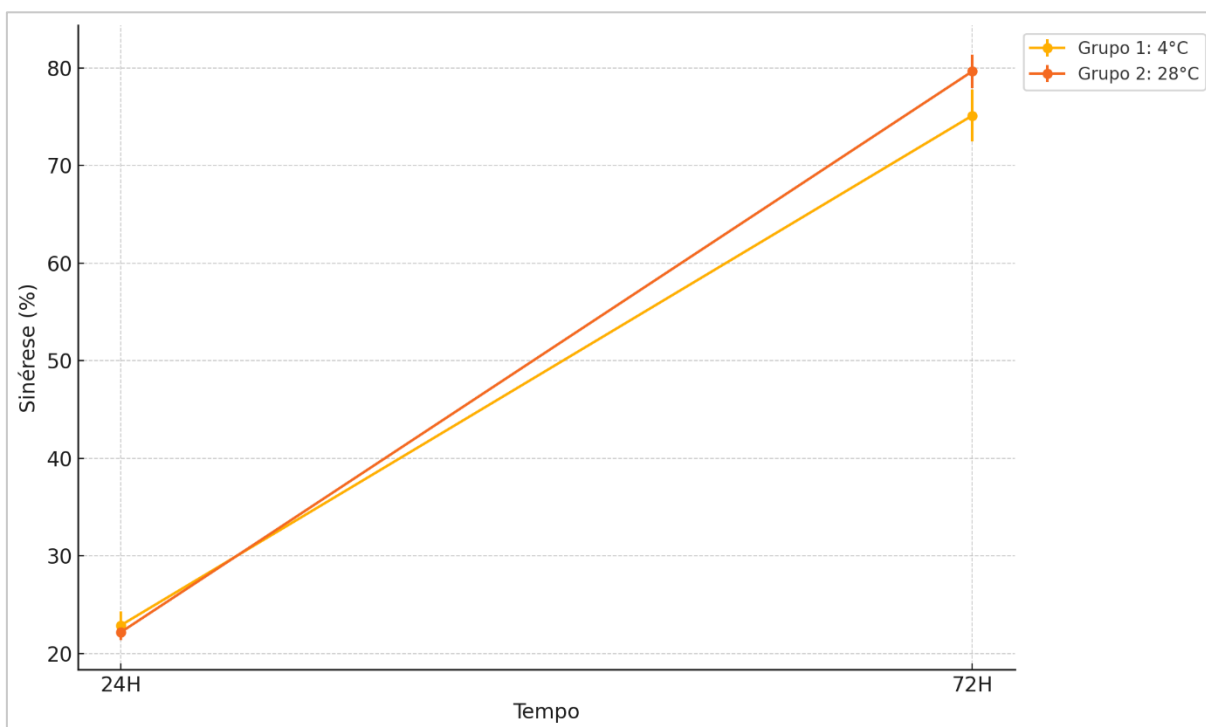


Figura 15. Sinérese (%) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento após o estresse de esterilização. Fonte: Autor (2025).

A sinérese dos géis de amido, observada ao longo do tempo após o estresse de esterilização, demonstra o efeito das condições de armazenamento e do próprio processo de esterilização sobre a estabilidade dos géis. A esterilização a 121°C provoca uma reorganização das cadeias de amilose e amilopectina no gel, o que pode promover um aumento da retrogradação e, conseqüentemente, da sinérese (liberação de água) durante o armazenamento.

Os resultados obtidos indicam um aumento significativo na sinérese com o tempo, especialmente nas amostras armazenadas a 28°C, onde os valores médios de sinérese após 72 horas foram mais elevados. Esse comportamento está associado ao fenômeno de retrogradação do amido, onde as cadeias de amilose e amilopectina tendem a se reorganizar e recrystalizar ao longo do tempo, o que leva à expulsão de água e, portanto, ao aumento da sinérese. Esse efeito é mais pronunciado após o estresse térmico da esterilização, que desestabiliza as interações moleculares do gel (CHAKRABORTY et al., 2023). Por outro lado, temperaturas mais baixas, como 4°C, retardam esse processo, mas ainda permitem a sinérese ao longo do tempo,

especialmente em sistemas de amido que sofreram algum tipo de estresse térmico, como a esterilização (TANG et al., 2018).

Desta forma, pode-se dizer que a temperatura de armazenamento tem um papel crucial no aumento da sinerese. Segundo Tang et al. (2018), géis de amido mantidos em temperaturas mais altas (em torno de 25°C a 30°C) tendem a apresentar sinérese mais rápida, pois as interações de hidrogênio entre as moléculas de amido são enfraquecidas pelo calor, facilitando a liberação de água. Isso sugere que, embora a esterilização seja eficaz para eliminar microrganismos, ela também pode comprometer a integridade estrutural dos géis de amido, aumentando a sinerese em condições subsequentes de armazenamento.

Esses achados reforçam a importância de ajustar cuidadosamente as condições de armazenamento após a esterilização para minimizar a sinerese e manter a estabilidade dos géis de amido, considerando que tanto a temperatura quanto o tempo de armazenamento são fatores críticos na liberação de água e na qualidade final do produto.

6.10.1.2 Estresse de acidez

Os resultados apresentados na Figura 16 mostram a evolução da sinerese ao longo de 24h e 72h, para géis de amido de batata-doce armazenados em diferentes condições de temperatura e pH. Observa-se um aumento progressivo na sinerese em todas as condições, com valores mais altos registrados no Grupo 4 pH 3,5 e a 28°C ($75,70 \pm 0,12$) comparado aos Grupos 1 ($36,12 \pm 1,70$), 2 ($46,52 \pm 2,80$) e 3 ($64,73 \pm 4,06$), indicando que essas condições favorecem a maior liberação de líquido. Esse comportamento pode ser atribuído à instabilidade do gel nessas condições, já que a acidificação e a temperatura elevada tendem a enfraquecer as ligações entre as moléculas de amido, resultando em maior separação da fase líquida.

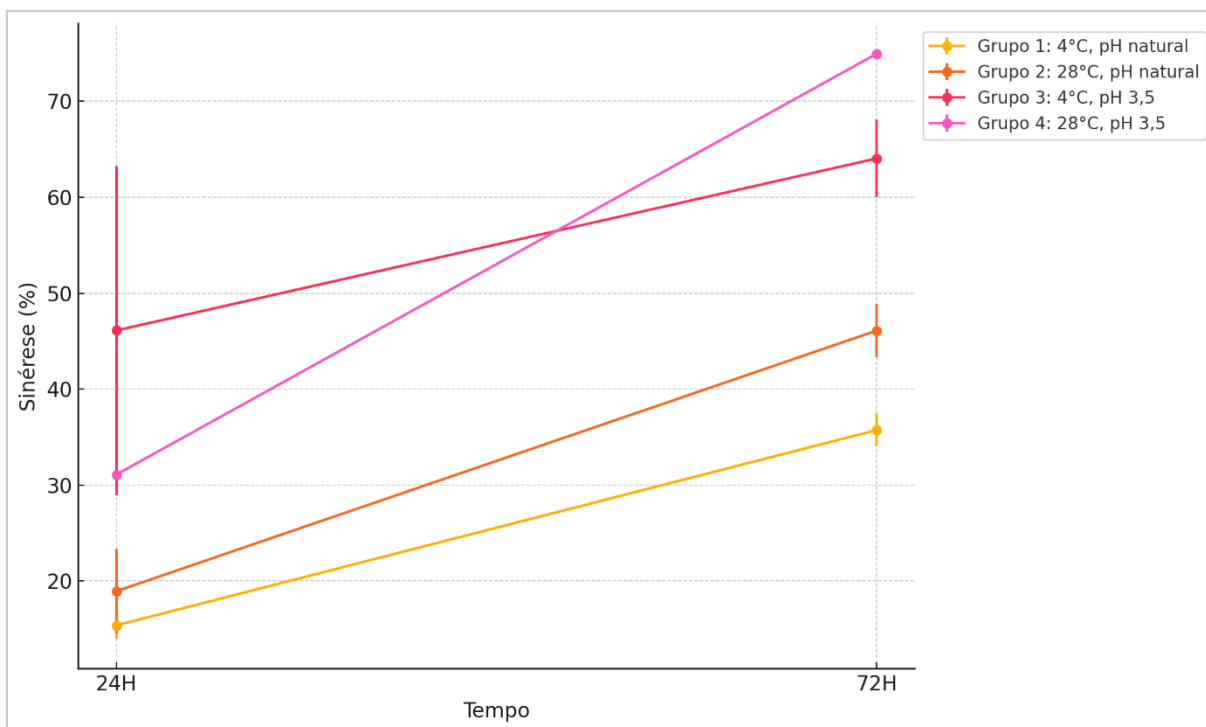


Figura 16. Sinerese (%) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de pH e temperatura. Fonte: Autor (2025).

A sinerese é um fenômeno típico em sistemas de géis que sofrem retrogradação, processo no qual as cadeias de amilose e amilopectina reordenam-se, expulsando água. A literatura corrobora os resultados obtidos, onde Abdorreza et al. (2012) descobriram que a hidrólise ácida levou à redução do peso molecular dos componentes do amido, especialmente a amilopectina. Então, aparentemente, amidos submetidos a pH ácido parecem apresentar maior tendência à sinerese devido à desestabilização das interações moleculares, resultando na liberação de água, o que foi observado nos Grupos 3 e 4. Majzoobi et al. (2016) explicaram que os prótons liberados pela dissociação do ácido em água podem desestabilizar e quebrar as ligações glicosídicas das moléculas de amido, resultando em moléculas menores devido à degradação do amido. Estudos como o de Shukri e Cheng (2023) também identificam que o amido de batata é altamente suscetível à hidrólise ácida em comparação com o amido de tapioca e o amido de milho. Essas descobertas sugerem que a amilopectina altamente ramificada é mais propensa à degradação em comparação com as cadeias lineares de amilose em condições ácidas.

Em sistemas de amido, o estresse térmico como destacado no item 6.8.1.1 também pode interferir e romper parcialmente as ligações de hidrogênio entre as moléculas de amido, especialmente em ambientes ácidos, resultando em uma maior susceptibilidade à sinerese, como discutido por Tang et al. (2018). Isso pode explicar por que as amostras do Grupo 4 armazenadas a 28°C e pH 3,5 no presente estudo apresentaram maiores níveis de sinerese.

O comportamento observado nas amostras do Grupo 1 armazenadas a 4°C com pH natural, que apresentam os menores valores de sinerese, pode ser explicado pela maior estabilidade dos géis em baixas temperaturas. Chakraborty et al. (2023) confirmam que a refrigeração retarda o processo de retrogradação e, portanto, a sinérese, ao diminuir a mobilidade molecular das cadeias de amilose e amilopectina. Isso resulta em géis mais estáveis, com menor liberação de água, o que está em conformidade com os dados apresentados. Em resumo, a literatura recente indica que a combinação de pH ácido e temperaturas elevadas favorece a sinerese, enquanto o armazenamento em condições refrigeradas minimiza esse efeito.

6.10.1.3 Estresse de congelamento e congelamento/descongelamento

A Figura 17 destaca a influência dos ciclos de congelamento/descongelamento na sinérese dos géis de amido. O Grupo 2 (congelamento/descongelamento) apresenta sinerese mais alta em ambos os períodos analisados ($27,26 \pm 1,08$ / $80,20 \pm 0,04$), indicando que esses ciclos aumentam a desestabilização do gel. Esse efeito é menos pronunciado no Grupo 1 (apenas congelamento), onde o gel mantém uma estrutura mais estável ao longo do tempo ($20,42 \pm 0,97$ / $67,41 \pm 2,27$).

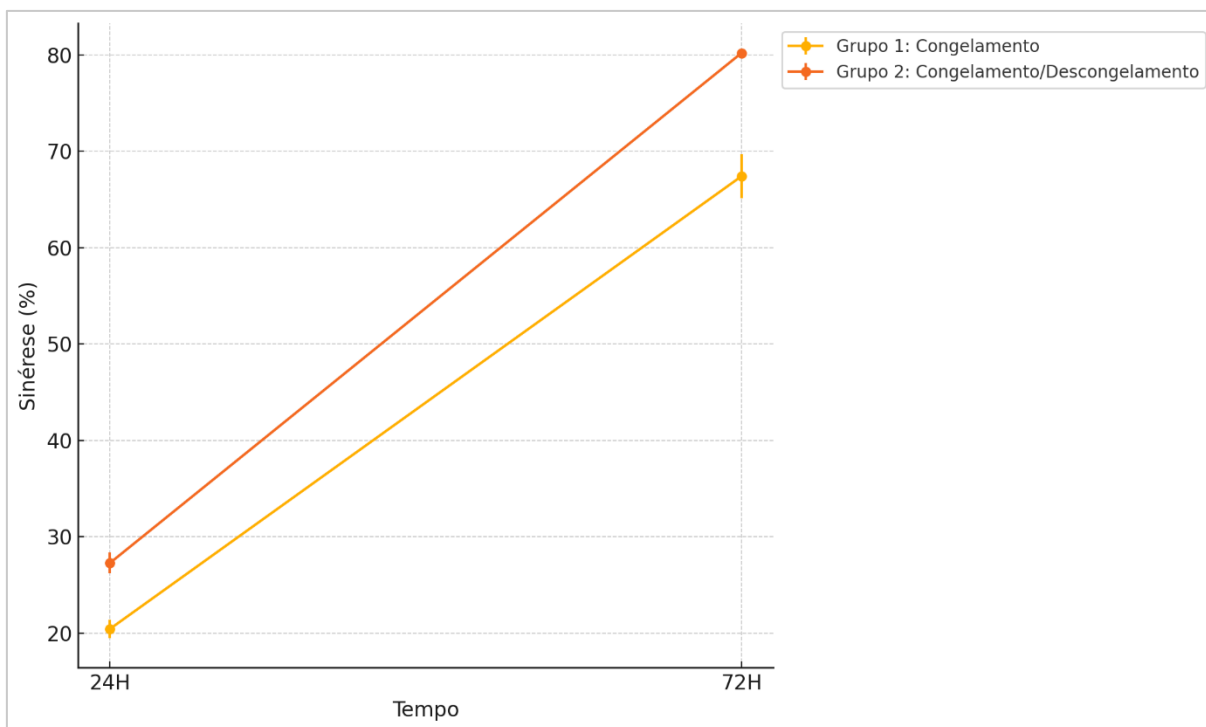


Figura 17. Sinérese (%) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento após o estresse de congelamento e congelamento/descongelamento. Fonte: Autor (2025).

A sinérese em géis de amido submetidos a estresse térmico, como congelamento e descongelamento, é um fenômeno amplamente estudado na literatura devido ao impacto na estabilidade do gel. Estudos indicam que o congelamento induz a retrogradação do amido, uma reorganização das cadeias de amilose e amilopectina, o que leva à expulsão de água e ao aumento da sinérese durante o descongelamento (DONMEZ et al., 2021). Esse efeito é ainda mais pronunciado em amidos que passam por ciclos de congelamento e descongelamento, como no caso do Grupo 2, onde a estrutura do gel é enfraquecida devido a fusão de cristais de gelo que rompem a estrutura do gel, e a sinérese é intensificada (DONMEZ et al., 2021). Adicionalmente, o trabalho de Guerreiro (2002) corrobora esses achados, relatando que o estresse térmico causa alterações na microestrutura do gel de amido, resultando em maior sinérese quando submetido a repetidos ciclos de temperatura.

No Grupo 1, onde as amostras foram mantidas em congelamento contínuo, observa-se um aumento expressivo na sinérese de 20,43% após 24 horas para 67,42% após 72 horas. Esse aumento pode ser explicado pela retrogradação do amido, um fenômeno que ocorre quando as cadeias de amilose e amilopectina reordenam-se e recristalizam em temperaturas baixas, formando uma estrutura mais rígida e expelindo água. Estudos apontam que o congelamento tende a intensificar

esse processo de retrogradação, especialmente ao longo de períodos prolongados de armazenamento, resultando em maior sinerese devido à reorganização molecular das cadeias de amido (TANG et al., 2018).

Já no Grupo 2, as amostras passaram por ciclos de congelamento e descongelamento, o que gerou um aumento ainda maior na sinerese. A liberação de água foi de 27,27% após 24 horas e aumentou para 80,20% após 72 horas. Esse comportamento pode ser atribuído ao efeito destrutivo dos ciclos de congelamento/descongelamento na estrutura do gel. Cada ciclo provoca a formação e fusão de cristais de gelo, que, ao descongelarem, deixam lacunas e causam rupturas na rede do gel de amido, conforme supracitado. Esse fenômeno desestabiliza ainda mais a estrutura e facilita a liberação de água (sinerese), especialmente em géis de amido ricos em amilopectina, que são mais sensíveis a esse tipo de estresse térmico (CHAKRABORTY et al., 2023).

Esses resultados têm implicações práticas para o armazenamento de produtos alimentícios que contêm géis de amido e que podem estar sujeitos a ciclos de congelamento e descongelamento, como alimentos congelados que precisam ser transportados ou armazenados em condições variáveis. O aumento da sinérese em condições de congelamento/descongelamento pode afetar a textura, a aparência e a qualidade sensorial dos produtos, tornando-os menos atraentes para o consumo. Para mitigar esses efeitos, estratégias como o uso de estabilizantes ou a reformulação com amidos menos propensos à retrogradação podem ser consideradas (NATH et al., 2023).

6.10.2 FIRMEZA DOS GÉIS

6.10.2.1 Estresse de esterelização

Os resultados observados na Figura 18 mostram que a firmeza dos géis aumentou em ambos os grupos com o tempo, com o Grupo 2 a 28°C apresentando uma firmeza ligeiramente maior em comparação ao Grupo 1 a 4°C após 72 horas ($80,62 \pm 0,56$ e $78,17 \pm 0,82$, respectivamente).

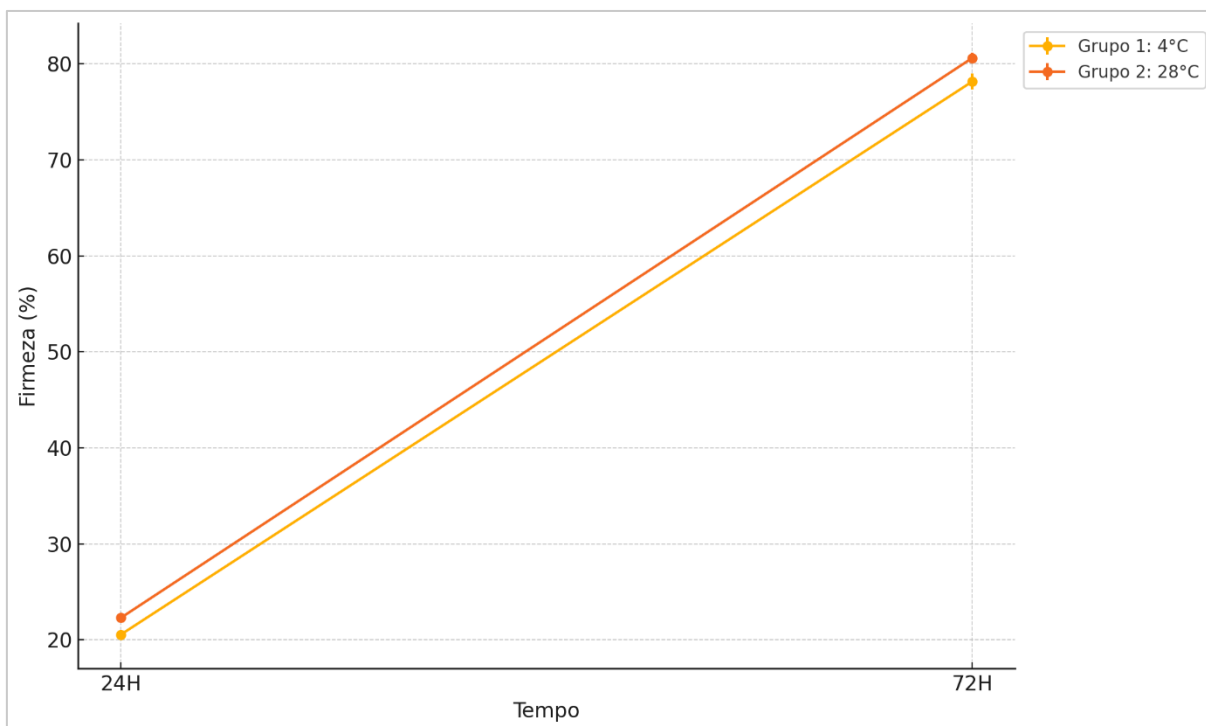


Figura 18. Firmeza (%) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento após o estresse de esterilização. Fonte: Autor (2025).

A firmeza dos géis de amido é determinada por diversos fatores. Primeiramente, concentrações mais altas de amido promovem interações moleculares mais fortes, criando uma estrutura mais densa e firme. A composição molecular também é importante: cadeias de amilose formam estruturas helicoidais que resultam em géis mais rígidos, enquanto a amilopectina tende a gerar géis menos consistentes. Além disso, o resfriamento intensifica a retrogradação, aumentando a firmeza pela reorganização molecular. A adição de estabilizantes, como gomas e proteínas, reforça a matriz do gel, contribuindo ainda mais para sua firmeza (NATH et al., 2023).

O aumento na firmeza ao longo das 72 horas pode ser atribuído ao processo de retrogradação do amido. Durante esse processo, as cadeias de amilose e amilopectina reorganizam-se em uma estrutura mais cristalina e compacta, resultando em uma estrutura de gel mais rígida. Esse fenômeno ocorre tanto no armazenamento refrigerado (4°C) quanto em temperatura ambiente (28°C), mas é intensificado pelo efeito do tempo, que permite que a retrogradação progrida.

O resultado encontrado no armazenamento a 28°C (Grupo 2) sugere que a temperatura ambiente pode acelerar o processo de retrogradação, o que favorece a reorganização das moléculas de amido e resultando em um gel mais firme. Em

temperaturas mais elevadas, as moléculas têm maior mobilidade, facilitando a interação entre as cadeias de amido e, assim, promovendo uma estrutura de gel mais rígida. Embora o Grupo 1 (4°C) tenha apresentado um aumento de firmeza, este foi ligeiramente menor do que no Grupo 2. O resfriamento tende a retardar o movimento das moléculas de amido, desacelerando o processo de retrogradação. Em condições de refrigeração, o gel mantém uma estrutura menos compacta do que em temperatura ambiente, resultando em menor firmeza, mesmo que a retrogradação ainda ocorra (CHENG LI et al., 2024).

O estudo de Kwakye et al. (2024), por exemplo, observaram que a presença de açúcares alternativos afeta a estrutura e firmeza dos géis de amido de arroz e milho, reduzindo a retrogradação, especialmente em géis ricos em amilopectina, inibindo a formação de ligações de hidrogênio intermoleculares, preservando a estrutura do gel e mantendo sua textura macia. Estes resultados são relevantes para a indústria alimentícia e outros setores que utilizam géis de amido, pois sugerem que a firmeza dos géis pode ser ajustada com a adição de outros ingredientes alimentares e/ou controlando as condições de armazenamento. Produtos que exigem uma textura mais firme podem se beneficiar do armazenamento em temperaturas mais elevadas, que aceleram a retrogradação, enquanto produtos que precisam de uma textura mais suave podem ser armazenados em temperaturas mais baixas para limitar esse efeito.

6.10.2.2 Estresse de acidez

A análise dos resultados apresentados na Figura 19 mostra um aumento na firmeza dos géis de amido ao longo do tempo, com diferenças notáveis entre os grupos devido às condições de armazenamento e ao pH. Em geral, os géis armazenados a 28°C (Grupos 2 e 4) apresentaram maior firmeza após 72 horas ($72,56 \pm 0,16$ e $78,86 \pm 0,94$, respectivamente), especialmente o grupo 4 com pH ácido (28°C, pH 3,5).

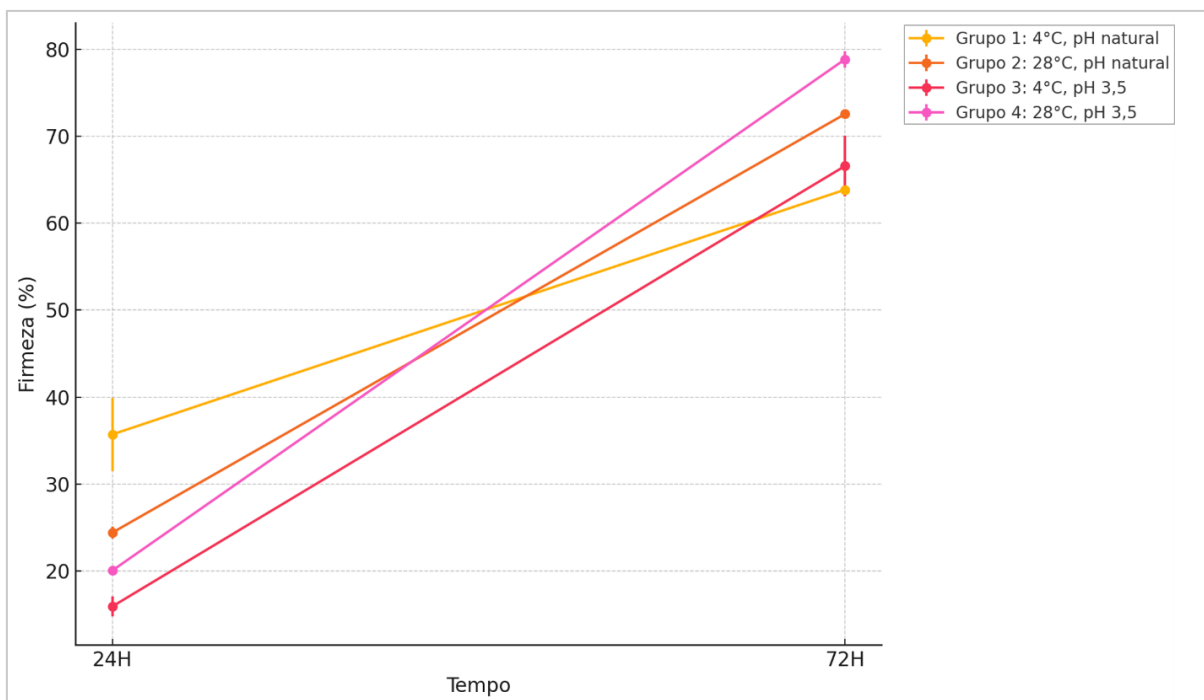


Figura 19. Firmeza (%) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de pH e temperatura. Fonte: Autor (2025).

O aumento da firmeza dos géis de amido armazenados a temperaturas mais elevadas (28°C) está alinhado com o que a literatura descreve sobre o impacto da retrogradação (CHAKRABORTY et al., 2023; NATH et al., 2023). Já o pH desempenha um papel crucial em sua firmeza, influenciando as interações moleculares dentro da matriz do gel.

Em níveis de pH mais baixos (ácidos), os íons de hidrogênio podem interagir com as moléculas de amido, afetando as ligações de hidrogênio. Essa interação pode inicialmente desestabilizar a estrutura do gel ao romper algumas ligações intermoleculares. No entanto, em géis de amido, um pH baixo pode, eventualmente, promover a retrogradação (a reorganização das cadeias de amilose e amilopectina), aumentando a firmeza à medida que a estrutura do gel se torna mais densa ao longo do tempo (TAKO et al., 2014). No entanto, isso é altamente dependente da temperatura; um ambiente levemente ácido combinado com temperaturas moderadas geralmente promove uma formação de gel mais forte devido à retrogradação, o que foi observado no Grupo 4.

Um pH ácido também pode levar a mudanças na capacidade de retenção de água da matriz do gel. Com a redução da retenção de água, mais água é expulsa da matriz, o que pode aumentar a firmeza à medida que o gel se torna mais compacto. O Grupo 4 também apresentou maior expulsão de água (sinérese) o que pode ter

contribuído para a percepção de uma textura mais firme, mesmo que a rede do gel esteja um pouco desestabilizada. Em sistemas que contêm estabilizantes (como gomas) ou outros aditivos, o pH pode influenciar como esses componentes interagem com o amido, afetando ainda mais a estrutura e a firmeza do gel. Por exemplo, alguns estabilizantes funcionam de forma mais eficaz em faixas específicas de pH, o que pode melhorar ou diminuir sua capacidade de reforçar o gel (LIN et al., 2023).

Outro achado interessante é que na Figura 19 é possível observar que o comportamento do Grupo 1 apresenta uma firmeza inicial mais alta ($35,70 \pm 4,20$) comparado com os demais grupos (Grupo 2: $24,40 \pm 0,70$ / Grupo 3: $15,91 \pm 1,17$ / Grupo 4: $20,04 \pm 0,35$). Essa firmeza relativamente alta pode ser explicada pela influência inicial de suas condições de armazenamento sobre a estrutura do gel de amido, o processo de retrogradação, que ocorre em baixas temperaturas e permite que as cadeias de amido comecem a se reorganizar. A temperatura de 4°C favorece essa reorganização inicial, promovendo uma estrutura mais firme em um curto período após o preparo.

Com o passar do tempo, a retrogradação continua nos demais grupos, especialmente nos armazenados em 28°C e em pH ácido, onde as condições são mais favoráveis para intensificar a retrogradação e endurecimento do gel. No entanto, em condições de 4°C e pH natural, o gel já atingiu um nível de firmeza inicial mais alto e não tem uma pressão tão grande para continuar a retrogradar a ponto de aumentar sua firmeza tanto quanto nos grupos expostos a condições mais extremas de pH e temperatura (TAKO et al., 2014). O Grupo 4 (28°C e pH 3,5) e o Grupo 2 (28°C e pH natural) mostram aumentos mais significativos ao longo do tempo devido à combinação de pH ácido e temperatura elevada, o que intensifica o processo de retrogradação e aumenta a rigidez do gel. Esses grupos acabam superando o Grupo 1 em firmeza após 72 horas.

Em resumo, o pH afeta a firmeza do gel ao alterar as interações moleculares, intensificar a retrogradação (em amidos) e impactar a retenção de água. Condições ácidas geralmente promovem um gel mais firme ao longo do tempo, especialmente quando combinadas com temperaturas de armazenamento adequadas, pois favorecem um arranjo molecular mais denso e rígido.

6.10.2.3 Estresse de congelamento e congelamento/descongelamento

A Figura 20 ilustra que, em ambos os grupos, a firmeza dos géis aumenta com o tempo. No entanto, o Grupo 2 (Congelamento/Descongelamento) apresenta um aumento significativamente maior na firmeza após 72 horas, alcançando uma média de 76,63% ($\pm 0,30$), em comparação com 48,67% ($\pm 2,79$) do Grupo 1. Esses resultados sugerem que o ciclo adicional de congelamento e descongelamento intensifica a retrogradação e a reorganização molecular no gel, resultando em uma estrutura mais firme.

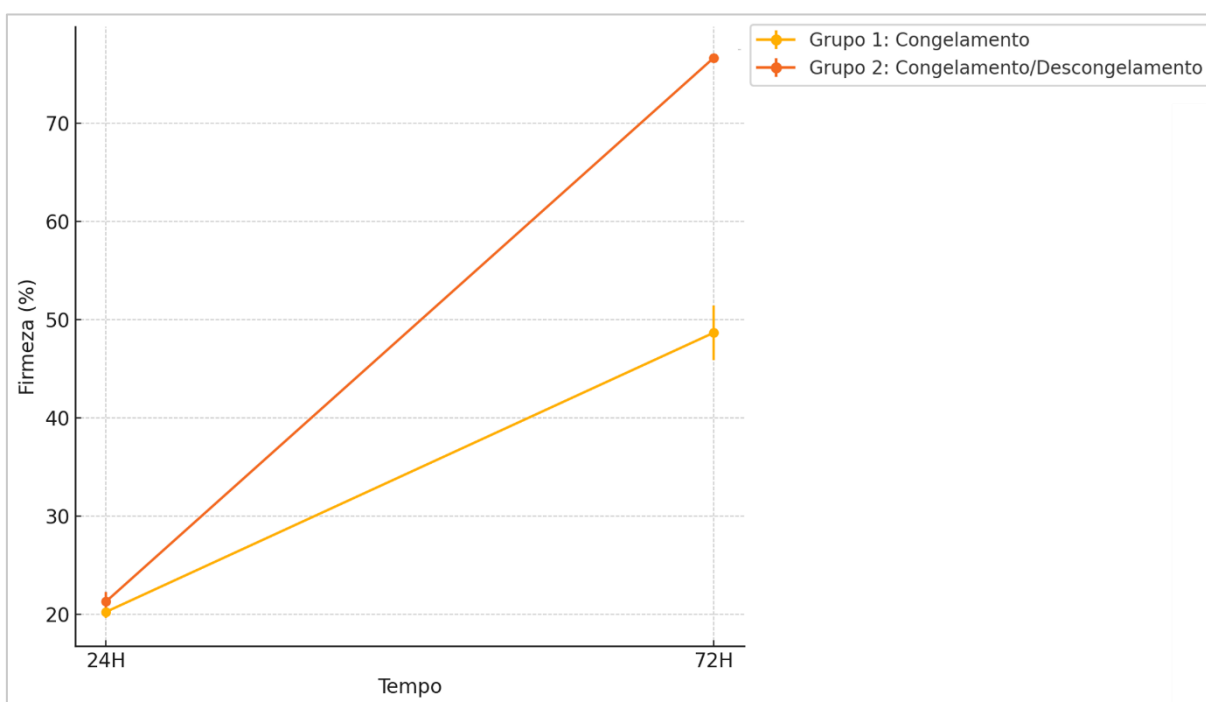


Figura 20. Firmeza (%) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento após o estresse de congelamento e congelamento/descongelamento. Fonte: Autor (2025).

Ambos os grupos apresentam valores de firmeza semelhantes após 24 horas, com o Grupo 1 (Descongelamento) mostrando uma firmeza média de aproximadamente 20,27%, enquanto o Grupo 2 (Congelamento/Descongelamento) apresenta uma firmeza média ligeiramente maior, em torno de 21,31%. Esse ponto de partida similar sugere que, inicialmente, ambos os géis possuem uma estrutura comparável antes de serem submetidos aos tratamentos térmicos subsequentes. Após 72 horas, a firmeza dos géis aumenta de forma significativa em ambos os grupos, mas de maneira mais acentuada no Grupo 2, o que pode indicar que o ciclo de congelamento/descongelamento causa um efeito marcante na estrutura do gel, intensificando o processo de retrogradação.

O ciclo de congelamento/descongelamento aplicado ao Grupo 2 parece favorecer a reorganização molecular das cadeias de amido, conhecido como retrogradação, que leva a um aumento da firmeza do gel. Quando o amido é descongelado e recongelado, a formação e fusão de cristais de gelo causa rupturas na estrutura do gel e facilita a reordenação das cadeias de amilose e amilopectina, resultando em uma estrutura mais rígida e firme, o que também levou em uma sinérese acentuada observada no Grupo 2. Esse efeito não é tão pronunciado no descongelamento simples, onde o gel não é submetido a múltiplos ciclos de cristalização, resultando em menor aumento de firmeza ao longo do tempo.

Como dito, a retrogradação aumenta a estabilidade dos géis ao elevar sua firmeza, o que ajuda a manter sua forma e a textura, especialmente em temperaturas moderadas. No entanto, a retrogradação também pode causar sinérese, o que pode reduzir a estabilidade ao longo do tempo, provocando encolhimento ou mudanças na textura. Lin et al. (2023) sugere que a retrogradação ocorre em duas fases — uma inicial com a recristalização de amilose, contribuindo para a firmeza, e uma fase posterior com a reorganização da amilopectina, o que intensifica o enrijecimento, mas pode levar à sinérese se o gel for armazenado por longos períodos. Portanto, a retrogradação fortalece a integridade estrutural, mas requer manejo da umidade para estabilidade a longo prazo.

Ao controlar esses fatores, a textura e a firmeza de géis à base de amido podem ser ajustadas para atender a aplicações específicas, especialmente em produtos alimentícios e farmacêuticos, onde consistência e estabilidade são essenciais. Portanto, o resultado observado está alinhado com as expectativas científicas e práticas sobre o comportamento de géis de amido submetidos a esses tratamentos térmicos.

6.10.3 VISCOSIDADE DOS GÉIS

6.10.3.1 Estresse de esterelização

A viscosidade é um dos principais parâmetros estudados quando se visa a aplicação na área de tecnologia de alimentos. Na Figura 21 é possível observar que o Grupo 1 (4°C) apresentou uma viscosidade inicial de 357,57 cP ($\pm 2,21$), aumentando até cerca de 410 cP ($\pm 0,16$) em 72 horas de armazenamento após a esterilização. O Grupo 2 (28°C) já iniciou com uma viscosidade mais alta (398,05 cP

$\pm 2,31$) comparada ao Grupo 1, mas apresentou um aumento discreto ao longo do tempo, atingindo aproximadamente 420 cP ($\pm 2,72$). Esses achados podem ser discutidos com base no comportamento do amido durante a retrogradação.

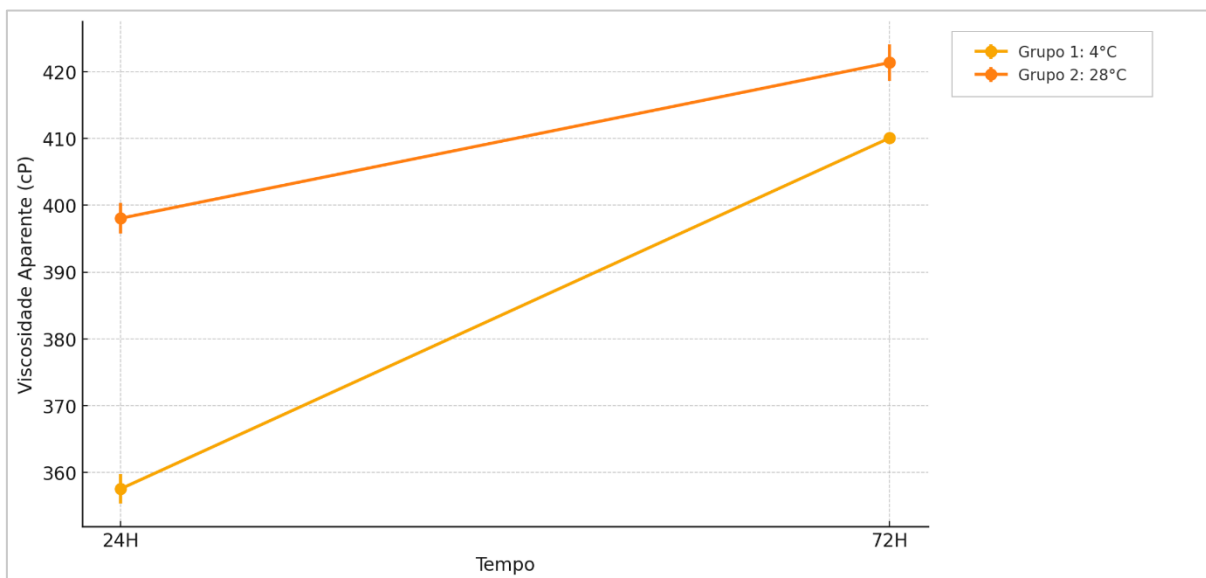


Figura 21. Viscosidade (cP) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento após o estresse de esterilização. Fonte: Autor (2025).

Estudos mostram que, quando o amido é armazenado a temperaturas baixas, como 4°C, as cadeias de amilose e amilopectina se reassociam de forma ordenada, aumentando a viscosidade dos géis de forma mais estável, como observado na Figura 21. Em temperaturas mais altas, como 28°C, essa retrogradação ocorre de maneira menos uniforme, resultando em um aumento de viscosidade mais acentuado. Isso indica que a retrogradação em baixas temperaturas promove uma formação de estrutura mais estável e menos variável ao longo do tempo, impactando a textura e aplicabilidade do amido em alimentos (CHAKRABORTY et al., 2023).

Estudos também relatam que a retrogradação do amido é acompanhada de alterações em propriedades térmicas e reológicas, afetando a estabilidade e a capacidade de engrossar dos produtos de amido (WANG et al., 2015). A retrogradação é intensificada com o tempo e a temperaturas mais baixas, o que se alinha aos resultados observados para o Grupo 1 (4°C) e Grupo 2 (28°C). Essa estabilidade maior observada em amidos retrogradados a 4°C tem aplicações importantes na indústria alimentícia, especialmente em produtos que requerem consistência estável durante armazenamento prolongado, como sobremesas e molhos espessos.

6.10.3.2 Estresse de acidez

A Figura 22 apresenta a variação da viscosidade aparente dos géis de amido de batata-doce *Beauregard* em centipoises (cP) ao longo do tempo (24h e 72h), considerando dois fatores experimentais: o pH (natural e ajustado para 3,5) e a temperatura de armazenamento (4°C e 28°C). Observa-se que, de maneira geral, a viscosidade aumenta com o tempo de armazenamento em todas as condições, sendo mais acentuada no pH 3,5 e à temperatura de 28°C (Grupo 4). Isso pode estar relacionado à reorganização molecular das cadeias de amido, fenômeno comum em pastas de amido, especialmente na combinação de temperatura elevada e pH ácido que intensifica a retrogradação do amido, resultando em maior viscosidade.

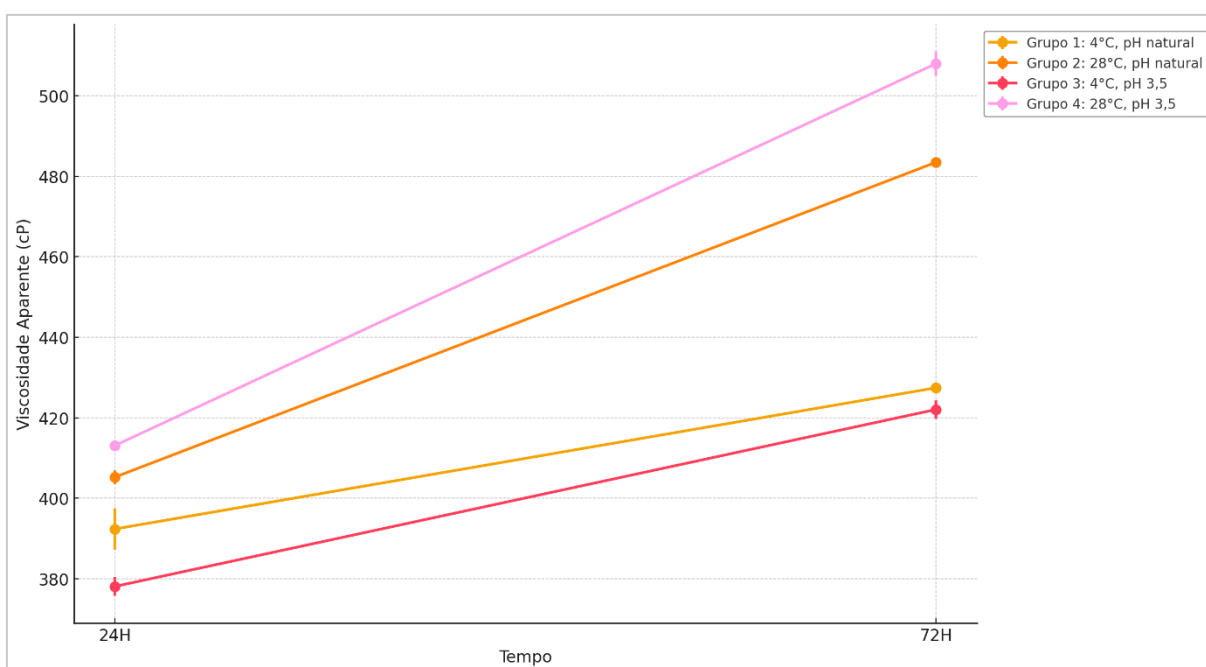


Figura 22. Viscosidade (cP) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de pH e temperatura. Fonte: Autor (2025).

De acordo com a literatura, o aumento da temperatura de armazenamento, como a 28°C, intensifica a retrogradação do amido, devido à formação de estruturas mais ordenadas, como as duplas hélices entre as cadeias de amilose e amilopectina, o que explica o aumento mais pronunciado da viscosidade para os grupos em 28°C, especialmente em pH 3,5 (Grupo 4). Este comportamento foi relatado por Li et al. (2024), que demonstraram que o armazenamento de amidos a baixas temperaturas, como 4°C, promove uma formação mais lenta e estável das duplas hélices, resultando em um aumento moderado na viscosidade, enquanto temperaturas mais elevadas

aceleram esse processo e promovem maior reorganização molecular do amido, aumentando a viscosidade (LI et al., 2024).

Além disso, o efeito do pH ácido, como observado no grupo com pH 3,5, contribui para um aumento da taxa de retrogradação, pois ácidos como o ácido cítrico podem catalisar a reassociação das cadeias de amido, tornando-as mais organizadas e resistentes, o que impacta diretamente na viscosidade do gel (ZHAI et al., 2023). A combinação de um pH ácido com temperaturas elevadas leva a uma maior recristalização e aumento da viscosidade, sendo consistente com o observado para o grupo armazenado a 28°C e pH 3,5, que apresentou a maior viscosidade ao longo do tempo (ZHAI et al., 2023).

Os resultados encontrados até aqui levam a acreditar que a viscosidade dos géis de amido é fortemente influenciada pela temperatura e pelo pH, com maiores valores de viscosidade sendo registrados em pH ácido e a 28°C. Ainda, destaca-se a importância nas implicações práticas para a indústria alimentícia, pois a escolha das condições de armazenamento pode afetar diretamente a textura e estabilidade de produtos à base de amido, como sobremesas e molhos, que requerem viscosidade estável durante o armazenamento prolongado.

6.10.3.3 Estresse de congelamento e congelamento/descongelamento

A Figura 23 apresenta a evolução da firmeza de dois grupos de géis de amido ao longo de 24 e 72 horas, sob diferentes condições de processamento: o Grupo 1 foi submetido ao processo de descongelamento, enquanto o Grupo 2 passou pelo ciclo de congelamento e descongelamento. A análise mostra que ambos os grupos tiveram um aumento na viscosidade ao longo do tempo. No entanto, o Grupo 1 apresentou um aumento mais acentuado, atingindo cerca de 493,89 ($\pm 0,25$) de viscosidade após 72 horas, enquanto o Grupo 2 teve um aumento menos pronunciado, atingindo aproximadamente 447,84 ($\pm 0,49$). Pode-se observar que o aumento da viscosidade aparente ao longo do tempo de armazenamento e os diferentes tratamentos térmicos aplicados — como congelamento e ciclos de descongelamento — têm um impacto significativo nas propriedades reológicas dos géis de amido.

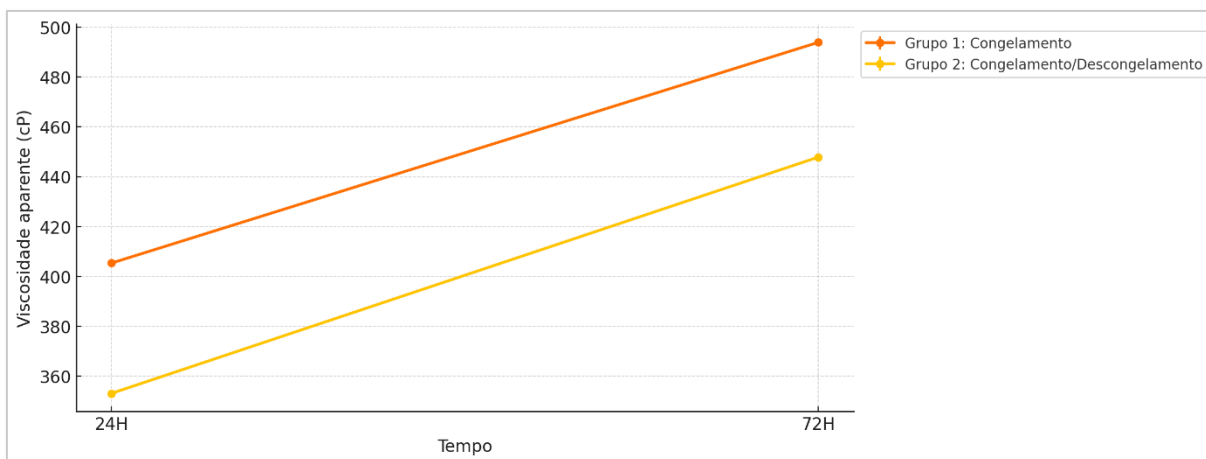


Figura 23. Viscosidade (cP) dos géis de amido ao longo do tempo de armazenamento após o estresse de congelamento e congelamento/descongelamento. Fonte: Autor (2025).

É sabido que o congelamento do amido promove a cristalização da água, o que força a reassociação das cadeias de amilose e amilopectina, resultando em um gel mais denso e com maior viscosidade. Essa formação de estrutura rígida é um indicativo de um aumento de retrogradação, que é uma característica frequentemente observada no amido congelado. De acordo com estudos como os de Wang et al. (2023), o congelamento contínuo sem descongelamento resulta em uma maior compactação das cadeias de amido, contribuindo para a formação de cristais tipo B, que aumentam a resistência ao fluxo e, portanto, a viscosidade do gel (WANG et al., 2023).

Por outro lado, o Grupo 2, que passou por ciclos de congelamento e descongelamento, apresentou uma menor viscosidade em comparação com o Grupo 1. Durante o processo de descongelamento, ocorre a sinérese, que é a liberação de água do gel. A perda de água contribui para uma redução na coesão interna da rede de amido, levando a uma menor viscosidade. A retrogradação do amido é intensificada pelo congelamento e descongelamento repetidos da pasta (LESZCZYŃSKI, 2004). Assim, aparentemente, o número de ciclos de congelamento e descongelamento geram rupturas na estrutura cristalina do amido, comprometendo a formação de uma rede estável e resultando em uma menor viscosidade quando comparado ao congelamento contínuo (WANG et al., 2023).

Portanto, as variações nas propriedades térmicas do amido após a gelatinização e durante o armazenamento refrigerado podem ser atribuídas a variações na proporção amilose/amilopectina, no tamanho e formato do grânulo e na presença ou ausência de outros componentes, como lipídeos e proteínas (WANG et

al., 2024). Esses resultados são importantes para a indústria alimentícia, pois indicam que o tipo de tratamento térmico aplicado aos produtos de amido afeta diretamente suas propriedades reológicas. Produtos que requerem uma maior viscosidade e estabilidade, como molhos ou sobremesas congeladas, poderiam se beneficiar de tratamentos que evitam ciclos de congelamento/descongelamento, enquanto produtos que necessitam de uma menor viscosidade poderiam adotar ciclos alternados para obter características desejáveis de textura e estabilidade.

6.11 ANÁLISE SENSORIAL E ESPECÍFICA DOS BISCOITOS

6.11.1 Perfil Microbiológico

Na Tabela 10 estão dispostos os resultados das análises microbiológicas realizadas nas formulações F1 (100% amido de milho), F2 (50% amido de milho e 50% amido de batata-doce *Beauregard*) e F3 (100% amido de batata-doce *Beauregard*).

Tabela 10. Perfil microbiológico das formulações para os principais microrganismos indicados pela legislação vigente (RDC nº 331/2019 e IN nº 60/2019) para biscoitos sem recheio e sem cobertura.

MICROORGANISMOS	LIMITE MÁXIMO PERMITIDO	F1	F2	F3
<i>Salmonella</i> spp. (25g)	Ausência	Ausente	Ausente	Ausente
<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	$\leq 1,0 \times 10^2$	$3,2 \times 10^1$	$2,8 \times 10^1$	$2,5 \times 10^1$
<i>Bacillus cereus</i> (UFC/g)	$\leq 1,0 \times 10^2$	$4,6 \times 10^1$	$3,9 \times 10^1$	$4,2 \times 10^1$
Bolores e Leveduras (UFC/g)	$\leq 1,0 \times 10^3$	$8,5 \times 10^1$	$7,2 \times 10^1$	$6,8 \times 10^1$

Nota: F1 (100% amido de milho), F2 (50% amido de milho e 50% amido de batata-doce *Beauregard*) e F3 (100% amido de batata-doce *Beauregard*). As análises foram realizadas em triplicata para cada formulação e valores expressos em unidades formadoras de colônia por grama (UFC/g) alinhados com os padrões da ANVISA (RDC nº 331/2019 e IN nº 60/2019). Fonte: Autor (2025).

Os resultados demo que todas as amostras estavam dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente (RDC nº 331/2019 e IN nº 60/2019 da Anvisa) para “biscoitos sem recheio e sem cobertura”. Não foi detectada a presença de *Salmonella* spp. em 25 g de nenhuma das formulações, atendendo ao critério de ausência exigido. As contagens de *Escherichia coli* variaram entre $2,5 \times 10^1$ e $3,2 \times 10^1$ UFC/g, enquanto *Bacillus cereus* apresentou valores entre $3,9 \times 10^1$ e $4,6 \times 10^1$ UFC/g, estando todos bem abaixo do limite máximo permitido de 10^2 UFC/g. A

contagem de bolores e leveduras também se manteve dentro dos padrões, com valores entre $6,8 \times 10^1$ e $8,5 \times 10^1$ UFC/g, inferior ao limite de 10^3 UFC/g. Esses resultados indicam que as formulações foram preparadas e manipuladas sob condições adequadas de higiene, sendo microbiologicamente seguras para o consumo.

Em estudos recentes, a contagem de *Escherichia coli* e *Bacillus cereus* em produtos de panificação, incluindo biscoitos, tem se mostrado baixa quando são adotadas boas práticas de higiene e processamento. Swartzentruber et al. (1984) relataram níveis inferiores a 3 UFC/g em massas refrigeradas e biscoitos prontos para o consumo, indicando alto padrão microbiológico. De modo semelhante, György e Laslo (2024), ao avaliarem amostras de pães comerciais e artesanais na Romênia, observaram que todas as amostras estavam livres de *Escherichia coli*, sendo mais frequentes as bactérias que pertenciam ao gênero *Bacillus* considerada uma das principais contaminantes. Na presente pesquisa, os níveis de *Escherichia coli* ($2,5 \times 10^1$ a $3,2 \times 10^1$ UFC/g) e *Bacillus cereus* ($3,9 \times 10^1$ a $4,6 \times 10^1$ UFC/g) encontrados nas três formulações de biscoitos mantiveram-se abaixo dos limites estabelecidos pela RDC nº 331/2019 e IN nº 60/2019 da Anvisa ($\leq 10^2$ UFC/g), refletindo um adequado controle higiênico-sanitário durante a manipulação e produção dos alimentos.

Outro ponto de destaque foi a ausência de *Salmonella* spp. em 25 g de todas as amostras analisadas, bem como a baixa contagem de bolores e leveduras ($6,8 \times 10^1$ a $8,5 \times 10^1$ UFC/g), o que confirma a eficácia dos processos térmicos aplicados e a segurança microbiológica dos produtos. Segundo Alp e Bulantekin (2021), produtos de panificação com baixa atividade de água e que passam por etapas de cocção controlada apresentam menor risco de contaminação fúngica e bacteriana. A presença do amido de batata-doce *Beauregard* nas formulações F2 e F3 pode ter contribuído para pequenas variações entre as amostras, possivelmente relacionadas à composição química ou umidade residual, mas sem impacto sobre a conformidade legal. Dessa forma, os resultados obtidos atestaram a qualidade microbiológica das formulações testadas, com potencial para aplicação segura no desenvolvimento de novos produtos alimentícios.

6.11.2 Perfil Físico-químico

Os resultados físico-químicos das formulações de biscoitos F1 (100% amido de milho), F2 (50% amido de milho e 50% amido de batata-doce *Beauregard*) e F3 (100% amido de batata-doce *Beauregard*) estão apresentados a seguir (Tabela 11).

Tabela 11. Perfil físico-químico (g/100g) das formulações de biscoitos elaboradas com amido de milho e/ou amido de batata-doce da cultivar *Beauregard*.

PARÂMETROS	F1	F2	F3
Umidade	3,50 ± 0,05 ^a	3,70 ± 0,04 ^b	3,90 ± 0,07 ^c
Cinzas	1,60 ± 0,08 ^a	1,70 ± 0,08 ^b	1,80 ± 0,04 ^c
Proteína	5,20 ± 0,07 ^a	5,10 ± 0,07 ^b	5,00 ± 0,07 ^c
Lipídeos	20,00 ± 0,03 ^a	20,00 ± 0,03 ^a	20,10 ± 0,05 ^a
Carboidratos	69,70 ± 0,06 ^a	69,50 ± 0,03 ^b	69,20 ± 0,06 ^c
pH	6,40 ± 0,02 ^a	6,30 ± 0,06 ^b	6,20 ± 0,03 ^c
Acidez total	0,85 ± 0,06 ^a	0,88 ± 0,02 ^b	0,90 ± 0,07 ^c
Valor energético	449,60 ^a	448,90 ^b	448,10 ^c

F1 = formulação padrão com 100% de amido de milho; F2 = formulação mista com 50% de amido de milho e 50% de amido de batata-doce da cultivar *Beauregard*; F3 = formulação experimental com 100% de amido de batata-doce da cultivar *Beauregard*. Fonte: Autor (2025).

Nota: Os valores estão apresentados por média e desvio-padrão da média, expressos em g/100g para os parâmetros físico-químicos, exceto pH (valor adimensional), acidez total (mEq ácido/g) e valor energético (kcal/100g). Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas entre os valores médios das formulações, conforme análise de variância (ANOVA one-way), seguida de comparação múltipla. Foi adotado o nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Os teores de umidade nas formulações variaram significativamente ($p < 0,05$) com valores médios de F1 = 3,5 ± 0,05g/100g, F2 = 3,7 ± 0,05g/100g e F3 = 3,9 ± 0,05 g/100g). Esse aumento progressivo pode está associado à maior proporção de amido de batata-doce da cultivar *Beauregard* nas formulações. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2024), que relataram teor de umidade de 3,26g/100g em sequilhos elaborados a partir de amido de batata-doce de polpa roxa, mostrando que a cocção promove significativa redução de água e favorece a estabilidade do produto. Além disso, estudos comparativos com farinha de batata-doce e mandioca indicam que esse elevado teor de amido tende a reduzir a umidade residual, mantendo um padrão de secagem eficiente e adequado para biscoitos sem recheio.

Por outro lado, uma pesquisa envolvendo biscoitos feitos com mistura de farinha de batata-doce de polpa amarela e trigo indicam que a inclusão crescente da

farinha de batata-doce pode elevar ligeiramente a umidade final — de 2,13% para até 5,11%, conforme a dose utilizada (ABAYOMI et al., 2013). No entanto, apesar dessa variação estatística, os valores obtidos para umidade nesta pesquisa permanecem dentro dos padrões recomendados para biscoitos secos, que geralmente devem apresentar umidade inferior a 5%, conforme especificações técnicas da ANVISA (BRASIL, 2019).

Já os teores de cinzas observados nas formulações de biscoitos apresentaram variações discretas: F1 ($1,60 \pm 0,08\text{g}/100\text{g}$), F2 ($1,70 \pm 0,08\text{g}/100\text{g}$) e F3 ($1,80 \pm 0,04\text{g}/100\text{g}$) e significativas estatisticamente, o que pode indicar relação ao aumento proporcional à incorporação do amido de batata-doce *Beauregard*. Esse comportamento é consistente com o estudo de Jemziya e Mahendran (2015), que verificaram incremento no teor de cinzas à medida que a farinha de batata-doce substituíu a farinha de trigo em biscoitos, refletindo o maior conteúdo de minerais naturalmente presente nos tubérculos, em comparação aos cereais refinados. Segundo Vizzotto et al. (2018), a batata-doce roxa e amarela/alaranjada contém níveis elevados de potássio, fósforo e cálcio, o que pode justificar o acréscimo gradual observado nas amostras que receberam maior proporção do amido alternativo. O aumento nos teores de cinzas pode ser considerado um indicativo de enriquecimento mineral do produto final, ainda que a análise individual dos micronutrientes não tenha sido realizada.

Esse ligeiro acréscimo no teor de cinzas pode estar relacionado também às variações nos demais parâmetros físico-químicos. Por exemplo, o leve aumento da umidade e o ligeiro declínio do pH de 6,40 para 6,20, pois minerais presentes na batata-doce, como potássio e fósforo, podem contribuir para o equilíbrio iônico e ácido-base da matriz do biscoito (VIZZOTTO et al., 2018). Esse acréscimo na fração mineral (representado pelas cinzas) pode indicar um valor nutricional adicional relevante, especialmente do ponto de vista funcional, caso venha a ser confirmada a presença de micronutrientes nas formulações estudadas em análises futuras.

As formulações apresentaram diferenças significativas no teor de proteínas ($p < 0,05$), com os maiores valores observados na F1 ($5,20 \pm 0,07\text{g}/100\text{g}$), seguida pela F2 ($5,10 \pm 0,07\text{g}/100\text{g}$) e F3 ($5,00 \pm 0,07\text{g}/100\text{g}$). Embora a diferença entre as formulações seja estatisticamente significativa, observa-se que os teores são bastante próximos entre si, indicando que a substituição do amido de milho pelo amido da batata-doce *Beauregard* não comprometeu o teor proteico do produto final. Esse

resultado pode ser atribuído ao fato de que a principal fonte de proteína da formulação não está relacionada ao tipo de amido utilizado, mas sim à presença de ingredientes como a gema de ovo, que foi mantida constante nas três formulações.

Os valores obtidos aqui estão em consonância com os dados de estudos com biscoitos contendo farinha de batata-doce de polpa roxa, que relatam retenção do teor proteico em substituições parciais (SUNARYO et al., 2024). Além disso, a manutenção do teor proteico é relevante para a estrutura e textura dos biscoitos. A proteína, em combinação com o amido, favorece a formação de uma matriz estável durante a cocção, influenciando propriedades como crocância e firmeza da massa.

Os teores de lipídeos observados nas formulações foram semelhantes: F1 ($20,0 \pm 0,7\text{g}/100\text{g}$), F2 ($20,0 \pm 0,8\text{g}/100\text{g}$) e F3 ($20,1 \pm 0,6\text{g}/100\text{g}$), sem diferenças estatísticas significativas ($p > 0,05$), conforme indica a Tabela 11. Esse comportamento é consistente com de Singh, Riar e Saxena (2008) analisaram biscoitos com substituição de até 40% de farinha de trigo por farinha de batata-doce e não observaram alterações expressivas no teor de lipídeos, mantendo valores em torno de 15–17%. Isso sugere que, quando ingredientes ricos em gorduras (como margarina ou óleo vegetal) são mantidos constantes na formulação, o tipo de amido (milho ou batata-doce) exerce impacto mínimo no teor lipídico final.

A ausência de diferença estatística reforça que a substituição do amido de milho pelo de batata-doce *Beauregard* não impactou o conteúdo lipídico, reafirmando a viabilidade da formulação em termos de composição nutricional. Esse resultado é importante, pois mantém o valor energético do biscoito estável — já que os lipídeos são o macronutriente com maior concentração calórica (9 kcal/g) — e preserva a textura e palatabilidade do produto. Além disso, esse comportamento pode indicar que as propriedades físicas do amido de batata-doce, como capacidade de absorção de lipídeos ou interação com a matriz lipídica, são semelhantes às do amido de milho na proporção utilizada.

O teor de carboidratos nas formulações F1, F2 e F3 variou significativamente ($p < 0,05$), mantendo-se elevado em todas as amostras, com valores médios próximos de 69–70g/100g, refletem a natureza farinácea dos biscoitos. Esse comportamento está de acordo com o perfil nutricional esperado de biscoitos ricos em amido, especialmente quando há a presença de ingredientes como farinha ou amido de batata-doce, que têm alto conteúdo de carboidratos complexos. Sengeev, Gernah e Bunde-Tsegba (2015) observaram que biscoitos formulados com farinha de batata-

doce apresentaram um teor de carboidratos totais entre 66,2g/100g, valor semelhante aos observados na presente pesquisa. Recentemente, Giri e Sakhale (2021) encontraram valores semelhantes (61,9 a 64,7g/100g) ao elaborarem biscoitos com farinha de batata-doce de polpa alaranjada em diferentes proporções em relação a farinha de amaranto e amido de mandioca. O estudo evidenciou as diversas propriedades funcionais, nutricionais e reológicas da farinha de batata-doce de polpa alaranjada e sua adequação para o preparo de biscoitos funcionais sem glúten enriquecidos em micronutrientes.

Por outro lado, o pH das formulações apresentou diferença significativa ($p > 0,05$), mas variando discretamente entre 6,4 e 6,2 indicando estabilidade ácido-base mesmo com mudanças na fonte de amido. O resultado reforça a aplicabilidade técnica do amido da batata-doce *Beauregard* como ingrediente: sem alterar os níveis de acidez, comporta-se de forma análoga ao amido de milho durante o processamento, mantendo o desenvolvimento microbiológico prevenido e uma boa qualidade sensorial. Essa equivalência de pH é importante para padronização das condições de fermentação — quando houver — e para a conservação do produto final.

A acidez total das formulações variou entre 0,85% e 0,90%, com diferença estatística significativa entre os grupos ($p > 0,05$). Essa estabilidade pode ser atribuída à composição semelhante dos ingredientes principais, especialmente os amidos utilizados, que não possuem características marcadamente ácidas. A manutenção da acidez em níveis baixos é favorável, pois contribui para a estabilidade microbiológica e evita alterações indesejadas no sabor, o que é essencial para produtos de longa prateleira como os biscoitos (VIZZOTTO et al., 2018).

Os valores calóricos encontrados nas formulações F1, F2 e F3 ficaram entre 448,10 a 449,60 kcal/100g, indicando produtos com densidade energética elevada, o que é característico de produtos assados contendo fontes de carboidratos complexos e lipídeos. Esses resultados são superiores aos obtidos por Abayomi et al. (2013), que relataram valores calóricos variando entre 371,3 e 391,7 kcal/100g em biscoitos elaborados com farinha de batata-doce e soja fermentada. Essa diferença pode estar relacionada à composição dos ingredientes, especialmente ao maior teor de lipídeos e carboidratos nas formulações atuais, o que contribui diretamente para o aumento do valor energético.

Observa-se que, nas formulações deste estudo há uma discreta redução à medida que se aumentou a concentração de amido de batata-doce na composição dos biscoitos. Esse comportamento é coerente com os achados de Giri e Sakhale (2021), que ao desenvolverem biscoitos utilizando farinha de batata-doce de polpa alaranjada em diferentes proporções com farinha de amaranto e amido de mandioca, observaram uma redução progressiva no valor calórico, variando de 479,08 kcal/100g (formulação com menor proporção de batata-doce) até 435,88 kcal/100g na formulação com 100% de farinha de batata-doce. Essa tendência de redução calórica pode estar associada ao perfil de macronutrientes do amido ou farinha de batata-doce, que, embora rica em carboidratos, possui menor teor de lipídeos e proteínas comparado a outras farinhas utilizadas como substituição. Assim, acredita-se que o uso crescente de amido de batata-doce pode contribuir para o desenvolvimento de biscoitos com menor densidade energética.

6.11.3 Perfil físico dos Biscoitos

Os resultados apresentados na Tabela 12 demonstram que as diferentes proporções de amido de milho e amido de batata-doce da cultivar *Beauregard* influenciaram significativamente o perfil físico das formulações de biscoitos após o processo de cocção, mesmo com a padronização das medidas iniciais (pré-cocção) em todas as amostras. Essas diferenças foram mais evidentes nos parâmetros de rendimento, expansão dimensional e densidade aparente, e podem ser compreendidas à luz das características físico-químicas observadas na Tabela 12.

Tabela 12. Perfil físico das formulações elaboradas com amido de milho e/ou amido de batata-doce da cultivar *Beauregard*.

DETERMINAÇÃO		F1	F2	F3
Volume específico (cm ³ g ⁻¹)		1,30 ± 0,10a	1,35 ± 0,12a	1,32 ± 0,10a
Rendimento (%)		90 ± 3,5a	88 ± 4,00b	89 ± 5,0a
Fator Térmico		0,90 ± 0,03a	0,88 ± 0,04a	0,89 ± 0,05a
Peso (g)	Pré-cocção	5,00 ± 0,00a	5,00 ± 0,00a	5,00 ± 0,00a
	Pós-cocção	4,60 ± 0,20a	4,40 ± 0,22b	4,45 ± 0,25a
Espessura (cm)	Pré-cocção	1,15 ± 0,06a	1,18 ± 0,06a	1,15 ± 0,08a
	Pós-cocção	1,25 ± 0,05a	1,25 ± 0,07a	1,24 ± 0,05a

Diâmetro (cm)	Pré-cocção	3,08 ± 0,05a	3,08 ± 0,07a	3,08 ± 0,06a
	Pós-cocção	3,30 ± 0,08a	3,35 ± 0,10a	3,38 ± 0,09b
Volume (cm ³)	Pré-cocção	6,80 ± 0,32a	6,80 ± 0,36a	6,80 ± 0,25a
	Pós-cocção	7,80 ± 0,40a	8,80 ± 0,55b	8,60 ± 0,50b
Densidade aparente (g cm ⁻³)	Pré-cocção	1,32 ± 0,05a	1,32 ± 0,06a	1,32 ± 0,05a
	Pós-cocção	0,98 ± 0,03a	1,00 ± 0,04a	1,02 ± 0,04b

F1 = formulação padrão com 100% de amido de milho; F2 = formulação mista com 50% de amido de milho e 50% de amido de batata-doce da cultivar *Beauregard*; F3 = formulação experimental com 100% de amido de batata-doce da cultivar *Beauregard*. Fonte: Autor (2025).

Nota: Os valores estão apresentados por média e desvio-padrão da média. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas entre os valores médios das formulações, conforme análise de variância (ANOVA one-way), seguida de comparação múltipla. Foi adotado o nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Apesar de a formulação F1, composta exclusivamente por amido de milho, ter apresentado o maior rendimento ($90 \pm 3,5\%$) e diferença estatística, esse desempenho não desqualifica o potencial tecnológico do amido de batata-doce da cultivar *Beauregard*, utilizado nas formulações F2 (50%) e F3 (100%). Esse maior rendimento da F1 pode estar relacionado à estabilidade térmica do amido de milho, à uma menor sinérese e à maior retenção de umidade durante a cocção, resultando em menor perda de massa ($0,40$ g) e maior fator térmico ($0,90 \pm 0,03$). No entanto, as formulações com amido de batata-doce demonstraram desempenho semelhante em termos de volume pós-cocção e espessura final, com destaque para a F3, que apresentou maior diâmetro ($3,38 \pm 0,09$ cm) e espessura estável após o processamento térmico.

As diferenças de expansão dos biscoitos também foram expressivas entre as formulações. A F3, elaborada com 100% de amido de batata-doce da cultivar *Beauregard*, apresentou os maiores valores de diâmetro ($3,38 \pm 0,09$ cm) e um dos maiores valores de volume ($8,60 \pm 0,50$ cm³) após a cocção, indicando maior capacidade de expansão térmica. Esse resultado sugere que o amido de batata-doce apresenta bom desempenho na formação de estruturas mais aeradas, mesmo apresentando maior acidez ($0,90 \pm 0,07\%$) e menor pH ($6,20 \pm 0,03$), fatores que, teoricamente, poderiam limitar a expansão da matriz amilácea (MARTÍNEZ; OVIEDO; GUTIÉRREZ, 2020). Por outro lado, a F1, com 100% de amido de milho, exibiu menor volume ($7,80 \pm 0,40$ cm³) e menor diâmetro ($3,30 \pm 0,08$ cm), o que pode estar

relacionado à formação de uma estrutura mais compacta e menos aerada, refletida também no menor volume específico ($1,30 \pm 0,10 \text{ cm}^3/\text{g}$).

Em termos de densidade aparente, a formulação F3 apresentou os biscoitos mais densos estatisticamente ($1,02 \pm 0,04 \text{ g/cm}^3$), seguida por F2 ($1,00 \pm 0,04 \text{ g/cm}^3$) e F1 ($0,98 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$). Esse comportamento pode estar relacionado aos maiores teores de cinzas ($1,80 \pm 0,04\%$) e lipídeos ($2,10 \pm 0,05\%$) observados na F3 (Tabela 11), indicando uma matriz com maior concentração de sólidos totais, o que favorece uma estrutura mais compacta e menos aerada. Resultados semelhantes foram relatados por Jemziya e Mahendran (2017), que observaram aumento da densidade em biscoitos com maior proporção de farinha de batata-doce, associando esse efeito à retenção de umidade e ao acúmulo de sólidos na massa. Embora o presente estudo utilize o amido isolado da batata-doce da cultivar *Beauregard*, e não a farinha integral, os achados sugerem que suas propriedades físico-químicas, como composição mineral e teor lipídico residual, também influenciam a densidade estrutural do produto final, conforme já descrito na literatura.

Por fim, o volume específico das formulações, uma medida que relaciona o volume ocupado à massa do produto, refletindo sua leveza estrutural, foi levemente superior na F2 ($1,35 \pm 0,12 \text{ cm}^3/\text{g}$), seguida por F3 ($1,32 \pm 0,10 \text{ cm}^3/\text{g}$) e F1 ($1,30 \pm 0,10 \text{ cm}^3/\text{g}$) mas sem diferença estatística. Esses resultados indicam que a F3, mesmo apresentando maior densidade aparente, foi capaz de manter um bom nível de expansão, resultando em um produto com estrutura equilibrada entre massa e volume. A F1, com menor volume específico, formou biscoitos mais compactos, o que está em consonância com seu maior rendimento e menor perda de massa durante a cocção.

De forma geral, os resultados obtidos indicam que o uso de amido de batata-doce influenciou positivamente a retenção de umidade e a estrutura final dos biscoitos, contribuindo para características físicas que podem favorecer a aceitação sensorial do produto. Além disso, a integração dos dados físicos e físico-químicos reforça a importância da escolha dos ingredientes em formulações que visam equilíbrio entre textura, rendimento e valor nutricional.

6.11.4 Perfil do Painel de Avaliadores

A amostra da análise sensorial foi composta por 78 avaliadores, dos quais 56,4% ($n = 44$) eram do sexo feminino e 43,6% ($n = 34$) do sexo masculino. Quanto à

formação, a maioria era composta por estudantes da área da saúde dos cursos de Educação Física (23,1%; n = 18), Farmácia (17,9%; n = 14), Enfermagem (14,1%; n = 11), Nutrição (12,8%; n = 10), Psicologia (7,7%; n = 6) e Fisioterapia (6,4%; n = 5). Além dos estudantes, participaram também profissionais da instituição, como técnicos administrativos (10,3%; n = 8) e professores (9,0%; n = 7), ampliando a diversidade do perfil dos avaliadores.

A faixa etária dos avaliadores variou entre 18 e 59 anos, com idade média de 28 anos, caracterizando um público predominantemente jovem. A maioria estava na faixa de 21 a 29 anos (64,1%; n = 50), seguida pelos grupos de 18 a 20 anos (15,4%; n = 12), 40 a 49 anos (7,7%; n = 6), 30 a 39 anos (6,4%; n = 5) e 50 a 59 anos (6,4%; n = 5), o que configura um painel sensorial formado majoritariamente por jovens adultos. Essa característica pode ter influenciado positivamente a capacidade de percepção sensorial, uma vez que indivíduos mais jovens tendem a apresentar maior acuidade nos sentidos do paladar e olfato, fatores determinantes na avaliação de atributos como sabor, odor e textura (MIHNEA et al., 2022). Estudos demonstram que a sensibilidade gustativa e olfativa diminui progressivamente com o avanço da idade, especialmente a partir dos 60 anos, em função de alterações fisiológicas, uso de medicamentos e redução da quantidade de papilas gustativas e células olfatórias (CEOLIN, PINHEIRO, 2017). Como a amostra não incluiu idosos, o risco de interferência negativa desses fatores sobre os resultados foi minimizado.

Além disso, a diversidade do painel, incluindo profissionais e estudantes de diferentes cursos da área da saúde, proporcionou uma avaliação sensorial enriquecida por distintas experiências alimentares, sem que houvesse comprometimento da acuidade sensorial associada ao envelhecimento. A ausência de participantes com 60 anos ou mais também confere maior confiabilidade aos dados obtidos, especialmente em testes afetivos de aceitação global, onde a integridade sensorial é crucial para a identificação de sutis diferenças entre formulações. Ainda assim, é relevante destacar que futuras análises poderiam considerar a inclusão de grupos etários mais avançados, dada a crescente demanda por produtos saudáveis e adaptados ao público idoso, que frequentemente apresenta alterações sensoriais e nutricionais específicas.

6.11.4 Análise Sensorial Afetiva

Na avaliação sensorial dos atributos Cor (Figura 24a), Odor (Figura 24b), Aparência (Figura 24c), Sabor (Figura 24d) e Textura (Figura 24e), a formulação F2 (50% amido de milho e 50% amido de batata-doce *Beauregard*) apresentou os maiores escores médios para todos os parâmetros, sendo significativamente superior às demais ($p < 0,05$). Observa-se que as notas médias atribuídas aos atributos analisados variaram de 6 a 8, sendo classificadas como “gostei ligeiramente” e “gostei muito” na escala hedônica estruturada de nove pontos. Para Cor (Figura 24a), F2 obteve-se média de $(8,03 \pm 0,60)$, seguida por F3 ($6,76 \pm 0,48$) e F1 ($6,27 \pm 0,77$). No atributo Odor (Figura 24b), F2 também se destacou ($7,87 \pm 0,69$), com F1 em segundo lugar ($7,15 \pm 0,67$) e F3 com a menor pontuação ($7,09 \pm 0,38$). Quanto à Aparência (Figura 24c), F2 alcançou média de $(8,04 \pm 0,69)$, superior a F3 ($7,18 \pm 0,46$) e F1 ($6,94 \pm 0,72$). Para Sabor (Figura 24d), a tendência se repetiu: F2 ($7,77 \pm 0,79$), F1 ($7,14 \pm 0,33$) e F3 ($6,13 \pm 0,67$). Por fim, em Textura (Figura 24e), F2 obteve $(7,82 \pm 0,81)$, enquanto F3 e F1 apresentaram médias de $(7,26 \pm 0,40)$ e $(6,72 \pm 0,82)$, respectivamente.

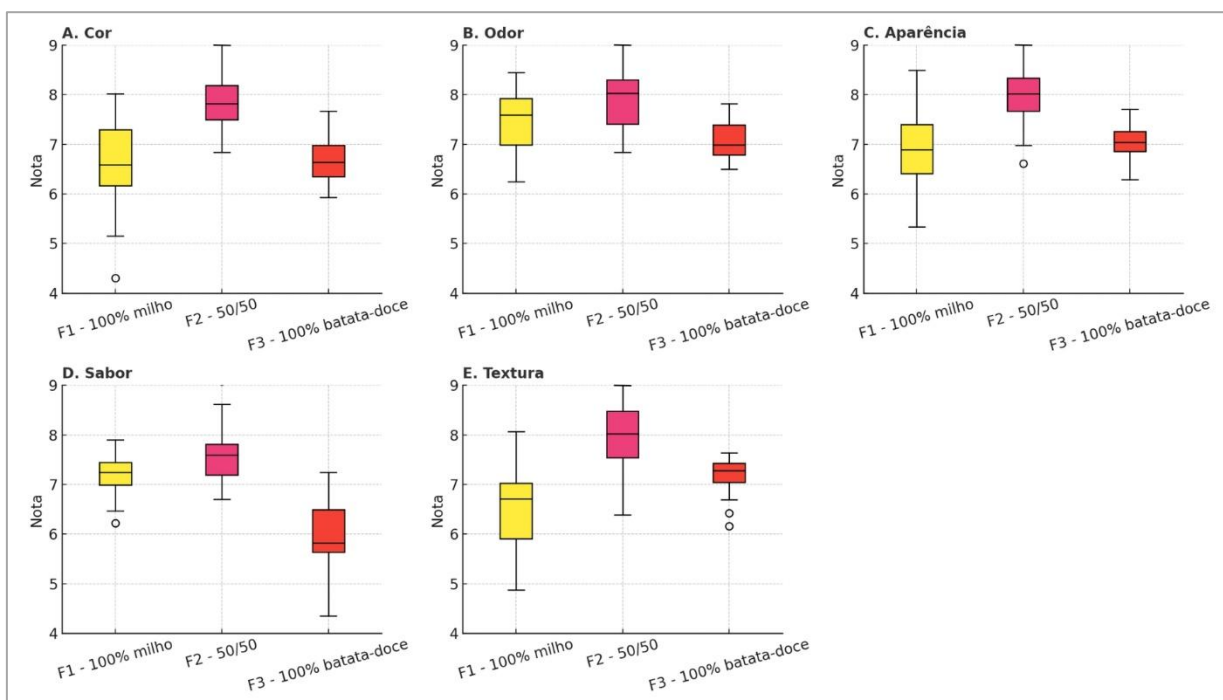


Figura 24. Distribuição dos escores sensoriais atribuídos às formulações F1 (100% amido de milho), F2 (50% amido de milho e 50% amido de batata-doce *Beauregard*) e F3 (100% amido de batata-doce *Beauregard*) quanto aos atributos de (A) Cor, (B) Odor, (C) Aparência, (D) Sabor e (E) Textura. Fonte: Autor (2025).

Nota: As caixas representam o intervalo interquartil (do 1º ao 3º quartil), a linha central indica a mediana e os extremos dos bigodes correspondem aos valores mínimo e máximo dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil. Os dados foram analisados por meio de ANOVA one-way, seguida do teste de Tukey para comparação múltipla entre médias, considerando nível de significância de $p < 0,05$. ° = Notas com valores discrepantes (outliers).

Destaca-se ainda, com base nos resultados obtidos, a formulação F2 (50% amido de milho e 50% amido de batata-doce *Beauregard*) foi a mais preferida entre os participantes, sendo escolhida por 52,6% ($n = 41$) dos avaliadores. Além disso, a formulação F3, composta por 100% de amido de batata-doce *Beauregard*, também obteve destaque, sendo indicada por 25,6% ($n = 20$) dos participantes. Somadas, as formulações que continham amido de batata-doce *Beauregard* estiveram entre as preferidas de mais de 78% da amostra, evidenciando o potencial sensorial e de aceitação do ingrediente. Em contrapartida, a formulação F1, com 100% de amido de milho, foi a menos escolhida, com 21,8% ($n = 17$) das preferências. Esses dados reforçam a viabilidade do uso do amido de batata-doce como alternativa tecnológica com boa aceitação sensorial.

O índice de aceitabilidade (%) dos atributos sensoriais cor, odor, aparência, sabor e textura das formulações elaboradas com amido de milho e/ou amido de batata-doce da cultivar *Beauregard* está apresentado na Tabela 13. Observa-se que a formulação F2 (50% milho e 50% batata-doce *Beauregard*) obteve os maiores índices para todos os atributos, com destaque para aparência (89,33%) e textura (86,89%), indicando elevada aceitação pelos consumidores. A formulação F1 (100% milho) apresentou desempenho intermediário, com índices acima de 70% em todos os parâmetros, exceto cor (69,67%), enquanto F3 (100% batata-doce *Beauregard*) apresentou menor aceitabilidade, sobretudo no atributo sabor (68,11%), o único com valor inferior a 70%, limite mínimo considerado satisfatório segundo a literatura. Esses resultados reforçam o potencial da formulação mista (F2) em termos de preferência sensorial.

Tabela 13. Notas fornecidas pelos consumidores quanto ao índice de aceitabilidade (%) para cor, odor, sabor, textura e aparência de formulações elaboradas com amido de milho e/ou amido de batata-doce da cultivar *Beauregard*.

FORMULAÇÕES	Índice de aceitabilidade (%) - atributos				
	Cor	Odor	Aparência	Sabor	Textura
F1	69.67	79.44	77.11	79.33	74.67
F2	89.22	87.44	89.33	86.33	86.89
F3	75.11	78.78	79.78	68.11	80.67

F1 = formulação padrão com 100% de amido de milho; F2 = formulação mista com 50% de amido de milho e 50% de amido de batata-doce da cultivar *Beauregard*; F3 = formulação experimental com 100% de amido de batata-doce da cultivar *Beauregard*. Fonte: Autor (2025).

A cor dos biscoitos apresentou diferença estatisticamente significativa entre as formulações, sendo a F2 (formulada com amido de milho e amido de batata-doce) a mais bem avaliada ($8,03 \pm 0,60$), seguida pela F3 (100% amido de batata-doce, $6,76 \pm 0,48$) e F1 (100% amido de milho, $6,27 \pm 0,77$). Considerando que os amidos utilizados, tanto de milho quanto de batata-doce, são isentos de coloração característica, ou seja, ambos brancos e visualmente neutros, a variação na aceitação da cor não está relacionada diretamente aos pigmentos naturais dos ingredientes amiláceos, mas sim ao resultado visual final após o processo de cocção.

A coloração final dos biscoitos pode ter sido influenciada por interações entre os demais ingredientes da formulação (como açúcar, gordura e ovos) e pelas condições térmicas de processamento, que favorecem reações de escurecimento não enzimático, como a reação de *Maillard*. Estudos como os de Lou et al. (2022) e Mounir et al. (2024) destacam que a composição da matriz do produto influencia a intensidade do douramento durante o forno, mesmo quando amidos brancos são utilizados. A melhor aceitação da cor na F2 pode estar associada ao equilíbrio entre estrutura e desenvolvimento da crosta superficial, resultando em aspecto mais uniforme e atrativo.

Para o atributo odor, a análise sensorial identificou diferenças significativas entre as formulações ($p < 0,05$), com a F2 destacando-se com média de $7,87 \pm 0,71$, seguida pelas formulações F3 ($7,32 \pm 0,52$) e F1 ($6,95 \pm 0,71$). Essa superioridade da F2 pode ser atribuída à estrutura matricial única formada pela combinação de amidos,

que favoreceu a retenção de compostos voláteis agradáveis durante a cocção. Estudos sobre produtos similares apontam que formulações intermediárias tendem a proporcionar maior liberação de compostos aromáticos quando comparadas a aquelas de base única (SINGH; RIAR; SAXENA, 2017).

Além disso, considerando os resultados da Tabela 12, em especial o volume específico e densidade final dos biscoitos, aparentemente a F2 formou uma matriz mais porosa, o que pode ter facilitado a liberação de compostos aromáticos na boca e no ar após o consumo, o que está diretamente relacionado à percepção olfativa durante os testes sensoriais. Esse fenômeno já foi observado por Tsai et al. (2021), no contexto de batatas-doces assadas, onde foram identificados compostos como 2-furanmethanol e furfural, associados a odores caramelizados e doces, que se intensificam com o tempo de cocção. É provável que esta dinâmica tenha ocorrido nos biscoitos F2, resultando nos escores superiores.

Já a formulação F1 teve notas mais baixas, possivelmente em função de menor retenção de voláteis devido à maior densidade da matriz, e a F3, embora melhor que F1, não alcançou os níveis de F2, talvez por excesso de amido resistente que limitou a liberação de aromáticos. Até aqui, esse comportamento reforça a hipótese de que a combinação equilibrada de amido de milho e batata-doce *Beauregard*, na concentração específica usada na F2, favoreceu um perfil olfativo mais atrativo e sensorialmente perceptível.

O atributo aparência também apresentou diferenças estatisticamente significativas entre as formulações avaliadas ($p < 0,05$). A formulação F2 obteve a melhor aceitação média ($8,06 \pm 0,63$), superando F3 ($7,33 \pm 0,53$) e F1 ($7,06 \pm 0,66$). Esse resultado pode estar relacionado à coloração mais atrativa dos biscoitos F2, mesmo considerando que o amido de batata-doce *Beauregard* utilizado nesta pesquisa não possuía pigmentos evidentes. Possivelmente, a coloração final das amostras foi resultado da reação de *Maillard* e da caramelização (como discutido no atributo cor) durante o processo de cocção, processos estes influenciados pela composição da matriz amilácea e pelas condições térmicas aplicadas.

O fato da formulação F2 ter tido uma boa aceitação visual reflete uma característica tecnológica intrínseca aos ingredientes utilizados, especialmente ao tipo e proporção do amido presente na formulação. Segundo Martins, Jongen e Van Boekel (2001), a aparência de produtos assados é fortemente influenciada pelas reações térmicas que ocorrem entre açúcares redutores e aminoácidos, sendo que

formulações com menor umidade tendem a favorecer esse tipo de reação de forma mais controlada, evitando escurecimento excessivo.

Além disso, o menor índice de sinérese nos géis do amido de batata-doce *Beauregard* após o estresse de esterilização (28°C) conforme disposto na Figura 15, pode ter contribuído para maior estabilidade da estrutura do biscoito após o resfriamento, resultando em uma aparência mais regular e atrativa. Estudos conduzidos por Zhao et al. (2022) também apontam que a estrutura superficial regular e a uniformidade de cor são atributos-chave para a aceitação visual de produtos de panificação enriquecidos com amidos alternativos.

Os resultados da análise sensorial indicaram que a formulação F2 obteve a melhor média de aceitação para o atributo sabor ($8,33 \pm 0,79$), sendo significativamente superior às formulações F1 ($7,71 \pm 0,90$) e F3 ($7,83 \pm 0,88$). Esse desempenho pode estar associado a uma combinação ideal entre textura, leve dulçor residual e ausência de sabor residual indesejável, o que favoreceu a percepção positiva dos avaliadores. Considerando que a F2 apresentou uma proporção equilibrada entre amido de batata-doce *Beauregard* e amido de milho, é possível que essa sinergia tenha contribuído para uma sensação na boca mais agradável, com textura e sabor mais suaves.

O amido da batata-doce, especialmente da cultivar *Beauregard*, apresentou baixo teor de lipídeos e cinzas, alta pureza e boa digestibilidade *in vitro*, o que pode interferir positivamente no perfil sensorial do alimento ao evitar sabores residuais desagradáveis ou textura empastada, como relatado por Zhu e Wang (2014). Além disso, por não conter compostos fenólicos ou pigmentos intensos, esse amido não altera a cor ou o sabor das formulações, o que é vantajoso para aplicações em produtos de panificação com apelo sensorial mais neutro.

Por outro lado, a formulação F1, com maior proporção de amido de milho, pode ter sido percebida como menos palatável devido ao sabor mais neutro e à menor complexidade sensorial, uma vez que o amido de milho tende a contribuir menos para o desenvolvimento de compostos aromáticos durante o processo de assamento (MIBACH et al., 2021). Já a F3, com maior teor de amido de batata-doce *Beauregard*, embora tenha apresentado boa aceitação, pode ter se beneficiado menos da interação com os açúcares redutores e aminoácidos presentes na formulação, o que influencia a formação de compostos voláteis responsáveis pelo aroma e sabor (MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2001).

A formulação F2 também apresentou a maior média de aceitação para o atributo textura ($8,29 \pm 0,76$), significativamente superior às formulações F1 ($7,63 \pm 0,87$) e F3 ($7,78 \pm 0,79$). Este resultado pode estar relacionado à capacidade do amido de batata-doce *Beauregard* de contribuir para uma estrutura mais crocante e estável, principalmente quando usado em equilíbrio com o amido de milho, como foi o caso da F2. A proporção intermediária entre os dois amidos pode ter favorecido a formação de uma rede amilácea adequada à retenção de umidade ideal e ao desenvolvimento de uma textura crocante, porém não seca, característica apreciada pelos consumidores.

O amido da cultivar *Beauregard* apresenta grânulos com morfologia homogênea, elevada digestibilidade e índices de solubilidade e absorção de água equilibrados, além de formar géis com boa firmeza e baixa sinérese sob estresse térmico, como demonstrado em resultados anteriores. Esses fatores influenciam diretamente a textura final de produtos assados, favorecendo formulações com crocância, coesão e estabilidade após o resfriamento. Conforme relatado por Jemziya e Mahendran (2015), amidos com boa capacidade de formar géis firmes e estáveis são desejáveis na produção de biscoitos, pois influenciam tanto a textura quanto a aceitação sensorial.

A F1, composta em maior proporção por amido de milho, pode ter apresentado menor desempenho sensorial nesse atributo devido à menor firmeza de gel e à estrutura menos coesa, o que pode ter contribuído para uma textura mais arenosa ou quebradiça. Já a F3, com 100% de amido de batata-doce *Beauregard*, embora tenha bom desempenho tecnológico, pode ter formado uma matriz mais compacta, o que pode ter reduzido ligeiramente a percepção de crocância pelos avaliadores.

Dessa forma, a formulação F2 se destacou como a mais bem avaliada em todos os atributos sensoriais, evidenciando-se como a mais equilibrada em termos tecnológicos e de aceitação. Para cor, a combinação de ingredientes e o menor teor de umidade favoreceram uma coloração mais uniforme e atrativa. No odor, a presença do amido da batata-doce *Beauregard* contribuiu para a retenção de compostos voláteis agradáveis, intensificando a percepção aromática. Quanto à aparência, a F2 apresentou biscoitos mais regulares e visualmente homogêneos, fator valorizado pelos avaliadores. Em sabor, a proporção equilibrada entre os amidos suavizou notas residuais, resultando em uma formulação mais agradável ao paladar. Por fim, a textura apresentou crocância e firmeza ideais, favorecidas pelas propriedades funcionais do

amido da batata-doce, que contribuíram para a estabilidade estrutural dos biscoitos. Esses resultados reforçam o potencial do amido da cultivar *Beauregard* como ingrediente funcional em produtos panificados.

Apesar de todos os resultados promissores quanto ao desempenho tecnológico e sensorial do amido extraído da batata-doce de polpa alaranjada da cultivar *Beauregard* obtidos nesta pesquisa, há algumas limitações devem ser consideradas. A pesquisa foi conduzida com amostras oriundas de uma única safra agrícola e região produtora (Sapé – PB), o que restringe a generalização dos dados frente à possível variabilidade entre safras e condições edafoclimáticas. Essa limitação é particularmente relevante para o amido de batata-doce, cuja composição físico-química pode ser significativamente influenciada por fatores ambientais, estágio de colheita e práticas agrícolas, impactando diretamente nas suas propriedades funcionais.

Outro aspecto a ser destacado refere-se à escala experimental adotada na produção dos biscoitos. Embora o estudo tenha demonstrado a viabilidade do uso do amido *Beauregard* em substituição ao amido de milho, os testes foram realizados em condições de bancada, não contemplando os desafios inerentes à escala industrial, como controle rigoroso de umidade, padronização do tempo de mistura e assamento, rendimento por lote e custo de produção. Portanto, estudos futuros devem contemplar a reprodutibilidade em larga escala, bem como análises econômicas e de vida útil dos produtos formulados.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa demonstrou, de forma ampla e integrada, o potencial tecnológico e funcional do amido extraído da batata-doce de polpa alaranjada cultivar *Beauregard*. As análises realizadas permitiram compreender as propriedades do amido nativo sob diferentes aspectos — físico-químico, morfológico, térmico, funcional, digestivo e tecnológico — além de sua aplicabilidade prática na elaboração de produtos alimentícios seguros e sensorialmente aceitos.

Inicialmente, as análises físico-químicas e estruturais caracterizaram o amido como um biopolímero com alto teor de amilopectina, granulação oval e média de tamanho intermediário, baixa umidade, alta pureza (baixo teor de cinzas) e boa solubilidade em água e leite. Os resultados de DSC, RVA e digestibilidade *in vitro* reforçaram sua capacidade de gelatinização eficiente, boa formação de pasta e presença de amido resistente, sugerindo benefícios funcionais para a saúde intestinal.

A avaliação das propriedades sob condições de estresse (temperatura, pH, congelamento e reaquecimento) demonstrou boa estabilidade térmica, baixa sinérese e manutenção da viscosidade e firmeza dos géis, indicando que o amido apresenta resistência funcional frente a variações comuns em processos industriais. Esses atributos confirmam a viabilidade de sua aplicação em formulações que exigem estabilidade em cadeia fria ou aquecimento.

No desenvolvimento dos biscoitos, as análises físico-químicas das formulações revelaram teores nutricionais compatíveis com produtos similares, e a análise microbiológica comprovou a segurança do produto, com ausência de *Salmonella* spp. e contagens de *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* e bolores/leveduras dentro dos limites estabelecidos pela legislação da Anvisa.

A análise sensorial com 78 participantes indicou que a formulação F2, contendo proporções equilibradas de amido de milho e amido de batata-doce, foi a mais bem avaliada em todos os atributos (cor, odor, aparência, sabor e textura), confirmando a sinergia tecnológica entre os dois amidos. As diferenças sensoriais observadas entre as formulações foram sustentadas pelas características físico-químicas e tecnológicas do amido da batata-doce, especialmente sua influência sobre a textura e aparência do produto final.

Portanto, conclui-se que o amido extraído da cultivar *Beauregard* é um ingrediente funcional promissor, que pode ser utilizado como alternativa ao amido de

milho em formulações alimentícias, proporcionando produtos tecnologicamente estáveis, nutricionalmente adequados e sensorialmente aceitos. A valorização desse recurso regional também representa uma estratégia sustentável para a diversificação de matérias-primas na indústria de alimentos, com potencial de aplicação em diferentes sistemas alimentares, especialmente em produtos com apelo funcional, saudável e limpo (*clean label*).

É importante ressaltar que apesar dos resultados promissores quanto ao desempenho tecnológico e sensorial do amido extraído da batata-doce de polpa alaranjada da cultivar *Beauregard*, esta pesquisa apresenta limitações relacionadas à origem das amostras, obtidas a partir de uma única safra e região produtora (Sapé – PB/Brasil). Essa restrição pode comprometer a generalização dos dados, uma vez que a composição físico-química do amido é sensível a fatores ambientais, estágio de colheita e práticas agrícolas, os quais influenciam diretamente suas propriedades funcionais e tecnológicas. Assim, os resultados aqui obtidos estão condicionados a essas variáveis, sendo recomendada a realização de estudos futuros com amostras provenientes de diferentes safras e regiões de cultivo, a fim de confirmar a robustez dos achados. Ademais, testes em escala piloto e industrial são necessários para validar a viabilidade econômica da aplicação deste amido em processos produtivos reais.

Espera-se dar continuidade a essa linha de pesquisa, aprofundando a aplicação do amido *Beauregard* em sistemas coloidais mais complexos, como emulsões e filmes comestíveis, avaliando sua performance como estabilizante e agente texturizante sob condições de processamento industrial. Tais avanços podem ampliar significativamente as possibilidades de uso deste amido na formulação de alimentos saudáveis e funcionais.

REFERÊNCIAS

AACC – AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. ***Approved methods of the AACC***. 9. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1995.

ABAYOMI, H. T. et al. Quality Evaluation of Cookies Produced from Blends of Sweet Potato and Fermented Soybean Flour. **Inter. Sch. Scientific Research & Innovation**, v. 7, n. 7, p. 639 – 644, 2013.

ABDORREZA, M. N. et al. Physicochemical, thermal, and rheological properties of acid-hydrolyzed sago (Metroxylon sagu) starch. **LWT-Food Sci. Technol.**, v. 46, p. 135–141, 2012.

ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR ISO 6658. Análise sensorial – Metodologia – Orientações gerais. ABNT: 2014.

ACEVEDO, N. C. et al. Physicochemical characterization and functional properties of white sweet potato starch. **Contemporary Engineering Sciences**, Hikari Ltd., v. 11, n. 40, p. 1981–1991, 2018.

AČKAR, Đ. et al. Starch Modification by Organic Acids and Their Derivatives: A Review. **Molecules**, v. 20, n. 10, p. 19554-19570, 2015.

AGAMA-ACEVEDO, E. et al. Starch digestibility and glycemic index of cookies partially substituted with unripe banana flour. **LWT-Food Science and Technology**, v. 46, n. 1, p. 177-182, apr., 2012.

AGYEMANG, P. N. et al. Effect of the use of starches of three new Ghanaian cassava varieties as a thickener on the physicochemical, rheological and sensory properties of yoghurt. **Scientific African**, v. 9, 2020.

AHMED, S. et al. Genetic diversity of potato genotypes estimated by starch physicochemical properties and microsatellite markers. **Food Chemistry**, v. 257, p. 368-375, 2018.

AINA, A. J. et al. Physicochemical properties of Caribbean sweet potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam) starches, **Food Bioprocess Technol.** v. 5, p. 576–583, 2012.

ALCÁZAR-ALAY, S. C.; MEIRELES, M. A. A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources, **Food Sci. Technol** (Campinas) 35 (2) • June 2015.

ALP, D.; BULANTEKIN, Ö. The microbiological quality of various foods dried by applying different drying methods: a review. **Eur Food Res Technol.** v. 247, p. 1333–1343, 2021.

ALVANI, K. et al. Physico-chemical properties of potato starches. **Food Chemistry**, v. 125, p. 958-965, 2011.

ALVES, F.R; et al. Binômio desnutrição e pobreza: uma meta a ser vencida pelos países em desenvolvimento. **Rev Baiana Saúde Pública**. v. 35, n. 3, p. 744-757, 2011.

ANDERSON, R.A.; CONWAY, V.F.P.; GRIFFIN, E.L. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, n. 1, p. 4-7, 1969.

ARES, G.; et al. Application of a check-all-that-apply questions to the development of chocolate milk desserts. **Journal of Sensory Studies**, v. 25, p. 67-86, 2010.

ARIFFIN, S. H.; SHAH, N. N. A. K.; YUSOF, Y. A. Characterization of Anthocyanin Associated Purple Sweet Potato Starch and Peel-Based pH Indicator Films. **Foods**, v. 10, n. 9, p. 2005, 2021.

ASHWAR, B. A.; et al. Production of resistant starch from rice by dual autoclavingretrogradation treatment: In vitro digestibility, thermal and structural characterization. **Food Hydrocolloids**, v. 56, p. 108-117, 2016.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS INTERNATIONAL **AOAC - International**: Official methods of analysis of AOAC International. 18th edition Gaithersburg. Current Through Revision 2, 2007.

BARBOSA, J. V. et al. Effect of peroxide oxidation on the expansion of potato starch foam. **Industrial Crops and Products**, v. 137, n. May, p. 428–435, 2019.

BARRETTI, B. R.; et al. Combination of organic acids and heat-moisture treatment on the normal and waxy corn starch: thermal, structural, pasting properties, and digestibility investigation. **Food Science and Technology**, 2020.

BATISTA, R. D. et al. Physicochemical, functional and rheological properties of fermented and non-fermented starch from canary seed. *Food Hydrocolloids*, v. 99, p. 105346, 2020.

BEMILLER, J. N. Starches: molecular and granular structures and properties. *Carbohydrate chemistry for food scientists*, v. 3, p. 159-189, 2019.

BERMUDEZ, J. J. H. **Valorización de las Amiláceas “No-Cereales” Cultivadas en los Países Andinos: Estudio de las Propiedades Fisicoquímicas y Funcionales de sus Almidones y de la Resistencia a Diferentes Tratamientos Estresantes**. Dissertação de Graduação, Facultad de Ingeniería de Alimentos, Universidad de Bogotá, Colombia, 150p, 1997.

BERNI, P.; et al. Comparison of content and *in vitro* bio accessibility of provitamin A carotenoids in home cooked and commercially processed orange fleshed sweet potato (*Ipomea batatas* Lam). **Plant Foods Hum Nutr**, v. 70, p. 1–8, 2015.

BIOFORT. (2020). On line. Disponível em: <http://biofort.com.br/>. Acesso em: 29 set. 2022.

BOUIS, H. E.; SALTZMAN, A. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. **Global Food Security**, v. 12, p. 49-58. Mar. 2017.

BRASIL, Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos** (4th ed., Volume 1, p.1020). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 161, de 1º de julho de 2022. **Estabelece os padrões microbiológicos de segurança sanitária para alimentos**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ed. 126, p. 97, 5 jul. 2022.

CARR, L. G. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável tipo espuma a partir de fécula de mandioca**. 2007. 107 p. Tese (Doutorado em Engenharia química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

CEOLIN, J.; PINHEIRO, T. L. F. Sensibilidade gustativa em idosos: uma revisão narrativa. **Pajar**, v. 5, n. 2, p. 78-84, 2017.

CEREDA, M. P. et al. Biotecnologia industrial. *In*: **Modificação de fécula por fermentação**. São Paulo: Edgard Blücher. 2001. p. 413-460, 2001.

CHAKRABORTY, I. et al. Effect of Storage Time and Temperature on Digestibility, Thermal, and Rheological Properties of Retrograded Rice. **Gels**. v. 9, p. 142, 2023.

CHAMBERS, E.; WOLF, M. B. **Sensory Testing Methods**. 2 ed. Lancaster, 1996.

CHAVES, J. B. P. **Análise sensorial: histórico e desenvolvimento**. Viçosa: Editora UFV, p. 31. 1998.

CHEMAT, F. et al. Ultrasound Assisted Extraction of Food and Natural Products. Mechanisms, Techniques, Combinations, Protocols and Applications. A Review. **Ultrasonics Sonochemistry**, n.34, p.540–60, 2017.

CHEN, L. et al. Effect of high pressure microfluidization on the morphology, structure and rheology of sweet potato starch. **Food Hydrocolloids**, v. 115, p. 106606, 2021.

CHEN, P. et al. The impacts of amylose and amylopectin on the thermal and retrogradation properties of starches during storage. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p. 650-655, 2017.

CHENG LI, C. et al. Influence of Storage Temperature on Starch Retrogradation and Digestion of Chinese Steamed Bread. **Foods**. v.13, p. 517, 2024.

CHIANG, Y.-C. et al. Effects of Roasting Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L. Lam.): Quality, Volatile Compound Composition, and Sensory Evaluation. **Foods**, v. 10, n. 11, p. 2602, 2021.

CIP - INTERNATIONAL POTATO CENTER. **Sweetpotato facts and figures**. Lima, 2018. Disponível em: <https://cipotato.org/crops/sweetpotato/sweetpotato-facts-and-figures/>. Acesso em: 13 set. 2022.

COLLADO, L. S. et al. Genetic variation in the physical properties of sweet potato starch. **Journal of Agriculture, Food and Chemistry**, v. 47, p. 4195-4201, 2019.

COLLADO, L.S.; MABESA, R.C.; CORKE, H. Genetic variation in the physical properties and environmental factors, **Starch**, v. 48, p. 167–171, 1996.

COLUSSI, R.; et al. Microstructural characteristics and gastro-small intestinal digestion in vitro of potato starch: Effects of refrigerated storage and reheating in microwave. **Food Chemistry**, v. 226, p. 171–178, 2017.

COMPART, J.; SINGH, A.; FETTKE, J.; APRIYANTO, A. Customizing Starch Properties: A Review of Starch Modifications and Their Applications. **Polymers**, v. 15, n. 16, p. 3491, 2023.

CONTO, L. C. **Extração, caracterização e modificação química por oxidação de amido de pinhão (*Araucaria angustifolia*)**. 2009. 132 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

COOKE, D.; GIDLEY, M. J. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: origin of the enthalpic transition. **Carbohydrate Research**, v. 227, p. 103-112, 1992.

COPELAND, L.; BLAZEK, J.; SALMAN, H.; TANG, M. C. Form and functionality of starch, **Food Hydrocoll.** v. 23, p. 1527–1534, 2009.

COZZOLINO, D., S. ROUMELIOTIS; EGLINTON, J. Relationships between starch pasting properties, free fatty acids and amylose content in barley. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 444–449, nov, 2013.

CRUZ, A. G.; et al. Implication of Sensory Evaluation and Quality Assessment in Food Product Development: A Review. **Food and Nutrition Journal**, 2022.

CRUZ, G.; RIBOTTA, P.; FERRERO, C.; ITURRIAGA, L. Physicochemical and rheological characterization of Andean tuber starches: Potato (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigenum*), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and Papalisa (*Ullucus tuberosus* Caldas). **Starch-Stärke**, v. 68, p. 1084-1094, 2016.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Fennema's Food Chemistry**. 4a. ed. London, New York: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2008.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p.945954, 2009.

DEREJE, B. Composition, morphology and physicochemical properties of starches derived from indigenous Ethiopian tuber crops: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 187, p. 911–921, 2021.

DIYANA, Z. N. et al. Physical properties of thermoplastic starch derived from natural resources and its blends: A review. **Polymers**, v. 13, n. 9, p. 5–20, 2021.

DONMEZ, D. et al. Characterization of starch–water interactions and their effects on two key functional properties: starch gelatinization and retrogradation, **Current Opinion in Food Science**, v. 39, p. 103-109, 2021.

DORANTES-FUERTES, M.-G. et al. Starch Extraction Methods in Tubers and Roots: A Systematic Review. **Agronomy**, v. 14, p. 865, 2024.

DUDU, O. E.; OYEDEJI, A. B.; OYEYINKA, S. A.; MA, Y. Impact of steam-heatmoisture treatment on structural and functional properties of cassava flour and starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 126, p. 1056–1064, 2019.

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. 3. ed. Curitiba, PR: Champagnat, 2011.

ELIASSON, A.C.; GUDMUNDSSON, M. Starch: Physico-chemical properties and applications. In A.-C. Eliasson (Ed.), **Carbohydrates in Food** (2nd ed., p. 441–504). CRC Press., 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**: p. 1-627. EMBRAPA, Brasília, 2009.

EMBRAPA **Batata-doce Beauregard**. Brasília: EMBRAPA-CNPq, 2010. Versão Eletrônica. Disponível <<https://www.embrapa.br/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/602/batata-doce---beauregard> > 2010.

EMBRAPA. **Biofortificação Batata-doce Beauregard**. Brasília-DF, 2014.

EMBRAPA. **Sistema de Produção de Batata Doce**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/batata-doce/cultivares>. Acessado em: 20 de outubro/2022.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, n. 2, S33-S50, 1992.

FALUA, K.J. et al. Valorization of Starch to Biobased Materials: A Review. **Polymers (Basel)**. v. 30, p. 14, 2022.

FAOSTAT (2021). Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#dataQC/visualize>. Acessado em: 20 de outubro/2022.

FERNANDES, A. M.; LEONEL, S.; NUNES, J. G. S. Seasonal Variations in the Starch Properties of Sweet Potato Cultivars. **Horticulturae**, v. 9, n. 3, p. 303, 2023.

FERNANDES, A. M.; LEONEL, S.; YUSOF, Y. A. Physicochemical, Nutritional, and Antioxidant Properties in Seven Sweet Potato Flours. **Frontiers in Food Science**, 2023.

FIORENTINI, M.; KINCHLA, A. J.; NOLDEN, A. A. Role of Sensory Evaluation in Consumer Acceptance of Plant-Based Meat Analogs and Meat Extenders: A Scoping Review. **Foods**, v. 9, n. 9, p. 1334, 2020.

FRANCO, C. M. L. et al. Metodologia de análise se amido. *In*: Propriedades gerais do amido. **Fundação Cargill**, p.184-203, 2002.

FUENTES, C. et al. Characterization of molecular properties of wheat starch from three different types of breads using asymmetric flow field-flow fractionation (AF4). **Food Chemistry**, [s. l.], v. 298, 2019.

GAO, Y. et al. Potassium Fertilization Stimulates Sucrose-to-Starch Conversion and Root Formation in Sweet Potato. **MDPI**, 2021.

GARCIA, E. L. et al. Batata cv Pirassu como matéria prima industrial. **Revista Energia na Agricultura**, v. 29, n. 3, p. 220-227, 2014.

GARCIA, E. L. **Composição dos tubérculos, extração e caracterização de amidos de diferentes cultivares de batata**. tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”, 2013.

GARCÍA-MARTÍNEZ, R. M.; RODILES-LÓPEZ, J. O.; MARTÍNEZ-FLORES, H. E. Nutritional value and antioxidant capacity of Mexican varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) and physicochemical and sensory properties of extrudates. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 74, n. 4, p. 331–340, 2024.

GIRI, N. A.; SAKHALE, B. K. Effects of incorporation of orange-fleshed sweet potato flour on physicochemical, nutritional, functional, microbial, and sensory characteristics of gluten-free cookies. **J Food Process Preserv.** v. 45, p. 15324, 2021.

GONÇALVES, E. C. B. de A. **Análise de Alimentos: uma visão química da nutrição**. 2ed. São Paulo: Varela, 274 p., 2010.

GUERREIRO, L. M. R. **Avaliação de amidos nativos em condições de estresse adaptados ao processamento de alimentos**. 181p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônômicas. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2002.

GUO, K. E. et al. Structural and functional properties of starches from root tubers of white, yellow, and purple sweet potatoes. **Food Hydrocolloids**. v. 89, p. 829-836, 2019.

GYÖRGY, É.; LASLO, É. Microbiological Quality Assessment of Some Commercially Available Breads. **Foods** v. 13, p. 3271, 2024.

HOOD, L. F.; SEIFRIED, A. S.; MEYER, R. Microstructure of modified tapioca starch-milk gels. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 39, p. 117-120, 1974.

HOOVER, R. Compositions, molecular structure, and physiochemical properties of tuber and root starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, n. 3, p. 253–267, July, 2001.

HOOVER, R. The impact of amylopectin structure on starch physiochemical properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, n. 3, p. 259-267, 2010.

HUANG, J. et al. Comparison of physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources, **Int. J. Biol. Macromol.** v. 78, p. 165–172, 2015.

HUNG, P. V.; VIEN, N. L.; PHI, N. T. L. Resistant starch improvement of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatments. **Food Chemistry**, v. 191, p. 67-73, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018: Análise do Consumo Alimentar Pessoal no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 set. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>> Acesso em: 26 set. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de recuperação automática. 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 13 set. 2022.

JEMZIYA, F.; MAHENDRAN, T. Quality characteristics and sensory evaluation of cookies produced from composite blends of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) flour. **Journal of Food and Agriculture**, v. 1. p. 23, 2015.

JIMÉNEZ, A. et al. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2058–2076, ago, 2012.

JOSÉ, A.E. **Compostos fenólicos e atividade antibacteriana em acessos de *Ipomoea batatas* (L.) Lam (batata-doce).** Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil. 2021.

KÄRENLAMPI, S. O.; WHITE, P. J. Potato proteins, lipids and minerals. In **Advances in Potato Chemistry and Technology**, p. 99-126, 2009.

KAUR, M.; SINGH, N. Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. **Food Chemistry**, v. 91, p. 403-411, 2005.

KAUR, M.; SINGH, N.; SANDHU, K. S.; KUMAR, N. Impact of starch modifications on the solubility and physicochemical properties of sweet potato starches. **Starch/Stärke**, v. 74, n. 3-4, p. 2100019, 2022.

KAUR, M.; SINGH, S. Influence of heat-moisture treatment on physicochemical properties of starches. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 122, p. 312-319, 2021.

KHAN, B. et al. Thermoplastic starch: A possible biodegradable food packaging material: A review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 3, p. 12-447, july, 2016.

KIM, M.; KIM, J.; PARK, M.; YOO, J. The roles of sensory perceptions and mental imagery in consumer decision-making. **Journal Of Retailing And Consumer Services**, [S.L.], v. 61, p. 102517, jul. 2021.

KOU, T.; SONG, J.; LIU, M.; FANG, G. Effect of Amylose and Crystallinity Pattern on the Gelatinization Behavior of Cross-Linked Starches. **Polymers**, v. 14, n. 14, p. 2870, 2022.

KWAKYE, A. O.; FUKADA, K.; ISHII, T.; OGAWA, M. Impact of Rare Sugar D-Allulose on Hardening of Starch Gels during Refrigerated Storage. **Foods**, v. 13, p. 2183, 2024.

LACERDA, L. G. et al. The effects of heatmoisture treatment on avocado starch granules. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 120, p. 387–393, 2015.

LAN, H. et al. Impact of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of normal, waxy and high amylose bread wheat starches. **Food Chemistry**, v. 111, p. 663-675, 2008.

LAURIE, S. M. et al. Analysis of the Nutritional Composition and Drought Tolerance Traits of Sweet Potato: Selection Criteria for Breeding Lines. **MDPI Plants**, v. 11(14), p. 1804, 2022.

LEE, B. H.; LEE, Y. T. Physicochemical and structural properties of different colored sweet potato starches, **Starch-Stärke**, v. 69, p. 1-9, 2017.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Extração e caracterização do amido de Biri (*Canna edulis*). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 5, p. 27-32, 2002.

LEONEL, S. et al. Seasonal Variations in the Starch Properties of Sweet Potato Cultivars. **Horticulturae**, v. 9, n. 3, p. 303, 2023.

LESZCZYŃSKI, W. Resistant starch – classification, structure, production. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 13, n. 54, p. 37-50, 2004.

LI, C. et al. Influence of Storage Temperature on Starch Retrogradation and Digestion of Chinese Steamed Bread. **Foods**, v. 13, p. 517, 2024.

LI, Y. et al. Components, Crystalline Structure, and Thermal Properties of Starches from Sweet Potato Varieties Originating from Different Countries. **Molecules**, v. 27, p. 1905, 2022.

LI, Z.; WEI, C. Morphology, structure, properties and applications of starch ghost: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 163, p. 2084–2096, nov, 2020.

LIBERAL, Â. et al. Fighting Iron-Deficiency Anemia: Innovations in Food Fortificants and Biofortification Strategies. **MDPI Foods**, 2020.

LIMBERGER, V. M. et al. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, v. 31, n. 1, p. 84-88, 2008.

LIN, C. L.; LIN, J. H.; CHANG, Y. H. Properties of High-Swelling Native Starch Treated by Heat–Moisture Treatment with Different Holding Times and Iterations. **Molecules**, v. 25, n. 23, p. 5528, 2020.

LIN, H.-T.V.; TSAI, J.-S.; LIAO, H.-H.; SUNG, W.-C. The Effect of Hydrocolloids on Penetration Tests and Syneresis of Binary Gum Gels and Modified Corn Starch–Gum Gels. **Gels**, v. 9, p. 605, 2023.

LIU, C.; LUO, Z.; WU, Y.; ZHANG, Y.; ZHOU, Y. Effects of thermal and high-pressure treatments on the physicochemical and structural properties of sweet potato starch. **Food Hydrocolloids**, v. 108, p. 105953, 2020.

LLOYD, J. R.; KOSSMANN, J. Starch trek: The search for yield. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1–8, jan, 2019.

LOU, W. et al. Rheological, pasting and sensory properties of biscuits supplemented with grape pomace powder. **Food Sci. Technol**, v.42, 2022.

LOW, J.W.; THIELE, G. Understanding innovation: the development and scaling of orange-fleshed sweetpotato in major African food systems. **Agricultural Systems**, v. 179, p. 102770, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102770>. Acesso em: 22 set. 2024.

LUBIS, M. et al. Utilization starch of jackfruit seed (*Artocarpus heterophyllus*) as raw material for bioplastics manufacturing using sorbitol as plasticizer and chitosan as filler. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 801, p. 012014, jan. 2017.

LUQUE-VILCA, O.M. et al. Structural, Thermal, Rheological, and Morphological Characterization of the Starches of Sweet and Bitter Native Potatoes Grown in the Andean Region. **Polymers** v. 15, p. 4417, 2023.

LYU, R. et al. Engineering Properties of Sweet Potato Starch for Industrial Applications by Biotechnological Techniques including Genome Editing. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 17, p. 9533, 2021.

MA, M.; WANG, Y.; WANG, M.; JANE, J.; DU, S. Physicochemical properties and in vitro digestibility of legume starches. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 249-255, 2017.

MADRIGAL, L.; SANDOVAL, A. J.; MÜLLER, A. J. Effects of corn oil on glass transition temperatures of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 85, n. 4, p. 875–884, july, 2011.

MAJZOOBI, M.; FARAHNAKY, A. Effect of acetic acid on physical properties of pregelatinized wheat and corn starch gels. **Food Chem.**, v. 196, p. 720–725, 2016.

MAJZOOBI, M.; FARAHNAKY, A. Granular cold-water swelling starch; properties, preparation and applications, a review. **Food Hydrocolloids**, v. 111, fev, 2021.

MAKROO, H. A. et al. Recovery and characteristics of starches from unconventional sources and their potential applications: A review. **Applied Food Research**, v. 1, n. 1, p. 100001, 2021.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: Produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137–156, abr, 2010.

MANIGLIA, B. C.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R. Isolation and characterization of starch from babassu mesocarp. **Food Hydrocolloids**, v. 55, p. 47–55, 2016.

MARCON, M. J. A.; AVANCINI, S. R. P.; AMANTE, E. R. **Propriedades químicas e tecnológicas do amido de mandioca e do polvilho azedo**. 1. ed. Florianópolis: [s. n.], 2007.

MARTINEZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz**: guia de estudio para ser usada como complemento de la unidad auditorial sobre el mismo tema, p. 1-73. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali. 1989.

MARTÍNEZ-CASTELLANOS, G.; MELÉNDEZ-ARMENTA, R. A.; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, H. E. Starch Extraction Methods in Tubers and Roots: A Systematic Review. **Agronomy**, v. 14, n. 4, p. 865, 2024.

MARTINS, A. et al. Ultrasonic modification of purple taro starch (*Colocasia esculenta* B. Tini): structural, psychochemical and thermal properties. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, p. 1-10, 2020.

MARTINS, S. I. F. S.; JONGEN, W. M. F.; VAN BOEKEL, M. A. J. S. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. **Trends in Food Science & Technology**, v. 11, n. 9–10, p. 364–373, 2001.

MCGEE, H. **Comida e Cozinha: Ciência e Cultura da Culinária**. 2. ed. São Paulo: pp. 922, 2014.

Mibach, M. et al. Sweet Potato Flour as a Replacement for Ground Corn as an Energetic Concentrate. **Ciência Rural**, v.51, p. 10, 2021.

MIHNEA, M. et al. Impact of panelist's age on the ease of swallow and sensory perception of texture-modified broccoli purees. **J Sens Stud**. v. 37, p. 12781, 2022.

MOORTHY, S. N. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 54, n. 12, p. 559–592, 2002.

MORAES, M. A. C. **Métodos para a avaliação sensorial dos alimentos**. (7ª Ed.) Campinas: Unicamp, 93p., 1988.

MOUNIR, S. et al. Starch: Properties and Functionality. In book: Starch: Structure, Properties, and Modifications for Food Applications. **Carbohydrates in Food**. 1nd ed., p.1-46, CRC Press., 2024.

MUCCILLO, R. C. S. T. **Caracterização e avaliação de amido nativo e modificado de pinhão mediante provas funcionais e térmicas**. 2009. 156 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2009.

MUFARI, J. R.; MIRANDA-VILLA, P. P.; CALANDRI, E. L. Quinoa germ and starch separation by wet milling, performance and characterization of the fractions. **Lwt**, [s. l.], v. 96, p. 527–534, apr, 2018.

MUNÕZ, A. M. **Análisis sensorial em elcontrol de calidad**, In: Avances em análise sensorial/ Avances en análisis sensorial. São Paulo: Varela, p. 89-110. 1999.

MUSHOLLINI; AFIFAH, S.; RATNAWATI, R. Cookies of purple sweet potato and tempeh flour as functional foods: nutritional value and sensory acceptability. **Food Research**, v. 8, supl. 2, p. 50-54, 2024.

NASCIMENTO, G. L. do et al. Caracterização química e informação nutricional de fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) orgânica e biofortificada. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1024–1035, 2013.

NATH, P. C. et al. A Comprehensive Review of Food Hydrogels: Principles, Formation Mechanisms, Microstructure, and Its Applications. **Gels**, v. 9, p. 1, 2023.

NESTEL, P.; BOUIS, H. E; MEENAKSHI, J. V.; PEIFFER, W. Biofortification of Staple Food Crops. **The Journal of Nutrition**, v. 136, n. 4, p. 1064–1067, Apr. 2006.

NODA, S. T. et al. Properties of starches from potato varieties grown in Hokkaido, J. Appl. **Glycosci**. v. 51, p. 241–266, 2004.

NUTTI, M. R. A história dos Projetos HarvestPlus, AgroSalud e BioFORT no Brasil. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina. **Palestras e resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.

NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. de; RODRIGUES, P. S. M. O progresso das ações de biofortificação no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 42, n. 2, p. 24-27, maio/ago, 2017.

NWANKWO, C. S. et al. Recent Developments in the Hybridization of the Freeze-Drying Technique in Food Dehydration: A Review on Chemical and Sensory Qualities. **Foods**, v. 12, n. 18, p. 3437, 2023.

OKEZIE, B.O.; BELLO, A.E. Physicochemical and functional properties of winged bean flour and isolate compared with soy isolate. **Journal of Food Sciences**. v. 53, n. 2, p.450-455, 1988.

OLIVARES, A. R. et al. Potential of castor bean (*Ricinus communis* L.) for phytoremediation of mine tailings and oil production. **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 316–323, 2013.

OLIVEIRA, A. R. et al. Isolation and characterization of yam (*Dioscorea alata* L.) starch from Brazil. **LWT**, v. 149, n. May, 2021.

OLIVEIRA, C. S. et al. Effect of ball milling on thermal, morphological and structural properties of starches from *Zingiber officinale* and *Dioscorea* sp. **Carpathian Journal of Food Science & Technology**, v. 10, n. 4, p. 90-103, 2018.

OLIVEIRA, C. S. et al. Heat-moisture treatment (HMT) on blends from potato starch (PS) and sweet potato starch (SPS). **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 133, p. 1491–1498, 2018.

PENG, G et al. Modeling of water sorption isotherm for corn starch. **Journal of Food Engineering**. v. 80, n. 2, p. 562-567, may, 2007.

PEREIRA, J. F. et al. Biodegradable films produced from blends of native starches: Impact of amylose content on their performance. **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 1, p. 21-29, 2013.

PILON, L. et al. Quality characterization, phenolic and carotenoid content of new orange, cream and yellow-fleshed sweetpotato genotypes. **Horticultura Brasileira**, v. 39, p. 299-304, 2021.

PIRES, C. A. **Ensino, Pesquisa e Extensão em Engenharia de Alimentos**. 1 Ed. E-book. Recife: Even3 Publicações, 2021.

PIRES, M. B. et al. Impact of extraction methods and genotypes on the properties of starch from peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) fruits. **LWT**, v. 150, p. 111983, 2021.

PREEDY, R. R.; WATSON, R. R.; PATEL, V. B. Flour and breads and their fortification in health and disease prevention. London; Burlington; San Diego: Academic Press; **Elsevier**. chap. n.28, p. 301-311. 2011.

PRZETACZEK-ROZNOWSKA, I. Physicochemical properties of starches isolated from pumpkin compared with potato and corn starches. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 101, p. 536-542, 2017.

PYCIA, K.; Physicochemical properties of starches obtained from polish potato cultivars. **Starch-Starke**, v. 64, p. 105-114, 2012.

QIN, Y. et al. Characterization of starch nanoparticles prepared by nanoprecipitation: Influence of amylose content and starch type. **Industrial Crops & Products**, v. 87, p. 182–190, 2016.

QUIROGA, A. L. B. Amidos. **Food ingredients Brasil**, v. n. 35, p. 31–56, 2015.

RAMÍREZ, M. G. L. **Desenvolvimento de biocompósitos de amido termoplástico reforçados por fibra de coco verde**. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba., 2011.

RASHWAN, A. K. et al. Plant starch extraction, modification, and green applications: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 22, p. 2483–2530, 2024.

REMYA, R.; JYOTHI, A. N.; SREEKUMAR, J. Morphological, structural and digestibility properties of RS4 enriched octenyl succinylated sweet potato, banana and lentil starches. **Food Hydrocolloids**. v. 82, 2018.

REN, X.; et al. In vitro starch digestibility and in vivo glycemic response of foxtail millet and its products. **Food & Function**, v. 1, n. 7, p. 372-379, 2016.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Advances in food carotenoid research: contribution of a Brazilian laboratory. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 63, n. 2, p.129-38, 2004.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. Carotenoids of sweet potato, cassava, and maize and their use in bread and flour fortification. In:

ROGERS, L. Introduction and History of Sensory Discrimination Testing. **Discrimination Testing in Sensory Science**, p. 3-30, 2017.

SÁNCHEZ, C.; SANTOS, M.; VASILENKO, P.R. Batata-doce branca, roxa ou alaranjada? Avaliação qualitativa e nutricional. **Vida Rural**, v. 1847, p. 30–32, 2019.

SARMENTO, S. B. S. **Caracterização da fécula de mandioca (Manihot esculenta C.) no período de colheita de cultivares de uso industrial**. São Paulo, 162p. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) Universidade de São Paulo, 1997.

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.

SCHOCH, J. T. Swelling power and solubility of granular starches. In: WHISTLER, L. R., SMITH, J. R., BEMILLER, N. J. (Eds.). **Methods in Carbohydrate Chemistry**. London: Academic Press, p. 106-113, 1964.

SEBIO, L. **Desenvolvimento de plástico biodegradável a base de amido de milho e gelatina pelo processo de extrusão: Avaliação das propriedades mecânicas, térmicas e de barreira**. 182p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SENGEV, I.; GERNAH, D.; BUNDE-TSEGBA, M.C. Physical, chemical and sensory properties of cookies produced from sweet potato and mango mesocarp flours. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**. v. 15, p. 10428-10442, 2015.

SEUNG, D. Amylose in starch: towards an understanding of biosynthesis, structure and function. **New Phytologist**, [s. l.], v. 228, n. 5, p. 1490–1504, 2020.

SHEORAN, S. et al. Current Status and Potential of Biofortification to Enhance Crop Nutritional Quality: An Overview. **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3301, 2022.

SHUKRI, A. M.; CHENG, L. H. The Properties of Different Starches under the Influence of Glucono-Delta-Lactone at Different Concentrations. **Foods**. v. 12, p. 1770, 2023.

SILVA, E. A. et al. Batata-doce de polpa roxa: produção de amido e aproveitamento da água residual. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 61, n. 4, 969–987, 2024.

SILVA, E. A. et al. Batata-doce de polpa roxa: produção de amido e aproveitamento da água residual. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 61, n. 4, 969–987, 2024.

SILVA, Érica Mello da. **Estudo de propriedades funcionais do amido da batata (*Solanum tuberosum*) nativo e modificado por succinilação**. (Monografia) Graduação em Farmácia Generalista. Faculdade de Educação e Meio Ambiente (FAEMA), Ariquemes, 2013.

SILVA, L. R. et al. Extraction and characterization of starches from pigmented rice. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 156, n. 1, p 485 – 493, aug, 2020.

SIMSEK, S.; EL, S. N. Production of resistant starch from taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) corm and determination of its effects on health by in vitro methods. **Carbohydrate Polymers**, v. 90, n. 3, p. 1204-1209, 2012.

SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources, **Food Chem**. v. 81, p. 219–231, 2003.

SINGH, N. et al. Structural, thermal and viscoelastic properties of potato starches. **Food Hydrocolloids**, v. 22, p. 979-988, 2008.

SINGH, S. et al. Effect of incorporating sweet potato flour to wheat flour on the quality of cookies. **African Journal of Food Science**. v. 2, p. 065-072, 2008.

SINGH, S.; RIAR, C. S.; SAXENA, D. C. Textural and sensory properties of cookies with sweetpotato flour. **International Scholars Journals – African Journal of Food Science**, v. 11, n. 7, p. 230–235, 2017.

SJÖÖ, M.; NILSSON, L. **Starch in Food: Structure, Function and Applications**. 2. nd. Royston: Woodhead Publishing, p. 916, 2017.

SOHANY, M. et al. Characterization of Anthocyanin Associated Purple Sweet Potato Starch and Peel-Based pH Indicator Films. **Foods** 2021.

SONG, H. G., CHOI, I., LEE, J. S., CHUNG, M. N., YOON, C. S., HAN, J. Comparative study on physicochemical properties of starch films prepared from five sweet potato (*Ipomoea batatas*) cultivars. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 189, p. 758-767, 2021.

SOYKEABKAEW, N.; THANOMSILP, C.; SUWANTONG, O. A review: Starch-based composite foams. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 78, p. 246–263, nov, 2015.

SRIPRABLOM, Jirattitikan et al. *Physicochemical, Rheological, In-Vitro Digestibility, and Emulsifying Properties of Starch Extracted from Pineapple Stem Agricultural Waste*. **Foods**, v. 12, n. 10, p. 2028, 2023.

STOFFEL, F. **Desenvolvimento de espumas à base de amido de mandioca**. 2015. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) - Centro De Ciências Exatas e Tecnologia Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2015.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Affective testing In Sensory evaluation practices** (2^a Ed.). New York: Academic Press, 1993.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices** – 3 ed. Food Science and technology. International series, 2004.

SUNARYO, N. A. et al. Proximate Analysis and Organoleptic Properties of Purple Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Cookies. **BIO Web Conf.**, v. 117, p. 01027, 2024.

SWARTZENTRUBER A. et al. Microbiological Quality of Biscuit Dough, Snack Cakes and Soy Protein Meat Extender. **J Food Prot.** v. 47, p. 467-470. 1984.

SWARTZENTRUBER A. et al. Microbiological Quality of Biscuit Dough, Snack Cakes and Soy Protein Meat Extender. **J Food Prot.** v. 47, p. 467-470. 1984.

TANG, X. et al. Syneresis rate, water distribution, and microstructure of wheat starch gel during freeze-thaw process: Role of a high molecular weight dextran produced by *Weissella confusa* QS 813 from traditional sourdough. **Cereal Chemistry**. v. 95, p. 117-129, 2018.

TEIXEIRA, E. M. **Utilização de amido de mandioca na preparação de novos materiais termoplásticos**. 2007. 201 p. Tese (Doutorado Ciência Físico-química) – Instituto de Química São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

TEIXEIRA, E; MEINERT, E. M.; BARBETTA, P. A. **Métodos sensoriais. In: Análise sensorial de alimentos.** Florianópolis, Editora da UFSC, p. 66-119, 1987.

TESSEMA, A.; ADMASSU, H. Extraction and characterization of starch from anchote (*Coccinia abyssinica*): physico-chemical, functional, morphological and crystalline properties. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 3096–3110, 2021.

THOMAZ, L. et al. Effects of dual 94 modification on thermal, structural and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta* L.) starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 139, n. 5, p. 3123-3132, 2020.

TONG, C. et al. Fine structure and gelatinization and pasting properties relationships among starches from pigmented potatoes, **Food Hydrocolloids**. v. 83, p. 45-52, 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ). **Estudo Nacional de Alimentação e Nutrição Infantil (ENANI-2019): Resultados Preliminares – Biomarcadores do estado de micronutrientes em crianças de 6 a 59 meses.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2021. Disponível em: <https://enani.nutricao.ufrj.br/download/relatorio-3-biomacadores-do-estado-de-micronutrientes/>. Acesso em: 12 set. 2024.

VAN HUNG, P.; MY, N. T. H.; PHI, N. T. L. Impact of acid and heat–moisture treatment combination on physicochemical characteristics and resistant starch contents of sweet potato and yam starches. **Starch-Stärke**, v.66, p.1013–1021, 2014.

VARELA, Paula; ARES, Gastón. Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. **Food Research International**. Valencia, p. 893-908. jun. 2012.

VELOSO, L. S.; SILVA, P.; ARAÚJO, D. L. A. Inovação Incremental no Transporte de Produtos em Cadeia Fria - **Revista de Tecnologia**, v.10, n.2, p. 24-35, 2021.

VIEIRA, D. F. A.; MELO, R. A. C.; VENDRAME, L. P. C.; AMARO, G. B. **Estudo prospectivo sobre produção de batata-doce no Brasil, desafios e demandas.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2023. 54 p. (Documentos, 194). Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas>. Acesso em: 20 out. 2024.

VITAL, A. N. S.; MESSIA, C. M. B. Batata-doce *Beauregard*: uma revisão de literatura/ *Beauregard* sweet potato: literature review **Braz. J. of Develop.** Curitiba, v.6, n.9, p. 70178 - 70185, 2020.

VIZZOTTO, M. et al. Composição mineral em genótipos de batata-doce de polpas coloridas e adequação de consumo para grupos de risco. **Braz. J. Food Technol.** v. 21, 2018.

VIZZOTTO, M. et al. Composição mineral em genótipos de batata-doce de polpas coloridas e adequação de consumo para grupos de risco. **Braz. J. Food Technol.** v. 21, 2018.

WANG, H. Functional and physicochemical properties of flours and starches from different tuber crops, **Inter J. Biol. Macromol.** v. 148, p. 324–332, 2020.

WANG, S. et al. Physicochemical properties and digestibility of starches from different tuber crops. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 88, p. 399-405, 2016.

WANG, S. et al. Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 5, p. 568-585, 2015.

WANG, X., et al. A reliable method for predicting bioethanol yield of different varieties of sweet potato by dry matter content. **Grain & Oil Science and Technology**, 2020.

WANG, Y. C. et al. Effect of Freeze–Thaw Cycles on Physicochemical and Functional Properties of Ginger Starch. **Processes**, v. 11, p. 1828, 2023.

WANG, Y. C. et al. Evaluation of amylose content: Structural and functional properties, analytical techniques, and future prospects, **Food Chemistry: X**, v. 24, 2024.

WANI, S. A. et al. Starch Extraction Methods in Tubers and Roots: A Systematic Review. **Agronomy**, v. 14, n. 4, p. 865, 2024.

WOLDE, Y. T. et al. Physicochemical, Morphological, Thermal, and Rheological Properties of Native Starches Isolated from Four Cultivars of Anchote (*Coccinia abyssinica* (Lam.) Cogn.) Tuber. **Gels**, v. 8, n. 9, p. 591, 2022.

XU, F. et al. Starch: Properties, Processing, and Functionality in Food Systems. **Foods**, v. 10, n. 5, p. 1104, 2021.

XU, X et al. Engineering Potato Starch with a Higher Phosphate Content. **PLoS ONE**, v. 12, p. 169610, 2017.

YANG, K-M.; CHIANG, Y-C.; CHEN, M-H.; CHIANG, P-Y. Effects of Roasting Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L. Lam.): Quality, Volatile Compound Composition, and Sensory Evaluation. **Foods**, v. 10, n. 11, p. 2602, 2021.

YANG, K-M.; LEE, H-S.; KIM, J-K. Sensory Evaluation of Noodles Substituted by Sweet Potato Flour and Rice Bran. **Food and Nutrition Journal**, v. 9, p. 123-131, 2024.

YE, F., LI, J., ZHAO, G. Physicochemical properties of differentsized fractions of sweet potato starch and their contributions to the quality of sweet potato starch. **Food Hydrocolloids**, v. 108, p. 106023, 2020.

YU, L.; CHRISTIE, G. Measurement of thermal transitions using differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, v. 46, n. 2, p. 179-184, oct, 2001.

ZAVAREZE, E. R., E DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 83(2), p. 317–328, 2011.

ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment on starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 317-328, 2011.

ZENG, J.; LI, G.; GAO, H.; RU, Z. Comparison of A and B starch granules from three wheat varieties. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 16, n. 12, p. 10570-10591, 2011.

ZHAI, Y. et al. Long-Term Retrogradation Properties and In Vitro Digestibility of Waxy Rice Starch Modified with Pectin. **Foods**, v. 12, p. 3981, 2023.

ZHANG, L. et al. Characterization and Comparative Study of Starches From Seven Purple Sweet Potatoes. **Food hydrocolloids**, v. 80, p. 168-176, 2018.

ZHANG, L. Physicochemical, Nutritional, and Antioxidant Properties in Seven Sweet Potato Flours. **Front. Nutr.** v. 9, 2022.

ZHANG, Y. et al. Comparison of physicochemical and structural properties of starches from five sweet potato varieties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 103, p. 194–204, 2017.

ZHAO, S.; HUANG, Q.; ZHANG, B.; TANG, H. Impact of amylose content and granular structure on the pasting properties of sweet potato starch from different cultivars. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 2, p. 978-987, 2021.

ZHENG, X. et al. Biofortificação de carotenóides em plantas cultivadas: citius, altius. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biologia Molecular e Celular de Lipídios*, 2020.

ZHU, F. Underutilized and unconventional starches: Why should we care? **Trends in Food Science and Technology**, v. 100, n. April, p. 363–373, 2020.

ZHU, F.; LIU, H. Effect of Amylose and Crystallinity Pattern on the Gelatinization Behavior of Cross-Linked Starches. **Polymers**, 2022.

ZHU, F.; Wang, S. Structure, physicochemical properties, and uses of sweet potato starch. **Trends in Food Science & Technology**, v. 36, p. 68–78, 2014.

ZHU.Z. et al. HPLC-DAD-ESI-MS2 analytical profile of extracts obtained from purple sweet potato after green ultrasound-assisted extraction. **Food Chemistry**, n.15, p.391–400, 2017.

ZIEBA, T.; SZUMNY, A.; KAPELKO, M. Properties of retrograded and acetylated starch preparations: Part 1. Structure, susceptibility to amylase, and pasting characteristics. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 5, p. 1314–1320, june, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

O (A) Senhor (a) está sendo convidado (a) a participar da pesquisa intitulada “POTENCIAL TECNOLÓGICO E FUNCIONAL DO AMIDO DA BATATA-DOCE DE POLPA ALARANJADA CULTIVAR *BEAUREGARD*”. Este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) tem como objetivo apresentar as informações sobre o estudo e solicitar sua autorização para participação. A pesquisa tem como finalidade avaliar a aceitação sensorial de biscoitos elaborados com diferentes proporções de amido de batata-doce em substituição ao amido de milho.

Caso você aceite participar, sua contribuição consistirá em degustar três amostras de biscoitos (peso de aproximadamente 5g cada) com formulações diferentes e preencher uma ficha de avaliação sensorial, atribuindo notas para os atributos de cor, odor, aparência, sabor e textura. A atividade terá duração média de 15 a 20 minutos e será realizada em um ambiente controlado, individualmente, com fornecimento de água para neutralização do paladar entre as amostras.

Antes da participação, foi aplicado um Questionário de Recrutamento (em anexo) para verificar possíveis alergias, intolerâncias alimentares ou condições clínicas que contraindiquem o consumo das amostras. Foram excluídos da participação indivíduos que relataram alergia ou intolerância a qualquer ingrediente presente na formulação dos biscoitos.

Os riscos envolvidos são mínimos, podendo incluir apenas desconforto leve relacionado ao sabor ou textura das amostras. Não há exposição a riscos físicos ou biológicos, e nenhum dado pessoal será identificado no estudo — os participantes serão codificados por número, garantindo sigilo e confidencialidade das informações.

Embora não haja benefício direto ou financeiro, a sua participação contribuirá significativamente para o desenvolvimento científico, especialmente no campo da ciência e tecnologia de alimentos, além de possibilitar melhorias na formulação de produtos alimentícios com ingredientes regionais e funcionais.

Sua participação é inteiramente voluntária. Você poderá recusar-se a participar ou desistir a qualquer momento, sem qualquer prejuízo à sua relação com a instituição ou aos serviços que venha a receber.

Não haverá custo financeiro para você, nem compensação pela participação. Em caso de qualquer ocorrência adversa relacionada à pesquisa, você terá direito a atendimento gratuito e a medidas de proteção necessárias. A equipe responsável se compromete a prestar assistência e esclarecimentos antes, durante e após o estudo. Também solicitamos sua autorização para que os resultados da pesquisa sejam apresentados em eventos acadêmicos e publicados em revistas científicas, sempre preservando seu anonimato.

Caso você tenha dúvidas adicionais, poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável:

Eu, _____, fui esclarecido(a) sobre a pesquisa “POTENCIAL TECNOLÓGICO E FUNCIONAL DO AMIDO DA BATATA-DOCE DE POLPA ALARANJADA CULTIVAR *BEAUREGARD*” e aceito participar livremente da mesma.

Caruaru, _____ de _____ de 2025.

Assinatura do participante

Assinatura do pesquisador(a)

1ª Via - Participante / Entrevistado (a)

2ª Via – Pesquisadora

Endereço do Comitê de Ética: Av. Portugal, 584 Bairro: Universitário CEP: 55.016-910 Telefone: (81)2103-2090	Endereço dos pesquisadores: Av. Portugal, 1330 Bairro: Universitário CEP: 55.016-400 E-mail: tais.helena@ufpe.br Telefone: (81) 99808-1358
--	---

APÊNDICE B – Questionário de Recrutamento para Teste Sensorial

Este questionário tem o objetivo de caracterizar o perfil dos participantes da pesquisa “Potencial tecnológico e funcional do amido da batata-doce de polpa alaranjada cultivar Beauregard”. As informações são confidenciais e utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos.

1. Dados pessoais e identificação do participante:

1.1. Participante nº _____

1.2. Idade: _____

1.3. Sexo: () Feminino () Masculino () Outro: _____

1.4. Curso (caso seja estudante): _____

1.5. Período atual: _____

1.6. Você é: () Estudante () Professor(a) () Técnico(a)/Funcionário(a)

2. Hábitos alimentares:

2.1. Você consome biscoitos regularmente? () Sim () Não

Se sim, com que frequência?

() Diariamente () 2 a 3 vezes por semana () Raramente

2.2. Você já participou de testes sensoriais anteriormente? () Sim () Não

3. Estado de saúde e restrições alimentares:

3.1. Você apresenta alguma alergia ou intolerância alimentar? () Sim () Não

Se sim, qual(is)? _____

3.2. Você possui alguma das condições abaixo? (marque as que se aplicam)

() Doença celíaca () Alergia a ovos () Intolerância à lactose

() Hipertensão () Diabetes () Nenhuma das anteriores

() Outras: _____

3.3. Você está atualmente em alguma dieta com restrição alimentar?

() Sim () Não

Se sim, qual? _____

4. Estilo de vida:

4.1. Você pratica atividade física regularmente? () Sim () Não

Se sim, com que frequência?

() 1-2 vezes por semana () 3-5 vezes por semana () Todos os dias

APÊNDICE C - Ficha de Análise Sensorial Afetiva

Participante nº _____

Você está recebendo 3 amostras de Biscoitos elaborados a partir de amido de Batata-doce *Beauregard*, em diferentes concentrações. Por favor, avalie as amostras servidas e identifique o quanto você gostou ou não de cada produto, dando nota de acordo com a escala abaixo:

9. Gostei muitíssimo
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei ligeiramente
5. Não gostei/nem desgostei
4. Desgostei ligeiramente
3. Desgostei moderadamente
2. Desgostei muito
1. Desgostei muitíssimo

ATRIBUTOS	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3
CÓDIGO DA AMOSTRA:			
Cor			
Odor			
Sabor			
Textura			
Aparência			

Qual sua amostra preferida? _____

Marque um X apenas UMA alternativa:

Você compraria este produto?	Amostra _____	Amostra _____	Amostra _____
1. Certamente compraria			
2. Provavelmente compraria			
3. Talvez compraria/talvez não compraria			
4. Provavelmente não compraria			
5. Certamente não compraria			

APÊNDICE D – “Propriedades funcionais e inovações tecnológicas da batata-doce *Beauregard*: uma revisão de literatura”



Propriedades funcionais e inovações tecnológicas da batata-doce *Beauregard*: uma revisão de literatura

Functional properties and technological innovations of *Beauregard* sweet potato: a literature review

Propiedades funcionales e innovaciones tecnológicas de la batata *Beauregard*: una revisión de la literatura

DOI: 10.55905/oelv23n8-101

Receipt of originals: 7/18/2025

Acceptance for publication: 8/8/2025

Taís Helena Gouveia Rodrigues

Doutoranda em Nutrição

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Recife, Pernambuco, Brasil

E-mail: taishgrodriques@gmail.com

Thayza Christina Montenegro Stamford

Doutora em Ciências Biológicas

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Recife, Pernambuco, Brasil

E-mail: thayza.stamford@ufpe.br

Silvana Gonçalves Brito de Arruda

Doutora em Nutrição

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Recife, Pernambuco, Brasil

E-mail: silvana.arruda@ufpe.br

Tânia Lúcia Montenegro Stamford

Doutora em Nutrição

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Recife, Pernambuco, Brasil

E-mail: tania.stamford@ufpe.br

RESUMO

A batata-doce *Beauregard* é uma cultivar amplamente adaptada a diferentes condições ambientais e apresenta elevado rendimento agrícola. Suas características nutricionais, aliadas à presença de compostos bioativos, têm despertado o interesse da indústria de alimentos, especialmente no desenvolvimento de produtos funcionais que promovam benefícios à saúde. Diante disso, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão de

literatura narrativa sobre as propriedades funcionais e as inovações tecnológicas associadas à batata-doce *Beauregard*, no período de 2019 a 2024. As buscas foram realizadas nas bases Periódicos CAPES e Science Direct, considerando apenas artigos científicos, excluindo-se dissertações, teses e capítulos de livros. Os descritores utilizados foram, em português: batata-doce *Beauregard*, batata-doce biofortificada, alimento funcional, compostos bioativos e desenvolvimento tecnológico; e em inglês: *Beauregard* sweet potato, biofortified sweet potato, functional food, bioactive compounds e technological development. Após a aplicação dos critérios de seleção, nove artigos foram incluídos na revisão, sendo seis deles publicados no Brasil, quatro dos quais desenvolvidos na região Nordeste. De modo geral, os estudos destacaram a batata-doce *Beauregard* como fonte relevante de carboidratos, vitamina A, ferro, fibras, minerais e compostos fenólicos com potencial antioxidante. Sua composição nutricional e funcional permite sua incorporação em produtos de panificação, confeitaria e bebidas, como cerveja, agregando valor sensorial, nutricional e tecnológico. Conclui-se que a batata-doce *Beauregard* apresenta grande potencial para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios, por aliar densidade nutricional a propriedades funcionais benéficas à saúde.

Palavras-chave: Batata-Doce Biofortificada, Compostos Bioativos, Compostos Fenólicos, Indústria de Alimentos, Vitamina A.

ABSTRACT

The *Beauregard* sweet potato is a cultivar widely adapted to different environmental conditions and offers high agricultural yields. Its nutritional characteristics, combined with the presence of bioactive compounds, have sparked interest in the food industry, particularly in the development of functional products that promote health benefits. Therefore, the objective of this study was to conduct a narrative literature review on the functional properties and technological innovations associated with the *Beauregard* sweet potato, covering the period 2019 to 2024. Searches were conducted in the CAPES and Science Direct databases, considering only scientific articles, excluding dissertations, theses, and book chapters. The descriptors used were: "batata-doce *Beauregard*," "batata-doce biofortificada," "alimento funcional," "tecnologia bioativos," and "tecnologia technological development." The descriptors used were: "batata-doce *Beauregard*," "batata-doce biofortificada," "alimento funcional," "tecnologia bioativos," and "tecnologia technological development." After applying the selection criteria, nine articles were included in the review, six of which were published in Brazil and four of which were developed in the Northeast region. Overall, studies have highlighted *Beauregard* sweet potatoes as a relevant source of carbohydrates, vitamin A, iron, fiber, minerals, and phenolic compounds with antioxidant potential. Their nutritional and functional composition allows them to be incorporated into baked goods, confectionery, and beverages, such as beer, adding sensory, nutritional, and technological value. The conclusion is that *Beauregard* sweet potatoes have great potential for the development of new food products, as they combine nutritional density with functional properties beneficial to health.

Keywords: Biofortified Sweet Potato, Bioactive Compounds, Phenolic Compounds, Food Industry, Vitamin A.

RESUMEN

La batata Beauregard es un cultivar ampliamente adaptado a diferentes condiciones ambientales y ofrece altos rendimientos agrícolas. Sus características nutricionales, combinadas con la presencia de compuestos bioactivos, han despertado interés en la industria alimentaria, particularmente en el desarrollo de productos funcionales que promueven beneficios para la salud. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue realizar una revisión narrativa de la literatura sobre las propiedades funcionales y las innovaciones tecnológicas asociadas a la batata Beauregard, abarcando el período de 2019 a 2024. Las búsquedas se realizaron en las bases de datos CAPES y Science Direct, considerando únicamente artículos científicos, excluyendo disertaciones, tesis y capítulos de libros. Los descriptores utilizados fueron: "batata-doce Beauregard", "batata-doce biofortificada", "alimento funcional", "tecnología bioactiva" y "tecnología technical development". Tras aplicar los criterios de selección, se incluyeron nueve artículos en la revisión, seis de ellos publicados en Brasil y cuatro desarrollados en la región Nordeste. En general, los estudios han destacado la batata Beauregard como una fuente relevante de carbohidratos, vitamina A, hierro, fibra, minerales y compuestos fenólicos con potencial antioxidante. Su composición nutricional y funcional permite su incorporación en productos horneados, repostería y bebidas, como la cerveza, aportando valor sensorial, nutricional y tecnológico. La conclusión es que la batata Beauregard tiene un gran potencial para el desarrollo de nuevos productos alimenticios, ya que combina densidad nutricional con propiedades funcionales beneficiosas para la salud.

Palabras clave: Boniato Biofortificado, Compuestos Bioactivos, Compuestos Fenólicos, Industria Alimentaria, Vitamina A.

1 INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.), como vários outros produtos vegetais, é comercializada de muitas formas, a depender da indústria e da procura do consumidor. A batata-doce é normalmente produzida para consumo fresco, no entanto hoje em dia é progressivamente utilizada para mercados alternativos, tais como alimentos processados (por exemplo, batatas fritas), produtos comerciais (por exemplo, amido, farinha e corantes alimentares) e similares (Duque *et al.*, 2022).

A cultivar de batata-doce *Beauregard* tem origem norte-americana, foi desenvolvida na Universidade do Estado da Luisiana (Louisiana State University – LSU),

em 1987. Sua inserção no Brasil ocorreu através do Centro Internacional de La Papa (CIP) do Peru, como parte das atividades do programa latino-americano AgroSalud, posteriormente integrado ao programa internacional HarvestPlus, que investe na biofortificação de culturas básicas para assegurar a maior oferta de micronutrientes na dieta básica das populações mais vulneráveis (Baldissarelli, 2010; Niu *et al.*, 2019).

A batata-doce *Beauregard* possui ramos vermelho-púrpura, folhas verdes, raízes elípticas redondas e polpa laranja. É um alimento essencialmente energético, rico em amido, contendo alto teor de vitaminas e minerais. A variedade *Beauregard*, demonstra vantagens em relação às demais cultivares por apresentar elevada produtividade, sabor e cor peculiares além de, principalmente ser rica em β -caroteno, ela apresenta 10 vezes mais carotenoides - provitamina A - do que as demais cultivares plantadas no país (Cardoso *et al.*, 2005; Baldissarelli, 2010; Ellong; Billard; Adenet, 2014; Zhu *et al.*, 2017).

Nas variedades de batatas com polpa branca, a concentração de β -caroteno é inferior a 10 mg/kg de raiz. No caso da *Beauregard*, o teor pode alcançar 115 mg/kg de raiz, devido a isso, é considerada uma batata-doce biofortificada. O consumo de 25 a 50 gramas de batata-doce *Beauregard* fornece as necessidades diárias de provitamina A que, no organismo humano dará origem a vitamina A (Baldissarelli, 2010).

O β -caroteno é um biocomposto de grande relevância com várias propriedades moleculares e biológicas bem estabelecidas, inclusive como já se sabe precursor da vitamina A, que auxilia no crescimento e desenvolvimento humano (Islam *et al.*, 2016). Seu importante papel como composto antioxidante, seu efeito anti-inflamatório e atividade pró-vitamina A também estão bem descritos na literatura. A batata-doce *Beauregard* além de ser rica em β -caroteno também é fonte de outros compostos bioativos e carboidratos, o que a torna uma fonte promissora para a produção de novos alimentos funcionais e bioativos (Baldissarelli, 2010; Zhu; Wang, 2014; Niu *et al.*, 2019).

Tratando-se de uma cultivar amplamente adaptada a diversidades ambientais e de alto rendimento a *Beauregard*, devido as suas características e propriedades funcionais tem despertado o interesse da indústria de alimentos para a criação de novos produtos incluindo, alimentos funcionais, que tragam benefícios, uma vez que, a conscientização

crescente sobre saúde e bem-estar provoca uma demanda considerável por alimentos mais saudáveis, pois, os consumidores estão cada vez mais cautelosos quanto aos produtos que consomem, buscando por opções que garantam benefícios nutricionais (Laurie *et al.*, 2015; Dwivedi *et al.*, 2017; Daron *et al.*, 2020; Humia *et al.*, 2020; World Health Organization, 2020; Santos *et al.*, 2021).

Mais recentemente, estudos publicados têm explorado o comportamento funcional do amido de batata-doce em diferentes condições de processamento. Song *et al.* (2025), por exemplo, revisaram técnicas de gelatinização do amido, mostrando como procedimentos como extrusão e gelificação a vapor podem alterar sua estrutura cristalina, viscosidade e capacidade de formação de gel, ampliando sua utilidade em produtos com exigências térmicas específicas. Wang *et al.* (2024), por sua vez, analisaram amidos de diferentes cultivares coloridas, evidenciando variabilidade em parâmetros como temperatura de gelatinização, viscosidade em pico e estabilidade térmica, sustentando a ideia de que o amido de polpas alaranjadas pode apresentar perfil funcional diferenciado.

Esses avanços sugerem que o amido da cultivar *Beauregard*, embora menos investigado isoladamente, provavelmente apresenta propriedades funcionais únicas — como menor temperatura de gelatinização, maior estabilidade térmica e menor retrogradação — em virtude de sua composição rica em β -caroteno e outros bioativos.

Desta maneira, este estudo tem como objetivo revisar, de forma sistemática, a literatura disponível sobre as propriedades funcionais e inovações tecnológicas da batata-doce *Beauregard* entre 2019 e 2024.

2 METODOLOGIA

A presente revisão narrativa da literatura teve como objetivo avaliar diferentes estudos relacionados às propriedades funcionais e inovações tecnológicas da batata-doce *Beauregard*. A escolha pela abordagem narrativa justifica-se pela necessidade de integrar e discutir evidências de diferentes tipos de estudos, permitindo uma visão abrangente e interpretativa sobre os avanços científicos relacionados a cultivar.



As buscas foram realizadas nas bases de dados Periódicos CAPES e Science Direct, com recorte temporal entre os anos de 2019 a 2024, contemplando artigos publicados em português e inglês. Utilizaram-se os seguintes descritores, combinados por operadores booleanos: em português – *batata-doce Beauregard*, *batata-doce biofortificada*, *alimento funcional*, *compostos bioativos* e *desenvolvimento tecnológico*; e em inglês – *Beauregard sweet potato*, *biofortified sweet potato*, *functional food*, *bioactive compounds* e *technological development*.

Foram incluídos apenas artigos científicos (originais e de revisão) com acesso ao texto completo e foco direto na cultivar *Beauregard*. Foram excluídos estudos duplicados, dissertações, teses, capítulos de livros, resumos de eventos, bem como publicações que não abordavam de forma específica a batata-doce *Beauregard* ou que tratavam a espécie de forma genérica, sem distinção de cultivares.

As publicações foram pré-selecionadas a partir da leitura dos títulos e resumos, seguida da leitura completa dos textos elegíveis. Durante o processo de análise, foram organizados e tabulados os seguintes dados: ano de publicação, país de origem do estudo, tipo de artigo, objetivos do trabalho, principais resultados, propriedades funcionais destacadas e possíveis aplicações tecnológicas da cultivar. Todas as informações extraídas foram sistematizadas em planilhas do Microsoft Excel® 2016, facilitando a categorização e posterior discussão.

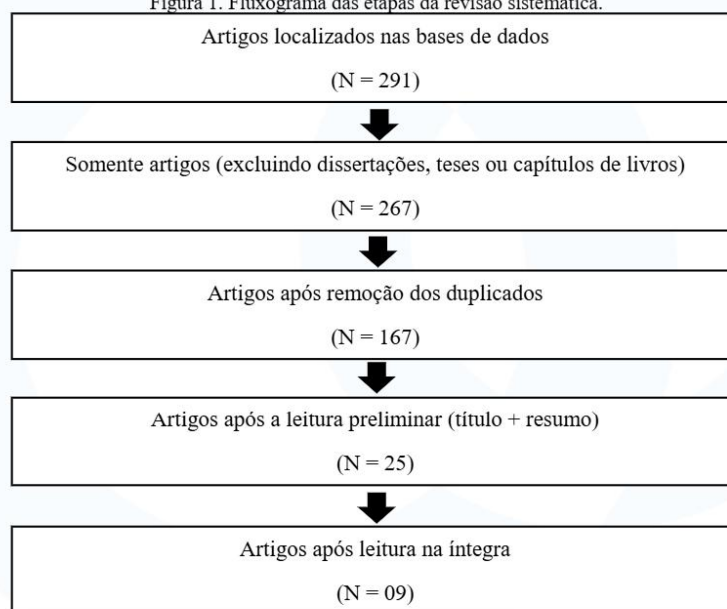
Todas as etapas de triagem, leitura e análise dos estudos foram conduzidas por uma única pesquisadora, com o objetivo de manter a consistência na seleção, interpretação e organização dos dados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na busca realizada nas bases de dados Periódicos Capes e Science Direct foram localizados estudos sobre as propriedades funcionais e inovações tecnológicas da batata-doce *Beauregard*, publicados entre 2019 e 2024. Após excluir teses, dissertações e capítulos de livros mantendo apenas artigos, restaram 267 publicações.

Na etapa posterior, ao remover os estudos duplicados, sobraram 167 publicações. Desses, após leitura do título e resumo, foram identificados 25 artigos relacionados ao tema deste estudo de revisão. Por fim, foi realizada a leitura completa dos 25 artigos selecionados, ainda assim foram eliminados 16 que não atendiam ao objetivo do estudo, resultando em 09 publicações (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma das etapas da revisão sistemática.



Fonte: Autores.

Dentre os 09 trabalhos (Figura 1) remanescentes no último filtro, pesquisadores de 2 países foram os responsáveis pelas publicações, sendo a maioria delas de pesquisas desenvolvidas no Brasil, em um total de 6 artigos (66,67%) e apenas 3 estrangeiros (33,33%).

Ao avaliar os estudos realizados no Brasil, observa-se que dos 6, 4 foram desenvolvidos em estados pertencentes a região Nordeste, nas seguintes instituições, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (Ceará), Universidade de

Pernambuco (Pernambuco), Centro Universitário UNINOVAFAPI (Piauí) e o Instituto de Tecnologia e Pesquisa (Sergipe). Os demais foram realizados nas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Paraná) e Universidade Federal de Pelotas (Rio Grande do Sul). É importante evidenciar o número de estudos localizados a nível Brasil, uma vez que demonstra o interesse de pesquisadores em avaliar as atividades funcionais e aplicações tecnológicas da batata-doce *Beauregard*, podendo agregar valor nutricional e benefícios a saúde na vida de diversas pessoas por meio da incorporação desse alimento em novos produtos.

Em relação ao ano de publicação, foi observado que 1 artigo (11,11%) foi publicado em 2019 (Tabela 1), seguido por 1 (11,11%) em 2020, 2 em 2021 (22,22%), 2 em 2022 (22,22%), 1 em 2023 (11,11%) e 2 em 2024 (22,22%).

Tabela 1. Descrição dos estudos incluídos na revisão sistemática, segundo o título do artigo, ano autores, ano de publicação e idioma.

Nº	Título do artigo	Autores	Ano	Idioma
1	Nutritional composition and acceptance of cake elaborated with beauregard potato biofortified with carotenoids	Ramos <i>et al.</i>	2019	Inglês
2	Physicochemical and sensory profile of Beauregard sweet potato beer	Humia <i>et al.</i>	2020	Inglês
3	Comparative assessment of phenolic content, cellular antioxidant, antityrosinase and protective activities on skin cells of extracts from three sweet potato (<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) cultivars	Krochmal-Marczak <i>et al.</i>	2021	Inglês
4	Elaboration of food products with biofortified sweet potatoes: Characterization and sensory acceptability	Dos Santos <i>et al.</i>	2021	Inglês
5	Effect of processing on the centesimal and bioactive composition of 'Beauregard' sweet potato and its derivatives	Da Silva <i>et al.</i>	2022	Inglês
6	Caracterização físico-química e de compostos bioativos de folhas de batata-doce comum e biofortificada	Fagundes <i>et al.</i>	2022	Português
7	Physicochemical composition and antioxidant activity of sweet potato flours from different cultivars produced in the Sub-middle São Francisco region	Vital <i>et al.</i>	2023	Inglês
8	Optimizing sweet potato production: insights into the interplay of plant sanitation, virus influence, and cooking techniques for enhanced crop quality and food security	Villalba <i>et al.</i>	2024	Inglês



9	Cultivation Technology and Plant Density Affecting the Yield and Carotenoid Content of Beauregard Sweet Potato	Balázs <i>et al.</i>	2024	Inglês
---	--	----------------------	------	--------

Fonte: Autores.

O artigo número 1 (Tabela 1), avaliou a composição nutricional e aceitação de bolo elaborado com batata-doce *Beauregard*. O bolo contendo batata biofortificada foi comparado com a formulação padrão de bolo de farinha de trigo. O bolo contendo batata *Beauregard* apresentou maior teor de proteínas, lipídios, umidade e carotenoides quando comparado a formulação padrão. A aceitação do bolo de batata biofortificado foram maiores quando comparados ao bolo padrão produzido com farinha de trigo. Por ser o bolo doce um produto alimentício, normalmente bem aceito por crianças e adultos, consequentemente, maior é a aprovação do bolo de batata-doce *Beauregard*, sugerindo seu potencial promissor para consumo por esse público (Ramos *et al.*, 2019).

O artigo número 2 (Tabela 1) desenvolveu um novo produto, uma cerveja de batata-doce com propriedades nutricionais e antioxidantes elevadas. Por ser uma fonte rica em amido e muitos compostos bioativos, a batata-doce *Beauregard* foi utilizada como adjunto na cerveja para pode agregar novas características organolépticas e funcionais à bebida. As amostras de cerveja apresentaram atividade antioxidante aumentada principalmente devido ao β -caroteno e seu conteúdo fenólico total. O perfil fitoquímico dos biocompostos da batata-doce demonstrou efeito direto deste adjuvante nos atributos sensoriais e funcionais do produto final. Desse modo, entende-se que a batata-doce *Beauregard* é um adjunto promissor para a produção de cerveja com propriedades funcionais devido à sua rica composição em compostos bioativos (Humia *et al.*, 2020).

O artigo número 3 (Tabela 1) avaliou o conteúdo fenólico, atividades antioxidante e antitirozinase, bem como efeitos citotóxicos dos extratos obtidos de três cultivares de batata-doce *Beauregard*, Purple e Carmen Rubin, a fim de identificar novas matérias-primas que possam nutrir a pele e protegê-la contra vários fatores nocivos, incluindo os radicais livres responsáveis pelos processos de envelhecimento. Os resultados evidenciaram que a cultivar caracterizada pelas propriedades antioxidantes mais potentes, bem como pelo efeito positivo na vitalidade das células da pele, foi a cultivar *Beauregard*.

O extrato de batata-doce *Beauregard* também apresentou capacidade inibitória da enzima tirosinase. Dessa forma, a batata-doce *Beauregard* pode ser considerada um reservatório de substâncias biologicamente ativas com propriedades benéficas à saúde (Krochmal-Marczak *et al.*, 2021).

O artigo número 4 (Tabela 1) propôs introduzir a batata-doce *Beauregard* na dieta através de alguns produtos alimentícios, como pães, bolos e doces (de coco e cacau). Também se realizou a quantificação de fenóis e carotenoides totais, atividade antioxidante e aceitabilidade sensorial foram avaliadas. Os bolos e doces de coco apresentaram maiores teores de carotenoides, enquanto que a maior quantidade de fenóis e atividade antioxidante foi observada no doce de cacau. Todos os alimentos produzidos com batata-doce *Beauregard* tiveram boa aceitabilidade: 86% para pão, 83,3% para bolo e 84,4%, e 86,0% para os doces de coco e cacau, respectivamente. Os resultados indicaram que a elaboração de alimentos contendo batata doce é uma alternativa viável à inserção de alimentos biofortificados na dieta (Dos Santos *et al.*, 2021).

O artigo número 5 (Tabela 1) buscou avaliar a composição centesimal, os compostos bioativos e a atividade antioxidante dessa variedade de batata e dos seus derivados (farinha e bolo). Os resultados permitiram inferir que a farinha da batata '*Beauregard*' é uma alternativa possível para incorporação em bolos, elevando os teores de minerais, carboidratos, carotenoides, polifenóis, assim como a atividade antioxidante. Ademais, a incorporação permite ingerir menos de 50 g de farinha e 60 g de bolo F1 (formulação de bolo com substituição de 50% da farinha de arroz pela farinha de batata-doce *Beauregard*), que correspondem a uma porção, para alcançar a ingestão diária recomendada de vitamina A (Da Silva *et al.*, 2022).

Este estudo demonstrou que a farinha de batata doce *Beauregard* é uma alternativa viável para consumo mediante sua incorporação em produtos de panificação e confeitaria, sendo possível aproveitar suas importantes propriedades nutricionais, características bioativas e antioxidantes com carboidratos, minerais, carotenoides, vitamina A, polifenóis e aumento da atividade antioxidante nos produtos aos quais é incorporada, além de sua comprovada viabilidade tecnológica para aplicação em bolos como substituta parcial da farinha convencional (Da Silva *et al.*, 2022).

O artigo número 6 (Tabela 1) comparou a composição físico-química, de compostos bioativos e o potencial antioxidante presente nas folhas de batata-doce comum (cultivar Rubissol) e biofortificada (cultivar *Beauregard*), os resultados obtidos demonstram que a cultivar *Beauregard* apresentou níveis médios mais elevados de carotenoides totais, flavonoides, antocianinas, compostos fenólicos, além da atividade antioxidante em relação a outra cultivar, evidenciando a relevância dos componentes bioativos desta parte da planta usualmente descartada (Fagundes *et al.* 2022).

E o artigo número 7 (Tabela 1) determinou a composição nutricional, atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais da farinha de batata-doce de diferentes cultivares, batata-doce *Beauregard* e batata-doce comum (Brazlândia Rosada). Verificou-se boa composição nutricional para ambas as farinhas avaliadas, destacando-se a farinha *Beauregard* pelo maior conteúdo de β -caroteno e ferro. Além da farinha de batata-doce *Beauregard* ser uma boa fonte de provitamina A também é fonte de fibras (Vital *et al.*, 2023).

O artigo 8 (Tabela 1) avaliou-se o impacto de diferentes tecnologias de cultivo e densidades de plantio sobre o desempenho agrônomo e o conteúdo de β -caroteno da cultivar *Beauregard*. Os autores observaram que a adoção de práticas agrônômicas adequadas elevou significativamente o teor desse carotenoide nos tubérculos, atingindo valores de até 247 $\mu\text{g/g}$. Os achados indicam que fatores como espaçamento e manejo da cultura influenciam diretamente a qualidade nutricional da raiz, podendo afetar, de forma indireta, a composição da matriz amilácea e suas propriedades funcionais. Essa relação destaca a relevância do ambiente de cultivo como determinante não apenas da produtividade, mas também da qualidade tecnológica dos constituintes da batata-doce (Villalba *et al.*, 2024).

Complementarmente, o artigo 9 (Tabela 1) demonstra que o uso da cultura de meristema como estratégia de sanitização das plantas promoveu alterações significativas no rendimento, na qualidade interna das raízes e no conteúdo de amido e compostos bioativos da cultivar *Beauregard*. O estudo evidenciou que práticas de controle sanitário contribuem para a homogeneidade e o aprimoramento da composição química dos tubérculos, influenciando diretamente o teor e o comportamento funcional do amido.



Esses achados reforçam que o processo de cultivo, incluindo tanto o manejo agrônomo quanto o sanitário, é um fator-chave na definição do perfil tecnológico da raiz e deve ser considerado na interpretação de resultados relacionados às suas propriedades físico-químicas e funcionais (Balázs et al., 2024).

Os dois últimos artigos encontrados destacam a influência das práticas de cultivo nas características nutricionais da batata-doce de polpa alaranjada, especialmente da cultivar *Beauregard*. Essa abordagem agrônoma abre possibilidades relevantes para pesquisas futuras, uma vez que os resultados indicam que variáveis como densidade de plantio, manejo sanitário e tipo de propagação podem impactar diretamente a composição química dos tubérculos. Assim, compreender como essas estratégias afetam atributos como o teor de β -caroteno e a qualidade do amido pode contribuir para o desenvolvimento de produtos com maior valor nutricional e tecnológico.

A batata-doce biofortificada *Beauregard* é uma raiz tuberosa com alto teor de Vitamina A, carotenoides e compostos fenólicos cujo consumo pode trazer efeitos benéficos à saúde humana relacionados às ações biológicas dessas substâncias. Logo, a incorporação dessa cultivar na criação de novos produtos pode assegurar tanto benefícios nutricionais como para a saúde (Ramos et al., 2019; Humia et al., 2020; Santos et al., 2021).

4 CONCLUSÃO

A batata-doce *Beauregard* destaca-se como uma matéria-prima estratégica para a promoção da saúde e inovação no setor de alimentos, combinando elevada densidade nutricional — especialmente em vitamina A e carotenoides — com propriedades funcionais e tecnológicas relevantes. Os resultados reunidos nesta revisão reforçam seu potencial para o desenvolvimento de produtos alimentícios mais saudáveis, capazes de contribuir para a prevenção de deficiências nutricionais, diversificação da dieta e agregação de valor a cadeias produtivas locais.



Os estudos abordados nesta pesquisa demonstraram que variáveis relacionadas ao processo de cultivo, como densidade de plantio, práticas de manejo e sanitização por cultura de meristema, impactam significativamente a qualidade final dos tubérculos, refletindo em atributos como teor de β -caroteno, conteúdo de amido e capacidade antioxidante. Tais achados apontam para a necessidade de integrar o conhecimento agrônomo às pesquisas tecnológicas e nutricionais, promovendo uma abordagem mais ampla e eficaz no aproveitamento da batata-doce *Beauregard* como matéria-prima funcional.

Do ponto de vista acadêmico, este levantamento fornece subsídios para ampliar o conhecimento sobre a cultivar, estimulando novas linhas de pesquisa que integrem aspectos agrônômicos, nutricionais e tecnológicos. Já para a sociedade, a utilização da *Beauregard* em formulações alimentícias pode favorecer a segurança alimentar e nutricional, apoiar políticas públicas de incentivo ao consumo de alimentos biofortificados e fortalecer a agricultura familiar por meio da valorização de cultivos regionais.

Entretanto, a presente revisão apresenta limitações, como o número restrito de estudos específicos sobre a cultivar *Beauregard* no período analisado e a ausência de comparações diretas com outras cultivares em diferentes contextos de processamento e consumo.

Diante disso, recomenda-se que pesquisas futuras explorem ensaios clínicos e estudos de intervenção que comprovem os benefícios do consumo da *Beauregard* para diferentes públicos; investiguem o comportamento de seu amido e compostos bioativos sob diversas condições de processamento; e avaliem a viabilidade econômica e sensorial de sua aplicação em produtos inovadores, de forma a fortalecer o elo entre ciência, indústria e saúde pública.

REFERÊNCIAS

- BABASHAHI, M. *et al.* Systematic review and meta-analysis of the most common processed foods consumed by Iranian children. **Eastern Mediterranean Health Journal**, v. 27, n. 9, p. 918-930, 2021.
- BALÁZS, V. *et al.* Cultivation Technology and Plant Density Affecting the Yield and Carotenoid Content of Beauregard Sweet Potato. **Agronomy** v. 14, p. 2485, 2024.
- BALDISSARELLI, M.R. **Batata-doce Beauregard**. Embrapa, 2010. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/7172/batata-doce-beauregard>>. Acesso em: 25 de fev. de 2024.
- CARDOSO, A. D. *et al.* Evaluation of sweet potato clones in Vitória da Conquista. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 911-914, 2005.
- DA SILVA, F. S. *et al.* Effect of processing on the centesimal and bioactive composition of 'Beauregard' sweet potato and its derivatives. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 39, n. 3, e26960, 2022.
- DARON, T. C. *et al.* Ipomoea batatas no Brasil. **Fag Journal of Health (FJH)**, v. 2, n. 1, p. 103-116, 2020.
- DOS SANTOS, F. N. *et al.* Elaboration of food products with biofortified sweet potatoes: characterization and sensory acceptability. **Rev Chil Nutr**, v.48, n. 1, p.59-66, 2021.
- DUQUE, L. O. *et al.* A win-win situation: Performance and adaptability of petite sweetpotato production in a temperate region. **Horticulturae**, v. 8, n. 2, p. 172, 2022.
- DWIVEDI, S. L. *et al.* Diversifying food systems in the pursuit of sustainable food production and healthy diets. **Trends in plant science**, v. 22, n. 10, p. 842-856, 2017.
- ELLONG, E. N; Billard, C.; Adenet, S. Comparação das capacidades físico-químicas, organolépticas e nutricionais de oito variedades de batata-doce (Ipomoea batatas). **Ciências da Alimentação e Nutrição**, v. 2014, 2014.
- FAGUNDES, M. E. *et al.* Caracterização físico-química e de compostos bioativos de folhas de batata-doce comum e biofortificada. **Revista Faz Ciência**, v. 24, n. 40, 2023.
- FRANKOVÁ, H. *et al.* Total polyphenols and antioxidant activity in sweet potatoes (Ipomoea batatas L.) after heat treatment. **Journal of microbiology, biotechnology and food sciences**, p. e5356-e5356, 2022.
- HUMIA, B. V. *et al.* Physicochemical and sensory profile of Beauregard sweet potato beer. **Food Chemistry**, v. 312, p. 126087, 2020.

ISLAM, S. N. *et al.* Carotenoids and -carotene in orange fleshed sweet potato: A possible solution to vitamin A deficiency. **Food Chemistry**, v.199, p. 628-631, 2016.

KROCHMAL-MARCZAK, B. *et al.* Comparative assessment of phenolic content, cellular antioxidant, antityrosinase and protective activities on skin cells of extracts from three sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) cultivars. **Journal of King Saud University-Science**, v. 33, n. 6, p. 101532, 2021.

LAURIE, S. *et al.* Biofortification of sweet potato for food and nutrition security in South Africa. **Food Research International**, v. 76, p. 962-970, 2015.

LAURIE, S. M. *et al.* Multienvironment performance of new orange-fleshed sweetpotato cultivars in South Africa. **Crop Science**, v. 55, n. 4, p. 1585-1595, 2015.

NIU, S. *et al.* Starch granule sizes and degradation in sweet potatoes during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 150, p. 137-147, 2019.

NYATHI, M. K. *et al.* The dual-purpose use of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* var. Bophelo) for improved nutritional food security. **Agricultural water management**, v. 217, p. 23-37, 2019.

RAMOS, J. S. *et al.* Nutritional composition and acceptance of cake elaborated with Beauregard potato biofortified with carotenoids. **Biosci. j.(Online)**, p. 949-956, 2019.

SANTOS, F. N. dos *et al.* Elaboración de productos alimenticios con camote biofortificado: Caracterización y aceptabilidad sensorial. *Revista chilena de nutrición*, v. 48, n. 1, p. 59-66, 2021.

VILLALBA, A. *et al.* Optimizing sweet potato production: insights into the interplay of plant sanitation, virus influence, and cooking techniques for enhanced crop quality and food security. **Front. Plant Sci.**, v. 15, 2024.

VITAL, A. N. S. *et al.* Physicochemical composition and antioxidant activity of sweet potato flours from different cultivars produced in the Sub-middle São Francisco region. **Ciência Rural**, v. 53, p. e20210718, 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The state of food security and nutrition in the world 2020: transforming food systems for affordable healthy diets**. Food & Agriculture Org., 2020.

ZHU, F.; Wang, S. Physicochemical properties, molecular structure, and uses of sweetpotato starch. **Trends in Food Science & Technology**, v. 36, n. 2, p. 68-78, 2014.

ZHU, Z. *et al.* HPLC-DAD-ESI-MS2 analytical profile of extracts obtained from purple sweet potato after green ultrasound-assisted extraction. **Food Chemistry**, v. 215, p. 391-400, 2017.