

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE FARMÁCIA

EMANUELLE CARDOSO ZIBRAL SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE PÃES SEM GLÚTEN ELABORADOS COM FÉCULA DE
ARARUTA (*Maranta arundinacea* L.), ADICIONADOS DE TRANSGLUTAMINASE,
GOMA XANTANA E/OU *PYSILLIUM***

Belo Horizonte

2022

EMANUELLE CARDOSO ZIBRAL SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE PÃES SEM GLÚTEN ELABORADOS COM FÉCULA DE
ARARUTA (*Maranta arundinacea* L.), ADICIONADOS DE TRANSGLUTAMINASE,
GOMA XANTANA E/OU *PYSILLIUM***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência de Alimentos da Faculdade de Farmácia da
Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestra em Ciência de
Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Camila Argenta Fante

Coorientadora: Profa. Dra. Patrícia Regina Amante

Belo Horizonte

2022

Santos, Emanuelle Cardoso Zibral.
S237d Desenvolvimento de pães sem glúten elaborados com fécula de araruta (*Maranta arundinacea* L.), adicionados de transglutaminase, goma xantana e/ou *pysillium* / Emanuelle Cardoso Zibral Santos. – 2022. 86 f. : il.

Orientadora: Camila Argenta Fante.
Coorientadora: Patrícia Regina Amante.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Farmácia, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos.

1. Pão – Teses. 2. Panificação – Teses. 3. Amido – Teses. 4. Tecnologia de alimentos – Teses. 5. Produtos novos – Teses. 6. Maranta. I. Fante, Camila Argenta. II. Amante, Patrícia Regina. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Farmácia. IV. Título.

CDD: 664.7523



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

FOLHA DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE PÃES SEM GLÚTEN ELABORADOS COM FÉCULA DE ARARUTA (*MARANTA ARUNDINACEA L.*), ADICIONADOS DE TRANSGLUTAMINASE, GOMA XANTANA E/OU PYSILLIUM

EMANUELLE CARDOSO ZIBRAL SANTOS

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DE ALIMENTOS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em CIÊNCIA DE ALIMENTOS, área de concentração CIÊNCIA DE ALIMENTOS.

Aprovada em 04 de fevereiro de 2022, pela banca constituída pelos membros:

Profa. Dra. Camila Argenta Fante (Orientadora e presidente da comissão) - UFMG
Profa. Dra. Patrícia Regina Amante (Coorientadora) - Faculdade Arnaldo
Profa. Dra. Maria Aparecida Vieira Teixeira Garcia - UFMG
Profa. Dra. Raquel Linhares Bello de Araújo - UFMG

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Maria Aparecida Vieira Teixeira Garcia, Professora do Magistério Superior**, em 04/02/2022, às 17:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Raquel Linhares Bello de Araujo, Professora do Magistério Superior**, em 04/02/2022, às 17:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Patrícia Regina Amante, Usuária Externa**, em 04/02/2022, às 17:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Camila Argenta Fante, Professora do Magistério Superior**, em 07/02/2022, às 09:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1234051** e o código CRC **3D0ED990**.

À minha avó Cenira Cardoso Zibral,
Ao meu tio Tarcísio Geraldo Zibral (Tatá) e
À minha irmã Michelle Cardoso Zibral Santos
que viraram estrela antes de eu concluir essa
jornada, mas que lá do céu torceram por mim e
me ajudaram a não desistir!
Com todo o meu amor, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Deus, obrigada por permitir a realização desse sonho e me manter de pé!

Mãe, obrigada por sempre acreditar em mim e não medir esforços para que os meus sonhos fossem alcançados e por estar “na primeira fileira” torcendo em minhas batalhas. Essa vitória é para você!

Pai, obrigada por sempre torcer por mim e comemorar as minhas conquistas!

Marcelle, obrigada por ser uma irmã tão presente e preocupada com o meu bem-estar. Você tornou tudo isso mais leve e me fortaleceu diante às fraquezas dos processos da minha vida!

Família Zibral, obrigada por todo apoio, incentivo e pelas orações durante esse percurso! Obrigada por entenderem minhas ausências e trazer sorrisos nos dias mais tensos de todo o processo.

Leonardo (mozão), obrigada pelo companheirismo, amor, pela amizade, paciência e por esperar em casa comigo quando “sair” teve que ficar em segundo plano.

Família Soares, obrigada pelo acolhimento, pela torcida, pelo incentivo, por entender minhas ausências e comemorarem cada conquista!

Profa. Dra. Camila Fante, obrigada por aceitar o convite e ter me orientado em meio a tanta turbulência e não ter desistido de mim em nenhum momento, por todos os ensinamentos e por ser um espelho com reflexos de intensa luz. Enfim os pães saíram!

Profa. Dra. Patrícia Amante, obrigada por surgir como a luz no fim do túnel e tornar tudo possível, pela parceria e coorientação em forma de amizade! Você fez isso possível!

Magna Mallaco e Thaís Arreguy, amigas, obrigada por toda ajuda, por fazer das lágrimas verdadeiras gargalhadas, trazendo leveza aos momentos mais difíceis. Tenho certeza de que não conseguiria se não fosse com vocês!

Às pessoas que apareceram na minha vida durante o Mestrado e, com certeza, foram anjos e anjas enviados(as) por Deus: Vinícius Correa, Milton Ribeiro, Isabella Maciel, Camila Gonçalves, Maria Clara Coutinho, Amanda Neris, Anderson Faria, Igor Hiroshi, Ednângelo Pereira, Maria Aparecida Sedyama e Vitor Kuhn. Sem vocês esse projeto não seria possível!

Às amigas e aos amigos dos Restaurantes Populares de Belo Horizonte pela torcida e pelo incentivo diário.

Conselheiras e conselheiros do Conselho Regional de Nutricionistas de Minas Gerais (CRN9), obrigada pela torcida, ajuda, pelo incentivo e por compartilharem de tanta sabedoria e serem exemplo de profissionais com excelência!

Profa. Dra. Sabrina Alves Ramos obrigada pela confiança e pelas oportunidades concedidas na minha vida acadêmica (ainda na graduação) e profissional, as quais foram fundamentais para despertar em mim o amor pela pesquisa e docência.

Profa. Dra. Cristiana Andreoli, Maria Aparecida Teixeira e Raquel Linhares obrigada por aceitarem o convite para compor a banca examinadora e disporem de tempo, paciência e boa vontade para leitura e avaliação deste trabalho. Gratidão!

À Ajinomoto, em especial a Jamile Marangoni de Oliveira, ao Mauro Filho e Tiago Vilmes, por cederem a enzima transglutaminase e ainda darem uma aula de processos e utilização em panificação.

À Faculdade Estácio de Sá – Unidade Prado pela liberação do Laboratório de Gastronomia para produção dos pães.

Diante da impossibilidade de nomear todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, pois a lista é infindável, manifesto a elas toda a minha gratidão!

*“Agora, se foi fácil? Foi não
Rapadura é doce, mas né mole não
Na estrada a gente pena, a gente sofre, mas a gente ama*

*Não me arrependo de nada não
Porque foi tudo de coração
Na vida a gente colhe o que planta”*

(Dann Costara e Juzé)

RESUMO

A Doença Celíaca é uma importante patologia que atinge 1% da população mundial, sendo em seu tratamento exigida à adoção de uma dieta sem glúten. A indústria de panificação enfrenta um grande desafio na elaboração de pães sem glúten, devido às características tecnológicas dos produtos não atenderem aos padrões de qualidade, principalmente no que tange à dureza e ao volume, além de utilizar bases farináceas refinadas, com baixo teor de micronutrientes. A araruta (*Maranta arundinacea* L.) é considerada uma PANC, cultivada no Brasil por pequenos produtores, caracterizada pelo alto potencial antioxidante, baixo índice glicêmico, riqueza em amido e sem presença de proteínas formadoras de glúten. Assim, o objetivo desse estudo foi desenvolver pães semidoces com fécula de araruta (FA) e avaliar o efeito da adição de enzima transglutaminase (TGase), goma xantana (GX) e/ou *psyllium* (Psy) nas características físico-químicas dos pães elaborados. Para pesquisa experimental foram desenvolvidas sete formulações de pães com fécula de araruta, utilizando 1% de TGase, 0,5% de Psy e/ou 0,5% de GX, com diferentes combinações. Posteriormente à produção dos pães, foram realizadas as análises de perfil de textura (TPA), volume específico, cor de miolo e crosta e composição centesimal (umidade, carboidratos, proteínas, lipídeos e cinzas). Para análise estatística os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). Observou-se que a GX apresentou efeito positivo sobre a dureza dos pães, reduzindo-a em até 68% comparado à formulação controle. A média do volume específico não apresentou diferença estatística significativa ($p > 0,05$) de todas as formulações foi superior a pães elaborados com farinha de arroz e hidrocoloides ou enzima, indicando o potencial da fécula de araruta na produção de pães sem glúten com maiores volumes mesmo sem a adição de melhoradores, o que pode impactar positivamente no custo final do produto. A fécula de araruta ainda contribuiu com o aumento do teor de cinzas dos pães comparados a pães elaborados com farinha de arroz. Concluiu-se, assim, que os pães produzidos apresentam perspectivas para a ampliação da oferta de produtos *gluten free*, bem como o incentivo para o cultivo de pequenos agricultores, de forma que os resultados deste trabalho podem subsidiar estudos para o desenvolvimento de produtos alimentícios, utilizando a araruta.

Palavras-chave: PANC; desenvolvimento de novos produtos; panificação sem glúten; hidrocoloides; doença celíaca.

ABSTRACT

Celiac Disease is an important pathology that affects 1% of the world population, and its treatment is required to adopt a gluten-free diet. The bakery industry faces a great challenge in the elaboration of gluten-free breads, due to the technological characteristics of the products that do not meet quality standards, especially in terms of hardness and volume, in addition to using refined farinaceous bases, with a low content of micronutrients. Arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) is considered a PANC, cultivated in Brazil by small producers, characterized by high antioxidant potential, low glycemic index, rich in starch and without the presence of gluten-forming proteins. Thus, the objective of this study was to develop semi-sweet breads with arrowroot starch (FA) and to evaluate the effect of the addition of transglutaminase enzyme (TGase), xanthan gum (GX) and/or psyllium (Psy) on the physicochemical characteristics of the prepared breads. For experimental research, seven bread formulations with arrowroot starch were developed, using 1% TGase, 0.5% Psy and/or 0.5% GX, with different combinations. After the production of the breads, the analysis of texture profile (TPA), specific volume, crumb and crust color and proximate composition (moisture, carbohydrates, proteins, lipids and ash) were performed. For statistical analysis, the data were submitted to Analysis of Variance (ANOVA). It was observed that GX had a positive effect on bread hardness, reducing it by up to 68% compared to the control formulation. The mean of the specific volume did not present a significant statistical difference ($p > 0.05$) of all the formulations was superior to breads made with rice flour and hydrocolloids or enzyme, indicating the potential of arrowroot starch in the production of gluten-free breads with higher volumes even without the addition of improvers, which can have a positive impact on the final cost of the product. Arrowroot starch also contributed to the increase in ash content of breads compared to breads made with rice flour. It was concluded, therefore, that the breads produced present prospects for expanding the supply of gluten free products, as well as encouraging the cultivation of small farmers, so that the results of this work can subsidize studies for the development of food products, using arrowroot.

Keywords: PANC; development of new products; gluten-free bakery; hydrocolloids; celiac disease.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Características morfológicas da variedade araruta comum (<i>Maranta arundinacea</i> L.)	19
Figura 2 – Estrutura do glúten.....	23
Figura 3 – Classificação das desordens relacionadas ao glúten	26
Figura 4 – Estrutura primária do polissacarídeo goma xantana.....	39
Figura 5 – <i>Plantago ovata</i> Forssk (planta, semente e testa da semente)	40
Figura 6 – Reações catalisadas pelas enzimas transglutaminases.....	42
Figura 7 – Fluxograma de produção dos pães com fécula de araruta (<i>Maranta arundinacea</i> L.)	46
Figura 8 – Pães de fécula de araruta (<i>Maranta arundinacea</i> L.).....	51
Figura 9 – Conjunto da coesividade entre as formulações do pão de fécula de araruta (<i>Maranta arundinacea</i> L.)	55
Figura 10 – Conjunto do valor energético (Kcal/100g) entre as formulações do pão de fécula de araruta (<i>Maranta arundinacea</i> L.)	66

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Resumo das características, funções e proporções (em relação ao peso da farinha) dos ingredientes utilizados nas formulações dos pães	33
Quadro 2 – Volume específico de pães sem glúten apresentado por diferentes autores..	59
Tabela 1 – Composição de aminoácidos da gliadina e glutenina	24
Tabela 2 – Formulações dos pães com fécula de araruta (<i>Maranta arundinacea</i> L.).....	45
Tabela 3 – Valores médios dos parâmetros de dureza do miolo, elasticidade, coesividade e mastigabilidade dos pães de fécula de araruta (<i>Maranta arundinacea</i> L.).....	53
Tabela 4 – Valores médios do volume específico dos pães de fécula de araruta (<i>Maranta arundinacea</i> L.)	58
Tabela 5 – Valores médios da cor da crosta e do miolo dos pães de fécula de araruta (<i>Maranta arundinacea</i> L.)	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACC – *American Association of Cereal Chemists*
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACELBRA – Associação dos Celíacos do Brasil
Ala – Alanina
ALM – Departamento de Alimentos
ANOVA – Análise de variância
anti-tTG IgA – Anticorpos antitransglutaminase
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC – *Association of Official Agricultural Chemists*
APHA – *American Public Health Association*
Arg – Arginina
Asp – Ácido aspártico
C* - Croma
CLAE-FR – Cromatografia líquida de alta eficiência de fase reversa
CLT – *Central Location Test*
COVID-19 – Doença do coronavírus 19
Cys – Cisteína
Da – Dalton
DC – Doença Celíaca
DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado
FAFAR – Faculdade de Farmácia
FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
g - Gramas
Gln – Glutamina
Glu – Ácido glutâmico
Glx – Glutamina + Ácido glutâmico
Gly – Glicina
GX – Goma Xantana
h° - Ângulo Hue
His – Histidina
HPMC – Hidroxipropilmetilcelulose
HUT – *Home Use Test*

IgA – Imunoglobulina A

IgE – Imunoglobulina E

Ile – Isoleucina

ITAL – Instituto de Tecnologia de Alimentos

Kg – Quilograma

L – Luminosidade

LASEC – Laboratório de Análise Sensorial e Estudos de Consumidor

Leu – Leucina

Lys – Lisina

Met – Metionina

ml - mililitro

N – Newton

PANC – Planta Alimentícia Não Convencional

Phe – Fenilalanina

ppm – Parte por milhão

Pro – Prolina

Psy – *Psyllium*

RDC – Resolução da Diretoria Colegiada

R-E-G-W Q – Teste de Ryan-Einot-Gabriel-Welsch

RPM – Rotação por minuto

Ser – Serina

TG6 – Transglutaminase 6

TGase – Transglutaminase

Thr – Treonina

TPA – Análise de Perfil de Textura

Trp – Triptofano

Tyr – Tirosina

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

Val – Valina

VE – Valor energético

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1 Araruta (<i>Maranta arundinacea</i> L.)	17
3.1.1 Aspectos gerais e características nutricionais e funcionais	17
3.1.2 Utilização da fécula de araruta na indústria de alimentos	21
3.2 Glúten	23
3.2.1 Doenças associadas à ingestão de glúten	26
3.2.1.1 Doença Celíaca.....	28
3.2.1.2 Ataxia do glúten	29
3.2.1.3 Dermatite herpetiforme	30
3.2.1.4 Alergia ao trigo.....	30
3.2.1.5 Sensibilidade ao glúten não celíaca	31
3.3 Panificação	32
3.3.1 Pães sem glúten	36
3.3.2 Hidrocoloides	37
3.3.2.1 Goma xantana.....	38
3.3.2.2 <i>Psyllium</i>	40
3.3.3 Enzima Transglutaminase	41
4 MATERIAL E MÉTODOS	44
4.1 Material	44
4.2 Métodos	44
4.2.1 Formulações dos pães	44
4.2.2 Produção dos pães	45
4.2.3 Análises dos pães com fécula de araruta	46
4.2.3.1 Perfil de textura	47
4.2.3.2 Volume específico	47
4.2.3.3 Cor de miolo e crosta.....	48
4.2.3.4 Composição centesimal	48

<i>4.2.4 Análise estatística</i>	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1 Análise de Perfil de Textura (TPA)	52
5.2 Análise de volume	57
5.3 Análise colorimétrica	60
5.4 Análise da composição centesimal	64
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REREFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1 INTRODUÇÃO

A intolerância ao glúten relaciona-se ao desenvolvimento de várias enfermidades, como ataxia do glúten, sensibilidade ao glúten não celíaca, alergia ao trigo e dermatite hepática (FARINHA *et al.*, 2018; HADJIVASSILIOU; SANDERS; AESCHLIMANN, 2015; ORTIZ; VALENZUELA; LUCERO ALVAREZ, 2017). Além dessas, destaca-se a Doença Celíaca (DC), caracterizada como uma enteropatia crônica imunomediada desencadeada pela exposição ao glúten em indivíduos geneticamente predispostos, uma vez que acomete cerca de 1% da população mundial (MCALLISTER; WILLIAMS; CLARKE, 2019). O aumento da prevalência dessas desordens demanda da indústria de alimentos a confecção de produtos sem glúten com alta qualidade (BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020; HORSTMANN; LYNCH; ARENDT, 2017).

A produção de pães sem glúten ainda é um grande desafio, uma vez que esse complexo proteico formado durante a elaboração da massa é responsável por conferir características únicas à massa, como retenção de gás, volume, textura e elasticidade (ANTON; ARTFIELD, 2008; BOUREKOUA *et al.*, 2018; NGEMAKWE; LE ROES-HILL; JIDEANI, 2015). Além disso, os produtos de panificação sem glúten, também mostram-se inferiores quanto às características sensoriais e nutricionais (TOTH; VATAI; KORIS, 2020).

Estudos apontam que a farinha de arroz é a mais comumente utilizada em substituição à farinha de trigo na elaboração do pão sem glúten (DA SILVA GRAÇA *et al.*, 2017; MONTEIRO *et al.*, 2021; SAUERESSIG; KAMINSKI; ESCOBAR, 2016; SCIARINI *et al.*, 2012; SILVA FIGUEIRA *et al.*, 2011). Contudo, os pães elaborados com essa farinha normalmente apresentam baixa capacidade de retenção de gás, conferindo aos pães reduzido volume, o que afeta a textura e estrutura do miolo dos produtos (TURABI; SUMNU; SAHIN, 2010).

Como forma de melhorar a qualidade dos produtos de panificação sem glúten, é necessária a realização de mais pesquisas, possibilitando a ampliação da oferta para os celíacos e consequente redução dos preços no mercado (HOUBEN; HÖCHSTÖTTER; BECKER, 2012). O uso de diferentes matérias-primas e a aplicação de tecnologias de processamento estão sendo realizadas, visando melhorar as características dos pães sem glúten (BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020; TOTH; VATAI; KORIS, 2020). Dentre estas, pode-se citar a

utilização de hidrocoloides e enzimas, que melhoram a expansão da massa e a textura do miolo, além de formar uma rede de proteínas semelhantes ao glúten, respectivamente (BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020; BOUREKOUA *et al.*, 2018).

A araruta (*Maranta arundinacea* L.), planta herbácea perene rizomatosa, com origem nas regiões tropicais da América do Sul (COELHO *et al.*, 2005), tradicionalmente utilizada na forma de fécula ou polvilho, obtido a partir da trituração e secagem dos rizomas. Considerada uma Planta Alimentícia Não Convencional (PANC), antigamente muito utilizada no preparo de bolos, mingaus e biscoitos, é hoje praticamente desconhecida, sendo cultivada principalmente por agricultores familiares (BRASIL, 2010).

O amido extraído da araruta não apresenta glúten, podendo ser consumido por pessoas com sensibilidade ao glúten ou portadores de DC (FALCOMER *et al.*, 2020; RODRIGUES *et al.*, 2018). Ainda, é rico em fósforo, sódio, potássio, magnésio, ferro, cálcio e zinco, além de apresentar médio teor de fenilalanina e baixas quantidades de frutose e oligossacarídeos (AMANTE *et al.*, 2020). Do ponto de vista tecnológico, o amido de araruta apresenta granulometria fina, pH próximo à neutralidade, boa capacidade de formação de gel, alto índice de absorção em leite (LIMA *et al.*, 2019).

A utilização de fécula de araruta pela indústria de panificação sem glúten, em substituição à farinha de trigo, mostra-se, assim, promissora. Apesar de suas propriedades, ainda são observados poucos estudos que a utilizam para melhorar as características tecnológicas, nutricionais e sensoriais do pão branco, sendo encontrados os artigos de Castro, 2018; Han; Hwang; Hho, 2013; e Sudaryati; Nasution; Ardiani, 2017.

Considerando os aspectos apresentados, espera-se que a fécula de araruta, adicionada de hidrocoloides e enzimas, possa substituir a farinha de trigo na elaboração de pães sem glúten, melhorando os aspectos nutricionais e tecnológicos desses produtos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver pães com fécula de araruta e avaliar o efeito da adição de enzima transglutaminase e hidrocoloides *psyllium* e goma xantana nas características físico-químicas dos produtos elaborados.

2.2 Objetivos específicos

- Elaborar pães semidoces sem glúten, utilizando goma xantana, *psyllium* e/ou enzima transglutaminase.
- Avaliar o volume, perfil de textura e parâmetros instrumentais de cor de miolo e crosta dos pães.
- Avaliar a composição centesimal dos pães produzidos.
- Ampliar a oferta de produtos panificáveis para celíacos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Araruta (*Maranta arundinacea* L.)

3.1.1 Aspectos gerais e características nutricionais e funcionais

A araruta (*Maranta arundinacea* L.), planta originária da América do Sul, pertencente à ordem Zingiberales, família Marantaceae, gênero *Maranta*, é considerada uma hortaliça não convencional, de cultura rústica, fácil plantio e baixo custo (DE OLIVEIRA GUILHERME *et al.*, 2018; ERDMAN; ERDMAN, 1984; NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005). As hortaliças não convencionais fazem parte do grupo das Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC). São, também, denominadas “hortaliças tradicionais”, em referência ao cultivo relacionado às populações tradicionais e como forma a valorizar o resgate à culinária regional; “hortaliças negligenciadas”; ou “hortaliças subutilizadas” (MADEIRA *et al.*, 2013). Estas hortaliças influenciam a alimentação e cultura das regiões onde são produzidas (BRASIL, 2010). As PANC encontrando-se em processo de extinção, devido às mudanças no perfil alimentar da população brasileira. É verificada a substituição da araruta, por exemplo, por amidos com maior apelo comercial, como mandioca e milho (BRASIL, 2010; CUNHA, 2016; MADEIRA *et al.*, 2013).

O nome da araruta, derivado, provavelmente, da palavra *aru-aru*, termo usado pela tribo indígena *Aruak*, habitante desde a Amazônia às regiões do Caribe, para indicar a fécula, originou outras nomenclaturas, utilizadas nos diferentes lugares do mundo: *arrowroot* (Inglês), *embiri* (Português), *maranta* (Italiano), *arruruz* (Espanhol), dentre outros. (ERVANARIUM, 2021; NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005; FELTRAN; PERESSIN, 2014, p. 36).

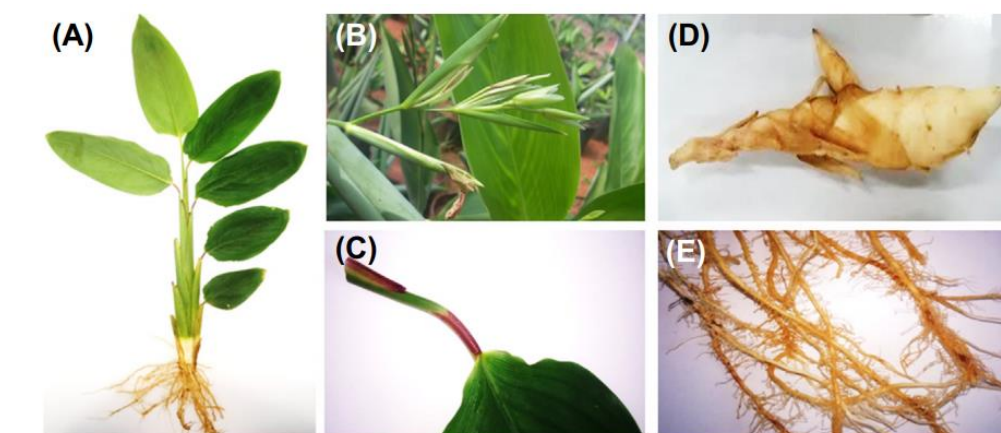
Caracterizada como uma planta herbácea perene rizomatosa, a araruta é comum nas florestas tropicais, com preferência às regiões com temperatura superior a 22°C e com incidência de chuvas ao longo do ano (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005). As regiões Central e Nordeste do Brasil apresentam as melhores condições para o seu plantio (MADEIRA *et al.*, 2013, p. 37). O cultivo de araruta também ocorre nas Índias Ocidentais (Jamaica e São Vicente), Austrália, no Sudeste Asiático e Sul e Leste da África (CHARLES *et al.*, 2016).

Os rizomas da araruta apresentam forma fusiforme, alongada, com tamanho que oscila entre 10 e 25 cm, e exibem pequenos segmentos, separados entre si por leves escamas (LEONEL; CEREDA, 2002). Com crescimento vertical, formam touceiras que podem alcançar de 0,6 a 1,2 metros de altura. As folhas têm formato de lança e pequenos pelos na parte inferior. As flores são brancas e, assim como os frutos, pequenas. A multiplicação da planta acontece por meio dos rizomas que têm como característica a brotação abundante (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005; FELTRAN; PERESSIN, 2014, p. 36).

O plantio da araruta ocorre ao longo de todo o ano nas regiões tropicais, sendo realizado no início dos períodos de chuvas, dispensando a irrigação. Em regiões subtropicais, o cultivo se restringe aos meses com intervalo setembro-outubro e março-abril, épocas mais quentes do ano, de forma que a cultura permanece em dormência nos períodos frios e/ou secos (MADEIRA *et al.*, 2013, p. 38; NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005).

A literatura menciona algumas variedades da araruta, muitas delas sem importância econômica, como bambu, araruta gigante e forragem. No Brasil, considera-se ao menos sete ecótipos, com variações morfológicas, principalmente relacionadas ao tamanho das folhas e dos rizomas, sendo essas: “Banana, Creoula, Guadalupe, Santa Catarina, Seta, Ovo-de-pata e Comum” (DE OLIVEIRA GUILHERME *et al.*, 2018, p. 171), verificando-se, ainda, o estudo nos últimos anos, da araruta “Viçosa” (Vieira *et al.*, 2015). A variedade Comum é a mais difundida comercialmente e apresenta rizomas claros, com tamanho de até 30 centímetro conforme a qualidade do solo, fusiforme, recobertos por escamas (LEONEL; CEREDA, 2002). A Figura 1 apresenta as características morfológicas da variedade Comum.

Figura 1 – Características morfológicas da variedade araruta comum (*Maranta arundinacea* L.)



Legenda: (A) Planta no estado vegetativo. (B) Inflorescência. (C) Pulvino. (D) Rizoma. (E) Raízes fasciculadas
Fonte: DE OLIVEIRA GUILHERME *et al.* (2018, p. 172).

A extração do amido ocorre, de forma geral, a partir do processo de: 1) higienização e descascamento dos rizomas; 2) trituração; 3) filtração da massa fibrosa; 4) lavagem da massa até completa remoção do amido; 5) sedimentação do amido e escoamento da água manualmente; 6) secagem do amido; 7) moagem do amido (CAPIÑA; CAPIÑA, 2017; FERREIRA LIMA *et al.*, 2019; FIDELES *et al.*, 2019; NOGUEIRA; FAKHOURI; DE OLIVEIRA, 2018).

O rendimento do amido obtido após a extração é relativamente baixo, devido aos mecanismos manuais utilizados, variando entre 13 e 20% (CAPIÑA; CAPIÑA, 2017; MADEIRA *et al.*, 2013; NOGUEIRA; FAKHOURI; DE OLIVEIRA, 2018; PUERTA *et al.*, 2020). A fibra residual, antigamente utilizada como ração animal, apresenta rendimento de 30 a 40% e passa a ser também usada no desenvolvimento de produtos alimentícios (MADEIRA *et al.*, 2013; NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005).

A fécula de araruta apresenta composição proximal com diferenças de acordo com a variedade da planta, as características dos rizomas e os métodos de análise utilizados. São encontrados valores na literatura com a variação de: 10 a 15% de umidade; 0,03 a 0,64% de cinzas; 13,7% de fibra alimentar; 0,41 a 0,85% de proteína; 0,1 a 0,34% de lipídios; 83,09 a 83,67% de amido; 17,8 a 40,86% de amilose; 59,14 a 82,2% de amilopectina (CUNHA, 2016; KUMALASARI *et al.*, 2012; RODRIGUES *et al.*, 2018; VALENCIA *et al.*, 2014).

Em geral, a relação amilose:amilopectina, polímeros que formam o amido, influencia em sua digestibilidade, sendo esta inversamente proporcional ao conteúdo de amilose, devido a sua interação com a matriz proteica do grânulo de amido (NUNES *et al.*, 2020; TORAL *et al.*, 2002). A amilopectina, dessa forma, apresenta melhor digestibilidade que a amilose, uma vez que sua forma amorfa contribui com a maior penetração de água e eficiência da degradação enzimática (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015). Outros fatores como a forma física do amido, presença de barreiras físicas nos grãos de cereais, os fatores antinutricionais, a forma física do alimento fornecido e os diferentes tipos e intensidades de processamento aplicados aos alimentos, também interferem na digestibilidade do amido (MAY, 2008).

Os amidos de raízes e tubérculos, geralmente, são menos digeríveis que os amidos de cereais, uma vez que são menos susceptíveis à hidrólise enzimática (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986). Uma taxa de digestão dos amidos mais lenta favorece a dieta de pessoas com diabetes e hiberlipidemia (VILLAS BOAS, 2014).

Naturalmente, a fécula de araruta, assim como os amidos provenientes de raízes e tubérculos, também não apresenta glúten em sua composição, sendo possível a sua utilização por pessoas celíacas ou intolerantes à proteína (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005; VIEIRA *et al.*, 2015). Os rizomas também podem ser usados no tratamento de úlceras pépticas e na administração de dietas com necessidade de controle da glicemia, tendo em vista que apresentam baixo índice glicêmico (IG 32), exercendo, assim, propriedade anticolesterol e antiúlcera (DESWINA; PRIADI, 2020). Ainda, o extrato do rizoma da araruta apresenta efeitos imunomoestimuladores, estimulando a produção de imunoglobulinas IgG, IgA e IgM *in vitro* e aumentando os níveis séricos de IgG, IgA e IgM *in vivo* (camundongos) (KUMALASARI *et al.*, 2012).

Tradicionalmente indicada para o consumo de convalescentes e crianças de 6 a 8 meses, no tratamento de diarreia, e para fortalecimento de puérperas (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005; ZÁRATE; VIEIRA, 2005), pesquisadores encontram, ao longo do tempo, outras características nutricionais e antioxidantes da araruta, importantes para a saúde dos indivíduos e para o tratamento de doenças.

A presença de compostos fenólicos, flavonoides, alcaloides e saponinas, caracteriza a araruta com alto potencial antioxidante (RAMADHANI; BACHRI; WIDYANINGSIH, 2017). No

estudo desenvolvido por Kusbandari e Susanti (2017), o extrato do rizoma fresco apresentou maior atividade antioxidante, comparado ao extrato da folha fresca ($1,78 \mu\text{g mL}^{-1}$ e $0,27 \mu\text{g mL}^{-1}$, respectivamente). Dessa forma, considera-se que a planta pode exercer um papel no combate a doenças cardiovasculares, ao câncer e envelhecimento (DESWINA; PRIADI, 2020; NISHAA *et al.*, 2012).

O extrato obtido da fécula de araruta também apresenta maior valor de compostos fenólicos e atividade antioxidante, variando de acordo com o tipo de planta, comparado, por exemplo, ao extrato da farinha de taro. No estudo realizado por Nascimento (2015), a fécula de araruta da variedade Comum apresentou $376,60 \text{ mg}/100\text{g}$ de ácido gálico e $5,49 \mu\text{g Trolox g}^{-1}$ de capacidade antioxidante, enquanto a farinha de taro apresentou $65,42 \text{ mg}/100\text{g}$ e $5,08 \mu\text{g trolox g}^{-1}$, respectivamente. Fortes e colaboradores, ao avaliarem os fenólicos totais do extrato da farinha de arroz, utilizando o mesmo método de Nascimento (2015), também encontraram valor inferior ($189,39 \text{ mg}/100\text{g}$ de ácido gálico) à fécula de araruta.

Apesar de suas propriedades, o cultivo da araruta cedeu espaço, nos últimos 65 anos, para outras culturas de escala industrial, como mandioca, milho, trigo e aveia, quase alcançando a extinção (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005), sendo classificada pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) entre as culturas negligenciadas (DE OLIVEIRA GUILHERME *et al.*, 2018, p. 169). Porém, devido ao preço no mercado internacional, a não exigência de tecnologias sofisticadas para o cultivo e às características do amido para uso culinário, a indústria alimentícia volta a ter interesse pelo amido da araruta, de modo a despertar o cultivo no Brasil, principalmente pelos pequenos produtores, resgatando, assim, a araruta para a agricultura brasileira (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005; SOUZA *et al.*, 2019; VIEIRA *et al.*, 2015; ZÁRATE; VIEIRA, 2005).

3.1.2 Utilização da fécula de araruta na indústria de alimentos

O amido extraído dos rizomas da araruta permite a sua utilização na indústria de alimentos e se assemelham aos amidos isolados de batata, mandioca, banana e achira (*Canna edulis*) quanto à composição química, ao formato, tamanho de partículas e à temperatura de transição térmica. O tamanho e a forma dos grânulos são irregulares, apresentando formato esferoide e alongado e distribuição monomodal, e partículas e grânulos com tamanho médio entre 30 e $127 \mu\text{m}$ e $56,60 \mu\text{m}$, respectivamente (VALENCIA *et al.*, 2014).

Comumente utilizados na preparação de bolos, mingaus, biscoitos e doces (MADEIRA *et al.*, 2013), o amido ou a fécula de araruta, assim como os seus resíduos de produção, são estudados no desenvolvimento de outros produtos.

O amido da variedade Comum apresenta menor teor de amilose (17,8%) e forma géis mais firmes, podendo ser indicado para fabricação de produtos que precisam de consistência firme (RODRIGUES *et al.*, 2018). No estudo realizado por Cunha (2016), o amido da variedade Seta, apresentou baixa temperatura de pasta, alta viscosidade, baixa estabilidade a altas temperaturas e agitação, alta retrogradação e boa capacidade de absorção em óleo e água. Percebeu-se, assim, o potencial de utilização da araruta na indústria de panificação, filmes biodegradáveis, alimentos instantâneos, cereais matinais fortificados, alimentos infantis, produtos cárneos e *snacks*.

O uso da araruta na indústria de panificação é apresentado no estudo realizado por Han, Hwang e Rho (2013), elaborando pães brancos, no qual a viscosidade de pico, força de retenção de gases, quebra, viscosidade final e o encolhimento reduziram à medida em que a quantidade de amido de araruta foi aumentada. Em contrapartida, a dureza, elasticidade, coesividade e gomosidade aumentaram, assim como o tempo de armazenamento dos pães brancos elaborados.

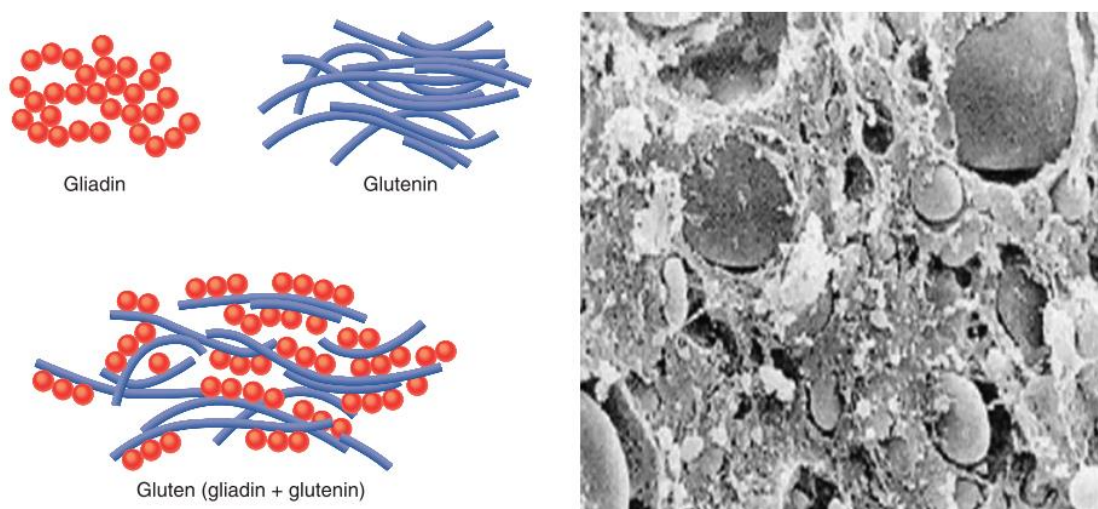
A qualidade de pães brancos frescos elaborados com fécula de araruta e farinha de trigo também foi analisada no estudo realizado por Sudaryati, Nasution e Ardiani (2017). Os resultados indicaram que a adição da fécula de araruta aumentou as quantidades de carboidratos, fibras e cinzas, demonstrando, assim, o potencial da planta para substituição da farinha de trigo em produtos panificados na proporção não superior a 30% (10:90, 20:80 e 30:70).

O uso de 50% de fécula de araruta, 25% de farinha de arroz e 25% de fécula de batata mostrou resultados superiores no teste de aceitação sensorial de pães sem glúten, quanto aos aspectos de sabor geral e impressão de textura, no estudo realizado por Castro (2018). Os resultados encontrados demonstraram o potencial de mercado e indicam a possibilidade de uso da araruta na indústria de panificação sem glúten.

3.2 Glúten

O glúten é um complexo proteico formado a partir da hidratação e ação mecânica de proteínas insolúveis em água, principalmente gliadinas e gluteninas (Figura 2), encontradas no trigo comum (*Triticum aestivum* L.) ou em suas variedades e derivados (COLLINS, 1976; FALCOMER *et al.*, 2020; LUDVIGSSON *et al.*, 2012; SULZBACH; FORTES BRAIBANTE; STORGATTO, 2015; ŽILIC, 2013). As gliadinas, são as proteínas de armazenamento ou reserva do trigo, denominadas prolaminas, e apresentam proporções aproximadamente iguais às gluteninas. As prolaminas também são encontradas em outros cereais: hordeínas (cevada), secalinas (centeio) e avenina (aveia) (BIESIEKIERSKI, 2017; OLSON, 1913; TORRES *et al.*, 2009).

Figura 2 – Estrutura do glúten



Legenda: À esquerda, apresentam-se as classes de proteínas que formam o glúten e como elas interagem. À direita, a micrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura mostra a interação estrutural entre as gliadinas e gluteninas.

Fonte: FASANO (2011, p. 162).

A composição de aminoácidos da gliadina e glutenina (Tabela 1) confere ao glúten características únicas, sendo glutamina (Gln) e prolina (Pro) responsáveis por mais de 40% dos resíduos de aminoácidos. O alto conteúdo de Gln e cerca de 10% de hidroxilaminoácido são responsáveis pelas propriedades de ligação do glúten à água. O baixo teor de lisina (Lys), arginina (Arg), ácido glutâmico (Glu) e ácido aspártico (Asp) – menos de 10% dos resíduos de aminoácidos, favorece com a baixa solubilidade do glúten. Aproximadamente 30% dos resíduos de aminoácidos do glúten são hidrofóbicos e contribuem para sua capacidade de formar

agregados proteicos por interações hidrofóbicas e de ligar lipídeos e outras substâncias não polares (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007, p. 291).

Tabela 1 – Composição de aminoácidos da gliadina e glutenina

Aminoácido	Gliadina (mol %)	Glutenina (mol %)
Cisteína (Cys)	2,6	3,3
Metionina (Met)	1,4	1,2
Ácido aspártico (Asp)	3,7	2,8
Treonina (Thr)	3,4	2,4
Serina (Ser)	6,9	6,1
Glutamina + Ácido glutâmico (Glx)	28,9	4,6
Prolina (Pro)	11,9	16,2
Glicina (Gly)	7,5	3,1
Alanina (Ala)	4,4	3,3
Valina (Val)	4,8	4,8
Isoleucina (Ile)	3,7	4,3
Leucina (Leu)	6,5	6,9
Tirosina (Tyr)	2,5	1,8
Fenilalanina (Phe)	3,6	4,3
Lisina (Lys)	2,0	0,6
Histidina (His)	1,9	1,9
Arginina (Arg)	3,0	2,0
Triptofano (Trp)	1,3	0,4

Legenda: A maior parte da Glx na proteína do trigo está na forma de Gln.

Fonte: Adaptado de DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA (2007, p. 292).

As proteínas do glúten contribuem para as propriedades reológicas e a qualidade de produtos panificáveis, conferindo à massa força, capacidade de retenção de gás e propriedades elásticas, de viscosidade e extensibilidade (COLLINS, 1976; FOSCHIA *et al.*, 2016).

As gliadinas são proteínas monoméricas e solúveis em solução aquosa de etanol 70%. Inicialmente foram divididas em quatro grupos (α -, β -, γ - e ω -gliadinas), diferenciadas por sua mobilidade eletroforética em baixo pH, em ordem decrescente (HASSANI *et al.*, 2008; WOTCHIK; HUEBNER; DIMLER, 1964; WOYCHIK; BOUNDY; DIMLER, 1961). Estudos anteriores, no entanto, mostravam que as gliadinas α - e β - se enquadravam no grupo tipo α/β . O emprego de métodos mais modernos, como eletroforese bidimensional ou cromatografia líquida de alta eficiência de fase reversa (CLAE-FR), permitem a separação da gliadina em mais de cem componentes que podem ser divididos em quatro tipos diferentes, de

acordo com a análise da sequência de aminoácidos completas ou parciais, a composição de aminoácidos e o peso molecular: ω 5-, ω 1,2-, α/β - e γ -gliadinas (WIESER, 1996) Apresentam-se como polipeptídios únicos com peso molecular que variam de 30.000 a 80.000 Da e, com exceção da ω 5 gliadina, contêm um número par de resíduos de cisteína que originam ligações dissulfeto intramoleculares. Durante o processamento da massa, as ligações dissulfeto permanecem como intramoleculares, contribuindo para sua viscosidade e extensibilidade (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007; JOHANSSON *et al.*, 2013; WIESER, 2007).

As gluteninas constituem um grupo de proteínas heterogênicas poliméricas, insolúveis em solução aquosa de etanol, cujas subunidades são mantidas por meio de ligações dissulfeto intermoleculares com peso que pode alcançar a casa dos milhões (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007). As subunidades dividem-se em dois grupos, conforme o peso molecular: subunidades de glutenina de alto peso molecular (HMW-GS), com peso molecular de 65.000 a 90.000 Da; e subunidades de glutenina de baixo peso molecular (LMW-GS) tipos B, C e D, com peso molecular de 30.000 a 60.000 Da (D'OVIDIO; MASCI, 2004; JOHANSSON *et al.*, 2013). Devido ao grande tamanho dos polímeros, as gluteninas hidratadas são elásticas e coesivas, sendo responsáveis pela força e elasticidade da massa (POURMOHAMMADI; ABEDI, 2021; WIESER, 2007; WRIGLEY, 1996; ŽILIC, 2013).

A ingestão de glúten pode ocasionar reações imunológicas em indivíduos susceptíveis, responsáveis pelo desenvolvimento de doenças. Tais reações estão diretamente relacionadas às prolaminas que formam o glúten (CODEX ALIMENTARIUS, 2008). Os altos teores dos aminoácidos Glu e Pro presentes nas prolaminas do centeio e cevada também são considerados importantes para a toxicidade relacionada ao glúten. Outros cereais como milho, painço e arroz, não tóxicos, apresentam prolaminas ricas em Leu e Ala. Já as prolaminas da aveia, apresentam alto teor de Glu, porém o conteúdo de Pro é relativamente baixo (WIESER, 1996). No entanto, a toxicidade potencial da aveia e a recomendação de sua ingestão para pessoas com distúrbios relacionados ao glúten ainda é controversa.

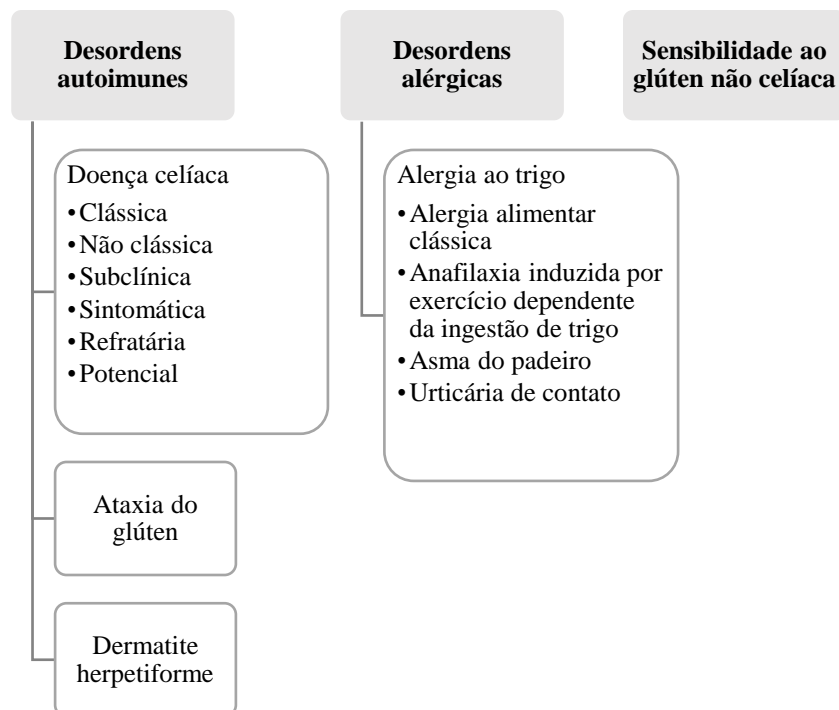
Alguns autores mencionam a presença de glúten também na aveia, relacionando-a ao processo de contaminação cruzada durante o plantio, a colheita, produção e distribuição junto aos outros cereais (ATASOY; KURT GOKHISAR; TURHAN, 2019; BIESIEKIERSKI, 2017; CODEX ALIMENTARIUS, 2008). Para Mcallister, Williams e Clarke (2019) as prolaminas da aveia, não estão diretamente relacionadas às proteínas formadoras de glúten presentes no trigo, como

acontece com o centeio e a cevada, considerando que a hordeína e secalina têm uma sequência de aminoácidos similar às gliadinas. Em contrapartida, outros autores (BENOIT *et al.*, 2017; COMINO *et al.*, 2011; COMINO; DE LOURDES MORENO; SOUSA, 2015) apresentam a toxicidade da avenina presente em diferentes cultivares de aveia, o que foi discutido no tópico a seguir.

3.2.1 Doenças associadas à ingestão de glúten

O grupo de patologias que incluem as desordens relacionadas ao glúten foi definido por meio de extensa revisão de literatura realizada por médicos, publicada em 2012, onde estabeleceu-se as definições de Olso (LUDVIGSSON *et al.*, 2012). A classificação das desordens relacionadas ao glúten é apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Classificação das desordens relacionadas ao glúten



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A sequência de peptídeos (epítomos) da gliadina é altamente resistente à digestão proteolítica gástrica, pancreática e intestinal. O alto conteúdo de aminoácidos Pro e Glu é responsável pela difícil digestão da gliadina, uma vez que muitas proteases não são capazes de fragmentá-los. Os resíduos ricos em Pro criam estruturas compactas, que afetam a permeabilidade da mucosa

intestinal, sendo um dos principais fatores que podem mediar as reações adversas nas doenças relacionadas ao glúten (BIESIEKIERSKI, 2017; FENACELBRA, 2021; SAPONE *et al.*, 2012).

De forma geral, o tratamento para as desordens relacionadas ao glúten é baseado em uma dieta isenta de glúten ou *gluten-free* (BOARIM, 2018; CZAJA-BULSA, 2015; PIETZAK, 2012). O *Codex Alimentarius* considera que os alimentos sem glúten são produtos dietéticos feitos com um ou mais ingredientes que não contêm trigo, centeio, cevada e aveia ou suas variedades, cujo nível de glúten não excede 20 ppm; ou produtos dietéticos feitos com um ou mais ingredientes que contenham trigo, centeio, cevada e aveia ou suas variedades, que sofreram tratamento para remoção do glúten, cujo nível não ultrapasse 20 ppm (CODEX ALIMENTARIUS, 2008).

Vários estudos demonstram que a imunogenicidade da aveia tem relação com a cultivar consumida, sendo necessários pesquisas adicionais sobre as diferentes cepas do cereal e sua relação com os indivíduos sensíveis (BENOIT *et al.*, 2017; COMINO; DE LOURDES MORENO; SOUSA, 2015; DE SOUZA *et al.*, 2016; GIMÉNEZ *et al.*, 2017; RICHMAN, 2012). No trabalho realizado por Benoit e colaboradores (2017), usando o método R5 ELISA no formato sanduíche para análise de extratos de aveninas preparados a partir de 19 variedades de aveia, considerando que anticorpos específicos de glúten podem se ligar a motivos estruturais de folha- β presentes em aveninas que compartilham homologia estrutural com gliadina. Foram encontrados três cultivares de aveia com valores de densidade óptica acima de 20 ppm de densidade óptica de glúten com base nos padrões de gliadina de trigo. Dessa forma, pacientes com desordens relacionadas ao glúten devem ser criteriosamente monitorados quanto à ingestão de alimentos que apresentam aveia em sua composição, assim também como discutido por Silano *et al.* (2007).

Os países apresentam diferentes regulamentações quanto à rotulagem de produtos sem glúten, seguindo, normalmente, a referência do *Codex Alimentarius* e recomendando a adoção de boas práticas de fabricação como forma de evitar a contaminação cruzada por glúten. Os Estados Unidos, o Canadá e a União Europeia adotam o limite de 20 ppm. Na Argentina, utiliza-se o limite de 10 ppm. Já a legislação na Austrália e Nova Zelândia é mais rigorosa, afirmando que os produtos para serem considerados isentos de glúten, não devem apresentar glúten detectável (MONTEIRO *et al.*, 2021).

A legislação brasileira não define um limite tolerável de glúten, mas torna obrigatória a declaração de glúten nos rótulos de todos os produtos alimentícios comercializados, por meio da Lei nº 10.674, de 16 de maio de 2003 (BRASIL, 2003). Além disso, a declaração de trigo, centeio, cevada, aveia e suas linhagens hibridizadas, ingredientes alergênicos, também é obrigatória para alimentos embalados na ausência do consumidor, como dispõe a Resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) RDC nº 26, de 02 de julho de 2015 (BRASIL, 2015). Tais legislações apresentam-se como medida preventiva e de controle para as desordens relacionadas ao glúten.

3.2.1.1 Doença Celíaca

A Doença Celíaca (DC) é caracterizada como uma enteropatia autoimune crônica que afeta o intestino delgado, desencadeada pela exposição ao glúten da dieta em crianças, adultos e idosos geneticamente predispostos (LUDVIGSSON *et al.*, 2012; TANVEER; AHMED, 2019). Aproximadamente 1% da população mundial apresenta a doença, sendo a prevalência de celíacos entre os brasileiros de 2 milhões, predominantemente indivíduos do sexo feminino (2:1), atingindo com maior frequência indivíduos de cor branca, de diferentes classes sociais (FENACELBRA, 2021).

O número de casos da doença aumenta em condições de risco, como histórico familiar de DC, doenças autoimunes, deficiência de Imunoglobulina A (IgA), algumas síndromes genéticas (como síndromes de Down, Turner e William) e principalmente Diabetes Tipo 1 e tireoidite (SAPONE *et al.*, 2012).

As manifestações clínicas da DC, incluindo os sintomas intestinais e extraintestinais, caracterizam suas diferentes categorias: clássica, não clássica, subclínica, sintomática, refratária e potencial (LUDVIGSSON *et al.*, 2012).

- DC clássica: se manifesta com sintomas de má absorção, sendo necessária a presença de diarreia, esteatorreia, perda de peso ou deficiência de crescimento.
- DC não clássica: o indivíduo não apresenta sintomas de má absorção, podendo, por exemplo, ter constipação e dor abdominal, sem má absorção.
- DC subclínica: os sinais e sintomas não são suficientes para incentivar a realização do teste da doença, estando abaixo do limiar de detecção clínica.

- DC sintomática: caracteriza-se pela presença de sintomas gastrointestinais e/ou extraintestinais com evidência clínica, atribuída à ingestão de glúten.
- DC refratária: consiste na apresentação de sinais e sintomas de má absorção persistentes ou recorrentes com atrofia das vilosidades, mesmo diante de uma dieta isenta de glúten por mais de doze meses.
- DC potencial: a pessoa apresenta a mucosa do intestino delgado normal e risco aumentado de desenvolver a doença, conforme indicação da sorologia positiva para DC (LUDVIGSSON *et al.*, 2012).

A complexidade da doença, muitas vezes, dificulta o seu diagnóstico. Normalmente são realizados testes sorológicos, utilizando anticorpos anti-tTG IgA (antitransglutaminase), anti-EMA IgA (antiendomísio) e anti-DGP IgG (antigliadina deamidada) e biopsia duodenal para confirmação do resultado (ORTIZ; VALENZUELA; LUCERO ALVAREZ, 2017).

3.2.1.2 Ataxia do glúten

A ataxia do glúten foi definida originalmente como ataxia esporádica idiopática com a presença de marcadores sorológicos positivos para sensibilidade ao glúten (HADJIVASSILIOU *et al.*, 1998). Caracteriza-se como uma doença autoimune, resultante de dano imunológico ao cerebelo, causando ataxia cerebelar ou, menos frequente, ataxia em combinação com mioclonia, tremor palatino ou mioclonia *opsoclonus*, sendo considerada uma das manifestações neurológicas atribuída à Doença Celíaca (LUDVIGSSON *et al.*, 2012; SAPONE *et al.*, 2012). O desenvolvimento da doença ocorre devido ao efeito causado pela reatividade cruzada de anticorpos entre epítomos antigênicos de células Purkinje e proteínas do glúten, de forma insidiosa, com média de idade de início de 53 anos (SAPONE *et al.*, 2012).

A descoberta da transglutaminase G (TG6), expressa principalmente no tecido neuronal, possibilitou a identificação de anticorpos anti-TG6 como marcador mais sensível e específico para o diagnóstico de ataxia do glúten, sugerindo-se a nomenclatura ataxia esporádica idiopática com anticorpos circulantes para TG6 como mais adequada para a doença. Tais anticorpos são considerados glúten dependentes, uma vez que a adoção de dieta isenta de glúten reduz seus níveis sérios (HADJIVASSILIOU *et al.*, 2013).

3.2.1.3 Dermatite herpetiforme

A dermatite herpetiforme é uma doença autoimune, caracterizada como uma manifestação cutânea da DC, que provoca o desenvolvimento de bolhas pruriginosas comumente localizadas nos cotovelos, joelhos e nádegas e ocasionalmente no couro cabeludo e na parte superior das costas. Depósitos granulares de IgA na pele de área perilesional, observados por meio de biopsia de pele, representam o *gold standard* para o diagnóstico de dermatite herpetiforme (BONCIOLINI *et al.*, 2019; MCALLISTER; WILLIAMS; CLARKE, 2019; ZONE, 2005).

A doença predomina em indivíduos do sexo masculino, com idade entre 30 e 40 anos, apresentando origem genética, ambiental e imunológica. O tratamento é baseado em uma dieta isenta de glúten associada a medicamentos. Observa-se que pacientes que não restringem o glúten da alimentação apresentam remissão incompleta da dermatite mais frequente (CAPRONI *et al.*, 2009; HOLANDA *et al.*, 2021).

3.2.1.4 Alergia ao trigo

A alergia ao trigo caracteriza-se como uma reação de hipersensibilidade às proteínas do trigo, mediada por mecanismos imunológicos que acomete normalmente crianças na primeira infância, sendo menos comum em adolescentes e adultos (HILL *et al.*, 2016). Sua classificação ocorre de acordo com a rota de exposição ao alérgeno e os mecanismos imunológicos subjacentes, podendo ser: alergia alimentar clássica; anafilaxia induzida por exercício dependente da ingestão trigo; asma ocupacional (asma do padeiro); e urticária de contato (SAPONE *et al.*, 2012).

As gliadinas, sobretudo a gliadina ω -5, são os principais alérgenos envolvidos na alergia ao trigo (PIETZAK, 2012). A resposta imunológica pode ser mediada pela imunoglobulina E (IgE), não mediada por IgE ou uma combinação de ambas. Os sintomas normalmente incluem inchaço, prurido e irritação (boca, garganta, no nariz e nos olhos); erupções cutâneas, urticária e inchaço (pele); respiração ofegante e dificuldade para respirar (trato respiratório); além de sintomas similares à Doença Celíaca que envolvem o trato gastrointestinal (náuseas, vômitos, diarreia, distensão abdominal, cólicas) (HILL *et al.*, 2016).

A prova de provocação oral é considerada o *gold standard* para o diagnóstico da alergia ao trigo (FERREIRA; INÁCIO, 2018), podendo ser realizados os exames *prick test*, ou sorológico para determinação de IgE específica anti-farinha de trigo, cevada e centeio para confirmação. A melhora dos sintomas é observada com a eliminação do trigo e dos produtos derivados do trigo da dieta, bem como evitando-se estritamente a exposição às proteínas do trigo pelas vias cutânea, gastrointestinal e respiratória (ORTIZ; VALENZUELA; LUCERO ALVAREZ, 2017; PIETZAK, 2012).

3.2.1.5 Sensibilidade ao glúten não celíaca

A sensibilidade ao glúten não celíaca caracteriza-se por uma ou mais variedades de manifestações imunológicas, morfológicas ou sintomáticas que são desencadeadas pela ingestão de glúten e suavizadas com a sua retirada da dieta em pessoas nas quais o diagnóstico de DC, alergia ao trigo e outras doenças sobrepostas, como Diabetes Tipo 1, infecção por *Helicobacter pylori* e doenças inflamatórias intestinais, foi descartado (LUDVIGSSON *et al.*, 2012; SAPONE *et al.*, 2011).

Diferente da DC, as pessoas com sensibilidade ao glúten não celíaca não apresentam danos no intestino delgado e o quadro clínico normalmente é menos grave e não apresenta simultaneidade de autoanticorpos tTG ou doença autoimune. O diagnóstico geralmente é realizado por exclusão e a manutenção de uma dieta isenta de glúten com a introdução monitorada de alimentos com glúten são mais utilizados para avaliação se a saúde do indivíduo melhora com sua eliminação ou redução (FERREIRA; INÁCIO, 2018; SAPONE *et al.*, 2011).

Além das pessoas que apresentam desordens relacionadas ao glúten, observa-se a crescente procura de consumidores sem restrições por produtos sem glúten, devido a associação da dieta isenta de glúten ao estilo de vida mais saudável e à perda de peso, ainda que sem evidências científicas fortes (DE GIORGIO; VOLTA; GIBSON, 2016; MASURE; FIERENS; DELCOUR, 2016; MOLINA-INFANTE *et al.*, 2015; STAUDACHER; GIBSON, 2015), aumentando, assim a sua popularidade e disponibilidade no mercado nos últimos cinco anos ou mais (HARTMANN *et al.*, 2018). Dados da *Euromonitor International* estimam o aumento entre 35% e 40% nas vendas de produtos sem glúten, representando a maior previsão de crescimento no Brasil entre as categorias de alimentos funcionais, naturais ou com apelo de saudabilidade (ABIMAPI, 2019).

De acordo com a Associação dos Celíacos do Brasil (ACELBRA, 2015), o pão é o produto que os celíacos gostariam de encontrar com maior facilidade, representando 47% das indicações entre os entrevistados, seguido do macarrão (21%), bolachas e biscoitos (21%) e pizza (11%).

3.3 Panificação

A origem do pão é datada nos primórdios da civilização, sendo detectados vestígios de sua fabricação há 10.000 a.C. na região onde hoje encontra-se a Suíça. A massa rudimentar denominada *gruel*, produzida a partir de grãos triturados ou moídos acrescidos de água ou leite, parece ter dado origem ao pão, ainda nos primórdios da Idade da Pedra. Todos os tipos de grãos eram utilizados no preparo do *gruel* e, com o tempo, a seleção da matéria prima foi realizada de forma gradativa, sendo hoje o trigo e centeio os cereais mais utilizados. No Brasil, o consumo de pão se popularizou no século XIX com a vinda de imigrantes italianos que expandiram a atividade de panificação no país (FREIRE, 2011).

Os pães são definidos como os produtos obtidos da “farinha de trigo e/ou de outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes do processo de fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos”, podendo apresentar diferentes coberturas, recheios, formatos e texturas (BRASIL, 2005a).

O setor de panificação no Brasil é expressivo para economia do país, sendo responsável pelo faturamento de R\$ 95,08 milhões no ano de 2019. A pandemia de Covid-19 foi responsável pela queda do faturamento de 3,3% em 2020, devido, principalmente, à redução do fluxo de clientes às padarias, havendo expectativa de recuperação em 2021, a partir das tendências e inovações tecnológicas (ABIP, 2020). Em contrapartida, observou-se, no ano de 2020, o aumento do consumo de pães industrializados, alcançando a média *per capita* de 2,88 Kg. Nesse ano, o produto esteve presente em 89% dos lares brasileiros (ABIMAPI, 2021), sendo os líderes de preferência da população os pães fatiados brancos (REGO; VIALTA; MADI, 2020).

Os ingredientes basicamente utilizados na produção de pães industriais ou artesanais são farinha, principalmente a farinha de trigo, fermento biológico, água e sal. Açúcar, lipídeos, ovos, leites e grãos são considerados ingredientes enriquecedores utilizados para aumentar o valor nutricional do pão, bem como a textura e aparência, agregando sabor e aroma ao produto

final (RICHTER, 2019). O Quadro 1 apresenta o resumo das características, funções e proporções de cada ingrediente normalmente utilizado nas formulações dos pães.

Quadro 1 – Resumo das características, funções e proporções (em relação ao peso da farinha) dos ingredientes utilizados nas formulações dos pães (continuação)

Ingredientes	Características	Funções	Proporção
Farinha	<ul style="list-style-type: none"> - A farinha obtida por meio do beneficiamento do trigo é mais utilizada na produção de pães, por apresentar proporções adequadas de proteínas para formação do glúten; - Farinhas de trigo “fracas”: apresentam cerca de 7% de proteínas, sendo mais ideais para a produção de bolos, biscoitos e produtos de confeitaria; - Farinhas de trigo “fortes”: apresentam mais de 9% de proteínas, mais comumente encontradas nas marcas internacionais, têm melhor formação de glúten; - A legislação brasileira (BRASIL, 2005b) classifica a farinha de trigo em 3 tipos, de acordo com a granulometria e o teor de cinzas e proteínas: Tipo 1, Tipo 2 ou integral; - Outras farinhas são utilizadas em complemento à farinha de trigo ou em sua substituição total, sendo o amido o componente mais importante para produção de pães. Normalmente utiliza-se farinhas de centeio, arroz, milho, aveia, cevada, fécula de mandioca, araruta e amaranto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Glúten: conferir elasticidade, resistência à tensão e extensibilidade à massa durante a fermentação; - Amido: dar corpo ao miolo, maciez e interferir na coloração do pão. 	100%
Fermento biológico	<ul style="list-style-type: none"> - É composto por leveduras da espécie <i>Saccharomyces cerevisiae</i>, que consomem o açúcar da massa, produzindo álcool etílico e dióxido de carbônico; 	<ul style="list-style-type: none"> - Produzir volume; - Conferir textura mais macia ao produto final; - Aumentar a vida útil. 	1 a 2%

Quadro 1 – Resumo das características, funções e proporções (em relação ao peso da farinha) dos ingredientes utilizados nas formulações dos pães (continuação)

Ingredientes	Características	Funções	Proporção
	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser apresentado em diferentes formas, de acordo com as características físicas e teor de umidade: prensado ou fresco, granulado, cremoso, seco em pellets, solúvel, encapsulado, liofilizado e congelado; - Existe uma relação inversamente proporcional entre a quantidade de fermento utilizado e o tempo de desenvolvimento da massa. 		
Água	<ul style="list-style-type: none"> - A água é adicionada à farinha até a massa atingir viscosidade, considerando a capacidade de absorção da farinha. - Sua quantidade deve ser bem controlada, uma vez que a falta não permite a formação de glúten por completo e o excesso provoca o enfraquecimento do glúten, retardando a formação da massa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hidratar a farinha para formação do glúten. - Conduzir e controlar a temperatura da massa. - Dissolver o sal. - Contribuir para a fermentação do pão. - Determinar a consistência final da massa. - Contribuir com a elasticidade, textura e maciez da massa. 	55 a 60%
Sal (cloreto de sódio)	<ul style="list-style-type: none"> - É indispensável para o processo de produção dos pães. - Fundamental para o controle do tempo de fermentação, uma vez que retarda a ação do fermento. - Quanto maior o percentual de sal usado no pão, em relação ao peso da farinha, maior o tempo de fermentação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Realçar o sabor do pão. - Aumentar a plasticidade, melhorando a força do glúten. - Conferir coloração à crosta do pão e a cor clara ao miolo. - Contribuir com a conservação do produto final. 	1 a 1,5 % - massa doce 2,0% - massa salgada

Quadro 2 – Resumo das características, funções e proporções (em relação ao peso da farinha) dos ingredientes utilizados nas formulações dos pães (conclusão)

Ingredientes	Características	Funções	Proporção
Açúcar	<ul style="list-style-type: none"> - Também contribui para o controle do tempo de fermentação, de forma menos expressiva que o sal. - O tempo de fermentação é diretamente proporcional à quantidade de açúcar utilizada no preparo da massa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ativar o fermento. - Coloração da crosta do pão (reação de <i>Maillard</i>). - Conferir sabor ao produto final. 	<ul style="list-style-type: none"> 0 a 4% - pão francês 5 a 15% - pão semidoce 15 a 30% - pão doce
Lipídeos	<ul style="list-style-type: none"> - Fundamental nos sistemas de panificação de massa sem descanso; - Podem ser de origem animal (banha de porco, manteiga) ou vegetal (azeite, óleos e gorduras hidrogenadas); - Deve ser adicionada ao final da produção para não impedir a penetração de água no processo inicial. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentar a vida útil; - Melhorar aroma, sabor, textura (maior maciez); - Aumentar valor nutricional; 	<ul style="list-style-type: none"> 2% - pão francês 3 a 6% - pão semidoce Até 10% - pão doce
Ovos	<ul style="list-style-type: none"> - Adicionado à farinha, os ovos estruturam a massa, possibilitando a hidratação da farinha. - Um percentual mínimo de 15% de água deve ser acrescentado junto aos ovos, para auxiliar na formação de glúten. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agregar valor nutricional ao pão. - Auxiliar na textura, coloração, sabor e crescimento. - Conferir maior maciez ao produto final. 	-
Leite	<ul style="list-style-type: none"> - Líquido que também pode ser utilizado no preparo dos pães para hidratação da farinha. - Quando utilizado leite em pó, este deve ser adicionado junto à farinha. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentar o valor nutritivo. - Melhorar a textura do pão. - Contribuir para a coloração do produto final. 	-

Fonte: Elaborado pela autora, 2022, considerando as obras de CAUVAIN; YOUNG (2009), GALVES (2014) e RICHTER (2019).

O estudo *Brasil Bakery & Confectionery Trends 2020*, realizado pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL, apontou que uma das grandes tendências do setor de panificação é a Indulgência Consciente, que faz com que os produtos tradicionais sejam reformulados, focando na sensorialidade aliada à nutrição, saúde, naturalidade e sustentabilidade (QUEIROZ; REGO;

JARDIM, 2014). Nessa tendência estão incluídos os produtos *free from*, livres de ingredientes alérgenos, como os pães isentos de glúten (ABIP, 2019).

3.3.1 Pães sem glúten

A tendência de produtos *free from* no Brasil se tornou mais relevante em 2017, onde o interesse por alimentos isentos de glúten expandiu para além dos consumidores com desordens relacionadas ao glúten (MINTEL, 2017). Os produtos de panificação são os mais comuns entre as compras de alimentos sem glúten, sendo responsáveis por aproximadamente 40% do custo (SOUSA, 2019). O consumo anual de pães sem glúten no Brasil é pouco mais de US\$ 1 dólar *per capita* (ABIMAPI, 2019).

O desenvolvimento de pães sem glúten com qualidade sensorial que atenda as demandas dos consumidores representa um dos maiores desafios tecnológicos para indústria de panificação (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004). Ao contrário dos pães elaborados com farinha de trigo, as massas sem glúten são pouco elásticas e coesivas, sendo difíceis de manusear, além da retenção de gás ser controlada principalmente pela sua viscosidade, uma vez que não há formação de rede proteica. Os pães sem glúten apresentam, dessa forma, volumes normalmente mais baixos (BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020; KURNIASARI *et al.*, 2019).

A farinha de arroz e o amido de milho são as duas principais fontes de amido utilizadas na produção de pães isentos de glúten (MANCEBO *et al.*, 2015a). Além destas, as farinhas de batata e tapioca, bem como suas misturas com a farinha de arroz e o amido de milho, também são muito utilizadas, inclusive nos pães comerciais (HORSTMANN; LYNCH; ARENDT, 2017).

Observa-se o emprego de tecnologias e desenvolvimento de ingredientes para substituir o glúten nos produtos panificados, contribuindo com a melhoria das características sensoriais e nutricionais do produto final (CAPRILES; ARÊAS, 2011; QUEIROZ; REGO; JARDIM, 2014). O uso de aditivos que incluem acidificantes, emulsificantes, agentes fermentantes, hidrocoloides, conservantes e aromatizantes é observado na lista de ingredientes dos pães sem glúten comercializados em todo o mundo (ROMAN; BELORIO; GOMEZ, 2019). Abordagens inovadoras, como o uso de enzimas, também são aplicadas, visando a substituição da rede de glúten (BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020).

3.3.2 Hidrocoloides

Os hidrocoloides, também denominados gomas alimentares, são polissacarídeos não amiláceos, em sua maioria provenientes de fontes naturais. Formados por unidades de glicosil, lineares ou ramificadas, apresentam ampla variação de grau de polimerização e alto peso molecular (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007, p. 108). A presença de vários grupamentos hidroxila (-OH) aumentam a afinidade desses polissacarídeos por moléculas de água, tornando-os compostos hidrofílicos. Quando dispersos em água, exibem propriedades de um coloide, sendo, então, apropriadamente denominados “coloides hidrofílicos” ou hidrocoloides (SAHA; BHATTACHARYA, 2010).

As plantas terrestres (sementes, tubérculos, compostos da parede celular, exsudados), algas marinhas e os micro-organismos são as fontes para obtenção dos polissacarídeos naturais (FELLOWS, 2019, p. 7; NISHINARI; DOI, 1993). Devido, principalmente, a sua capacidade de modificar a reologia do sistema alimentar, incluindo o comportamento do fluxo (viscosidade) e a propriedade mecânica da matéria sólida (textura), os hidrocoloides são vastamente utilizados pela indústria de alimentos. Auxiliam nas propriedades sensoriais, sendo empregados como importantes aditivos alimentares em vários países (SAHA; BHATTACHARYA, 2010). No Brasil, o uso de aditivos alimentares é regulamentado pela Portaria n. 540, de 27 de outubro de 1997, considerando as referências estabelecidas pelo *Codex Alimentarius*, *Food and Drug Administration* e pela União Europeia (BRASIL, 1997).

De forma geral, os hidrocoloides são utilizados como agentes espessantes e geleificantes (YEMENICIOĞLU *et al.*, 2020), mas podem ainda funcionar como emulsificantes, estabilizantes, clarificantes, substitutos de gordura, agentes flocculantes, turvantes e de batimento (FELLOWS, 2019, p. 7; LI; NIE, 2016). Suas características reológicas, bem como sua funcionalidade, são determinadas por suas propriedades estruturais (conformações moleculares, pela massa molar e localização dos grupos carregados) e influências por variáveis de processamento (temperatura, pH, cisalhamento) (ABDEL-AAL, 2009; NISHINARI; DOI, 1993; YEMENICIOĞLU *et al.*, 2020).

Na indústria de panificação sem glúten, os hidrocoloides são amplamente empregados, sendo um dos ingredientes mais importantes e o principal aditivo utilizado em substituição à rede de

glúten (ROMAN; BELORIO; GOMEZ, 2019). Vários estudos apresentam sua aplicação como forma de melhorar as características reológicas e sensoriais dos pães isentos de glúten (ALENCAR *et al.*, 2017; LAZARIDOU *et al.*, 2007; LUO *et al.*, 2021; MAGHAYDAH *et al.*, 2013; PICO; BERNAL; GÓMEZ, 2017; TOUFEILI *et al.*, 1994).

A combinação de dois ou mais hidrocoloides é mais comum na elaboração de pães sem glúten comerciais do que o seu uso isolado (ROMAN; BELORIO; GOMEZ, 2019). Algumas revisões de literatura apontam que entre os hidrocoloides mais utilizados estão: hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), goma xantana, goma guar, *psyllium* (BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020; MATOS; ROSELL, 2014; TOTH; VATAI; KORIS, 2020). Além destes, também podem ser usados ágar-ágar, carragena, pectina, β -glucana, goma arábica, goma de alfarroba e goma konjac (HOUBEN; HÖCHSTÖTTER; BECKER, 2012; LAZARIDOU *et al.*, 2007).

São utilizadas quantidades mínimas de hidrocoloides, em concentrações que variam de 0,3% a 5% do total de farinha (CAPRILES; ARÊAS, 2014), sendo observado que concentrações acima 1,5% não apresentam aspectos sensoriais satisfatórios (SABANIS; TZIA, 2011), além de não conferir alterações significativas nas propriedades reológicas dos produtos (BALDINO *et al.*, 2018).

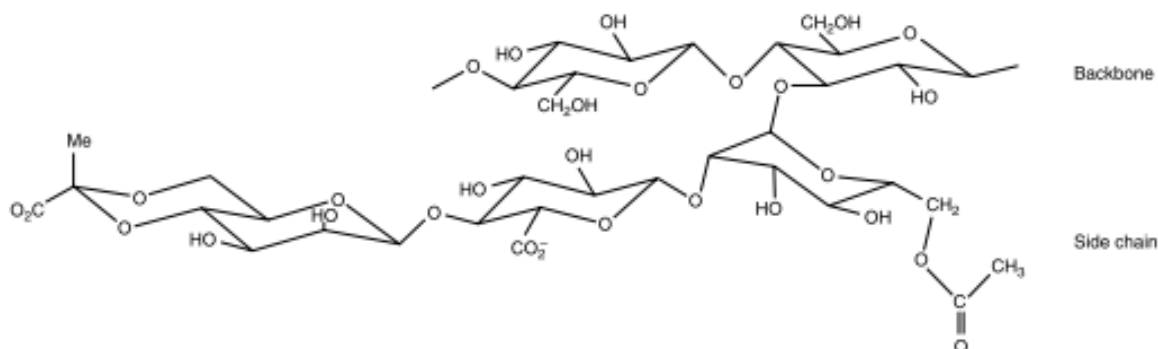
A seleção de hidrocoloides para aplicação em produtos alimentícios depende da sua reologia, do pH, da força iônica e temperatura do alimento, bem como da sua interação com outros ingredientes (FELLOWS, 2019, p. 7). Sua escolha deve considerar também a sua segurança para consumo e o seu custo (LI; NIE, 2016).

3.3.2.1 Goma xantana

A goma xantana é um heteropolissacarídeo extracelular produzido comercialmente por meio do processo de fermentação da bactéria *Xanthomonas campestris* (NISHINARI; DOI, 1993, p. 135), encontrada normalmente nas folhas de plantas da família *Brassicaceae* (repolho, por exemplo) (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007, p. 138).

Caracteriza-se como um polissacarídeo com estrutura linear (Figura 4), ramificada, formada por uma cadeia celulósica principal, substituída em resíduos alternados de glicose por uma cadeia lateral de trissacarídeos (NISHINARI; DOI, 1993, p. 135; SWORN, 2010, p. 88).

Figura 4 – Estrutura primária do polissacarídeo goma xantana



Fonte: DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA (2007, p. 139).

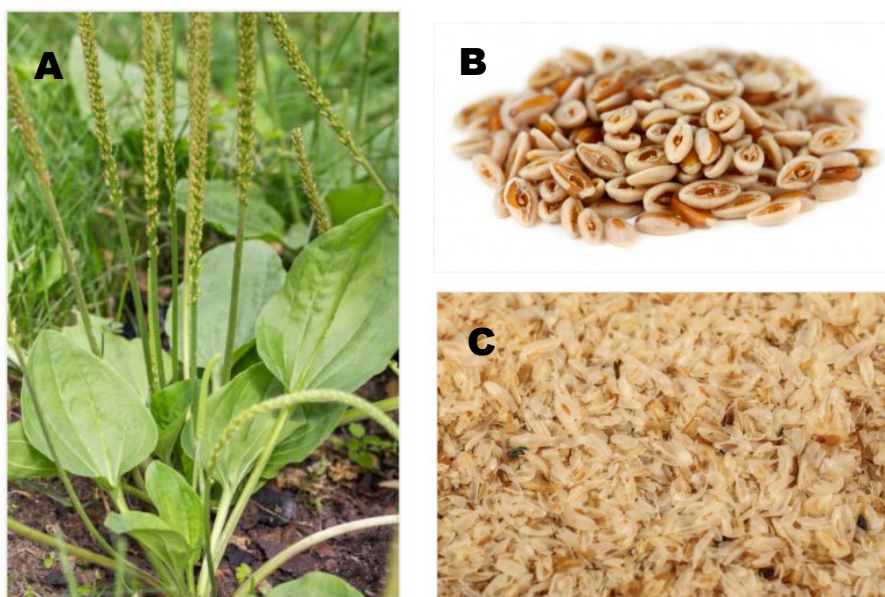
A funcionalidade do polímero relaciona-se diretamente com sua estrutura. As cadeias laterais envolvem a cadeia principal, quando em solução, protegendo as ligações glicosídicas do tipo β -1,4 da hidrólise, apresentando comportamento pseudoplástico. Tal característica confere à goma xantana propriedades singulares (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007, p. 141; NISHINARI; DOI, 1993, p. 135). É solúvel em água fria e estável em altas temperaturas e meios ácidos, apresenta compatibilidade com sal, funciona como estabilizador de suspensões e emulsões e confere estabilidade a produtos expostos ao congelamento e descongelamento (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007, p. 140; HAGER; ARENDT, 2013).

A utilização de goma xantana na elaboração de pães sem glúten resulta em produtos com volume específico alto, boa estrutura do miolo e propriedade texturais desejáveis (LAZARIDOU *et al.*, 2007; VIDAURRE-RUIZ *et al.*, 2019). O aumento da umidade; formação de poros mais regulares; preservação da água, com conseqüente redução de alteração da cor do miolo durante o armazenamento; e manutenção do formato dos poros e textura do miolo também são características observadas no emprego de goma xantana em pães isentos de glúten (NAJI-TABASI; MOHEBBI, 2015).

3.3.2.2 *Psyllium*

A semente e a testa¹ da semente da espécie *Plantago ovata* Forssk (Figura 5), gênero *Plantago* e família *Plantaginaceae*, recebe comercialmente o nome de *psyllium*, sendo também denominada *psillium*, psílio, *isabigol* (em indiano) ou *ispaghula*. Amplamente cultivada no oeste da Índia, a erva foi introduzida pelos mulçumanos indianos para fins medicinais (BRASIL, 2020; DHAR *et al.*, 2005; VERMA; MOGRA, 2015).

Figura 5 – *Plantago ovata* Forssk (planta, semente e testa da semente)



Legenda: (A) Planta (folhas e inflorescências eretas); (B) Semente; (C) Testa da semente
Fonte: Banco de imagens DepositPhotos (<https://br.depositphotos.com>).

É possível extrair uma mucilagem rica em polissacarídeos arabiloxilanos da fração solúvel em água e hidróxido de sódio da testa da semente (85%) de *Plantago ovata* Forssk (FRATELLI *et al.*, 2018; GUO *et al.*, 2008; KENNEDY; SANDHU; SOUTHGATE, 1979), removida por processo mecânico (VERMA; MOGRA, 2015). A mucilagem de *psyllium* caracteriza-se como um material hidrofílico fibroso de cor branca, formando um gel incolor e transparente pela absorção de água (SINGH, 2007).

Sugere-se que os polissacarídeos do tipo arabiloxilanos encontrados na testa são constituídos por 74,6% de xilose, 22,6% de arabinose e pequenas frações de outros açúcares. Apresentando

¹ Testa é a parte externa e espessa que forma o tegumento (casca) da semente, apresentando função de proteção e disseminação (FINKLER; PIRES, 2019, p. 203; SCHWAMBACH; SOBRINHO, 2014, p. 82)

cerca de 35% de resíduos terminais não redutores, o *psyllium* é altamente ramificado. Sua estrutura consiste em uma cadeia principal substituída com resíduos de D-xilopiranosil unidos por ligações β (1-4), alguns carregando cadeias laterais de xilopiranosil simples na posição 2 e outros trissacarídeo com sequência L-Araf- α -(1-3)-D-Xylp- β -(1-3)-L-Araf na posição 3 (FISCHER *et al.*, 2004).

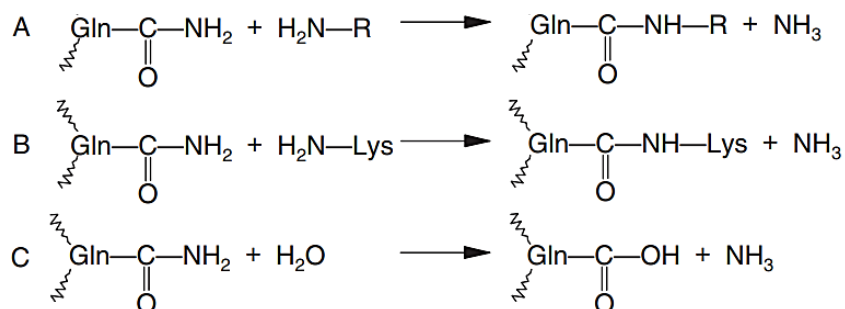
O interesse pela aplicação do *psyllium* na indústria de alimentos se deu devido a sua capacidade de modificar a viscosidade e textura dos alimentos, além de apresentar benefícios à saúde dos indivíduos, principalmente pela ação prebiótica do produto final (BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020). São observados efeitos hipolipidêmico, hipocolesterolêmico, gastroprotetor, antiinflamatório e antineoplásico, devido ao seu teor de fibras solúveis (BRASIL, 2020).

Na produção de pães o *psyllium* é utilizado em substituição ao glúten e, quando acompanhado da adição adequada de água, permite o desenvolvimento da estrutura do miolo e permite a completa gelatinização do amido durante o cozimento. Devido as suas propriedades de gelificação e retenção de água, as fibras do *psyllium* aumentam a viscosidade da massa, com maior retenção de gás e conseqüente produção de pães com maior volume (ANTON; ARTFIELD, 2008; CAPPA; LUCISANO; MARIOTTI, 2013).

3.3.3 Enzima Transglutaminase

As enzimas transglutaminases (TGases) – EC 2.3.2.12, γ -glutamil-peptídeo, amina- γ -glutamil-transferase – são componentes biológicos catalisadores cálcio dependentes, de origem proteica, encontrados em animais, plantas e micro-organismos (principalmente bactérias da espécie *Streptoverticillium* ssp) (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007, p. 384). São caracterizadas como enzimas capazes de catalisar reações de transferência de acila entre os grupos γ -carboxiamida de resíduos de glutamina ligados a peptídeos (doador) e os grupos amino primários de uma variedade de compostos (receptor) (FOLK, 1980; FOLK; CHUNG, 1973). As reações catalisadas pelas TGases são apresentadas esquematicamente na Figura 6.

Figura 6 – Reações catalisadas pelas enzimas transglutaminases



Legenda:(A) Reação de acil-transferência (entre resíduos de glutamina e aminas livres); (B) Reação *cross linking* (entre resíduos de glutamina e lisina); (C) Reação de desaminação (entre resíduo de glutamina e água)

Fonte: JAROS *et al.* (2006).

As TGases mais bem caracterizadas foram isoladas, inicialmente, de mamíferos, porém o alto custo de extração e a dependência de cálcio limitam o seu uso. Dessa forma, buscando a sua produção em grande escala, foram identificadas TGases microbianas (WASHIZU *et al.*, 1994; WILCOX; SWAISGOOD, 2002).

O estudo pioneiro de Ando e colaboradores (1989) mostrou a forte atividade enzimática encontrada em aproximadamente 5.000 cepas de actinobactérias *Streptoverticillium* sp. S-8112, isoladas em solo Japonês. Tais enzimas, diferentes das TGases de origem animal, não são dependentes de cálcio e têm sido amplamente estudadas para aplicação na indústria de alimentos.

A reação de *cross linking* (ligação cruzada ou reticulação) mostra-se a mais importante para aplicação em produtos alimentícios (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007). A ligação cruzada de unidades de proteínas, mediada por TGases proporciona diversas mudanças físicas nas estruturas proteicas dos alimentos (CHIYA; YAMAZAKI; YASUYUKI, 2001).

Em 1987 já se sugeria que a reação de reticulação catalisada por TGases poderia contribuir com a textura dos produtos; alteração da solubilidade; proteção dos alimentos contra reações químicas que levam à destruição de lisina, como por exemplo as reações de *Maillard* e peroxidação lipídica; e produção de proteínas com melhores valores nutricionais, por meio de ligação de aminoácidos essenciais complementares (MATHEIS; WHITAKER, 1987).

Na indústria de panificação sem glúten, a reação de reticulação leva à formação de uma rede semelhante ao glúten (BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020). A adição de 1U/g de TGases melhorou o volume específico, a porosidade e umidade do miolo, e o tempo de envelhecimento dos pães (DŁUZEWSKA; MARCINIAK-LUKASIAK; KUREK, 2015), além de reduzir a dureza e capacidade de mastigabilidade do miolo (PONGJARUVAT *et al.*, 2014) apresentando impactos positivos nas características sensoriais do produto final. Outra vantagem em utilizar a TGase é que, em altas temperaturas, ela se desnatura, perdendo sua funcionalidade, o que não acontece com muitos aditivos químicos (AMANTE; FANTE; PIRES, 2020).

A legislação brasileira autoriza o uso de enzimas TGases microbianas na produção de alimentos em geral somente provenientes das espécies *Streptoverticillium mobaraense* e *Streptomyces mobaraense* (BRASIL, 2014), em quantidades não determinadas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa experimental foi realizada nos laboratórios do Departamento de Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); nos laboratórios de Gastronomia da Faculdade Estácio de Sá – Unidade Prado; e no laboratório GMO – Centro de Pesquisa e Controle de Qualidade, todos localizados em Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

4.1 Material

Os ingredientes utilizados para a formulação dos pães semidoces – goma xantana, *psyllium*, fermento biológico seco, óleo, ovo, açúcar e sal – foram adquiridos por meio de compra no mercado local de Belo Horizonte, Minas Gerais. A enzima transglutaminase (TGase), da marca Activa WM[®], foi cedida pela empresa Ajinomoto, localizada na cidade de São Paulo.

Para obtenção da fécula de araruta foi realizada uma mistura na proporção de 1:2, sendo: 3 Kg de fécula de araruta fornecidos por três microprodutoras da região de Viçosa, Minas Gerais, caracterizando 3 lotes; e 6 Kg de fécula de araruta adquirida no mercado local de Belo Horizonte, da marca de uma cooperativa de produtores de araruta, Solo Atacado Ltda, única disponível no mercado local do município (lote único). A mistura das féculas foi necessária, uma vez que somente o quantitativo fornecido pelas microprodutoras não seria suficiente para produção dos pães. A fécula de araruta foi armazenada em sacos plásticos transparentes, em local seco, arejado e sem incidência de luz, conforme informações dos fornecedores, tendo validade de 12 meses.

4.2 Métodos

4.2.1 Formulações dos pães

O experimento foi conduzido utilizando o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), composto por sete tratamentos com TGase e/ou hidrocoloides nas porcentagens da base farinácea de 0%, 1% (TGase) e 0,5% (hidrocoloides), e três repetições, totalizando 21 parcelas.

Inicialmente foram realizados testes preliminares no Laboratório de Gastronomia da Faculdade Estácio de Sá – Unidade Prado, para definição da formulação base do pão sem glúten, conduzidos pelos resultados obtidos por Belorio, Marcondes e Gómez (2020); Monteiro e colaboradores (2021); e Sahagún e Gómez (2018). A partir dos testes, a fécula de araruta, o fermento biológico seco, óleo, ovo, sal e a açúcar tiveram suas quantidades fixadas para todas as formulações.

A Tabela 2 apresenta as sete formulações com as respectivas quantidade dos ingredientes utilizados na produção dos pães semidoces.

Tabela 2 – Formulações dos pães com fécula de araruta (*Maranta arundinacea* L.)

Ingredientes (g/ml)										
Formulação	FA	Água	Açúcar	Óleo	Ovo	FBS	Sal	TGase	GX	Psy
F1	250	136	25	25	25	5	5	-	-	-
F2	250	136	25	25	25	5	5	2,5	1,25	-
F3	250	136	25	25	25	5	5	2,5	-	1,25
F4	250	136	25	25	25	5	5	2,5	1,25	1,25
F5	250	136	25	25	25	5	5	2,5	-	-
F6	250	136	25	25	25	5	5	-	-	1,25
F7	250	136	25	25	25	5	5	-	1,25	-

FA = Fécula de Araruta; FBS = Fermento Biológico Seco; GX = Goma Xantana; TGase = Transglutaminase; Psy = *Psyllium*; F1 = Controle (100% FA)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

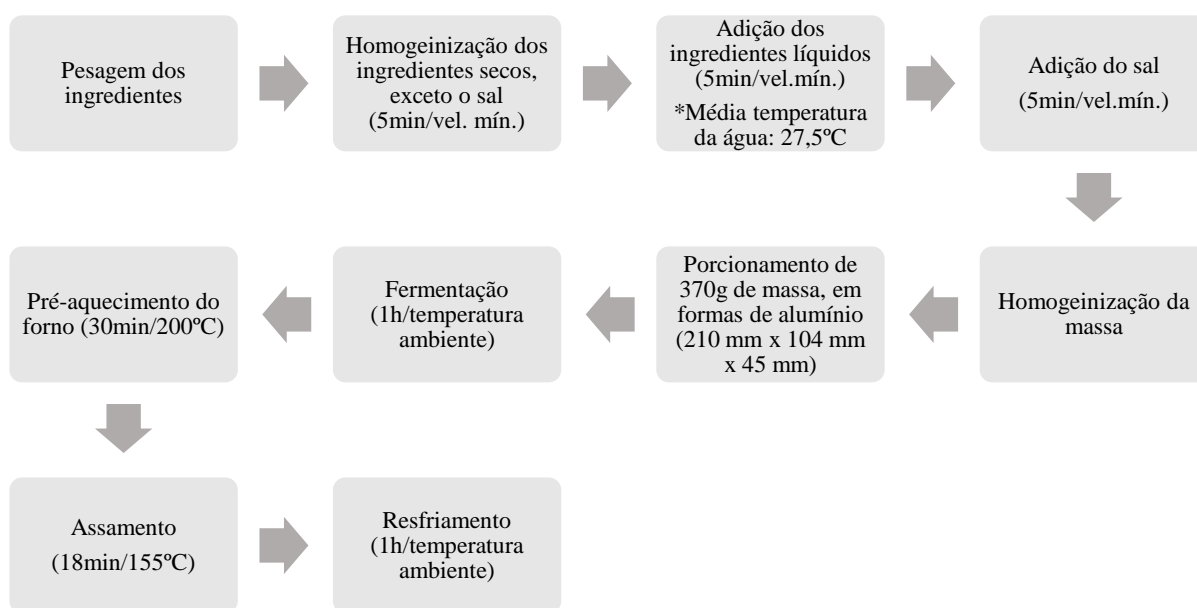
4.2.2 Produção dos pães

As formulações foram produzidas no Laboratório de Gastronomia da Faculdade Estácio de Sá – Unidade Prado, seguindo as normas de produção para controle de alérgenos, higienizando-se devidamente os equipamentos e utensílios utilizados (BRASIL, 2018).

Utilizou-se o método direto de panificação para produção dos pães (CAUVAIN; YOUNG, 2009). Inicialmente os ingredientes foram pesados em balança digital eletrônica de alta precisão (0,01g) da marca Pocket Scale (modelo MH-500). Foi aferida a temperatura da água, utilizando

termômetro digital (-50°C a + 300°C), tipo espeto, para uso culinário, da marca Tomate (modelo PD-008). Para homogeneização dos ingredientes, utilizou-se uma batedeira planetária da marca Oster (modelo OBAT651 – Power 750W), na velocidade mínima (265 rotações/minuto). A Figura 7 apresenta o fluxograma de produção dos pães.

Figura 7 – Fluxograma de produção dos pães com fécula de araruta (*Maranta arundinacea* L.)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Após o resfriamento, os pães foram levados ao ultracongelador (+90°C a -18°C) da marca Tramontina (modelo 67451/500), até atingir temperatura de 4°C e, então, mantidos sob congelamento até -4°C, em *freezer* vertical da marca Eletrolux (modelo F210), até o momento de realização das análises, quando foram mantidos sob temperatura ambiente por 2 horas.

4.2.3 Análises dos pães com fécula de araruta

As sete formulações dos pães foram submetidas às análises de perfil de textura, volume e cor de miolo e crosta, além da composição centesimal.

4.2.3.1 Perfil de textura

A análise do perfil de textura (TPA) foi realizada no Laboratório de Operações, Processos e Tecnologia do Departamento de Alimentos (ALM) da Faculdade de Farmácia (FAFAR) da UFMG, utilizando o equipamento texturômetro, marca *Stable Micro Systems*, modelo TA-XT2i, conforme o método 74-09.01 da *American Association of Cereal Chemists* (AACC, 2009).

Os pães foram inicialmente cortados em fatias com espessura de 3 cm, sendo eliminadas as bordas. As fatias foram cortadas na parte central em forma de um quadrado 3x3 cm, imediatamente antes das medições, evitando o ressecamento dos pães.

Para obtenção dos valores dos parâmetros de dureza do miolo, elasticidade, coesividade e mastigabilidade, considerados indicadores para a avaliação da qualidade instrumental de pães (MATOS; ROSELL, 2014; MORREALE; GARZÓN; ROSELL, 2018) uma força foi aplicada por meio de uma probe cilíndrica de compressão de alumínio de 50 mm de diâmetro (P/50), acoplada ao texturômetro, utilizando os seguintes padrões de ensaio: velocidades pré-teste, teste e pós-teste de 1,0 mm/s; tempo entre as compressões 75 segundos; 60% de deformação; e célula com carga de 25 Kg. Os dados foram gerados pelo *software Texture Expert Exceed*.

4.2.3.2 Volume específico

Para a determinação da massa os pães foram pesados em balança semianalítica de precisão, marca *Shimadzu* – BL-3200H. O volume específico foi estabelecido conforme o método 10-05.01 da AACC (2000), por meio do deslocamento de sementes de painço. A amostra do pão foi colocada em um béquer de 50 mL e o espaço restante do recipiente foi completamente preenchido pelo painço. Mediu-se o volume do painço deslocado pelo pão, transferindo as sementes não utilizadas para uma proveta graduada de 100 mL, por meio da Equação 1 (AACC, 2000).

Equação 1 – Volume das sementes de painço

$$V \text{ (cm}^3\text{)} = \pi \times r^2 \times a$$

Sendo: V = volume; r = raio da proveta; a = altura das sementes na proveta.

O volume específico dos pães foi, então, calculado conforme a Equação 2 (AACC, 2000).

Equação 2 – Determinação do volume específico dos pães

$$\text{Volume específico dos pães} = \frac{\text{Volume do pão (ml)}}{\text{Peso do pão (g)}}$$

4.2.3.3 Cor de miolo e crosta

As análises de cor do miolo e da crosta dos pães sem glúten foram realizadas em triplicata, utilizando o colorímetro da marca *Spectrophotometer*, modelo CM-2300d, com avaliação das coordenadas de cor instrumental L* (luminosidade), a* (tonalidades de vermelho e verde), b* (tonalidades de amarelo e azul). Posteriormente, foram calculados, utilizando o *software* Excel, os parâmetros de: cromaticidade (C*) com a equação $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$, que representa a pureza da cor; e o ângulo hue (h°) pela equação $h^\circ = \text{tg}^{-1}(b^*/a^*)$, que indica a tonalidade da cor.

4.2.3.4 Composição centesimal

As análises químicas foram realizadas pelo laboratório GMO – Centro de Pesquisa e Controle de Qualidade. Foram avaliados os teores de umidade (método gravimétrico), proteína (método Kjeldahl titulométrico), lipídeos (método *Sohxlet*) e cinzas (método gravimétrico), seguindo a metodologia descrita pela *Association of Official Agricultural Chemists – AOAC* (2012), com adaptações. Os carboidratos foram calculados por diferença (BRASIL, 2003).

O valor energético (VE) dos pães foi posteriormente calculado a partir dos resultados obtidos nas análises químicas, conforme a Equação 3 (BRASIL, 2003).

Equação 3 – Determinação do valor energético dos pães

$$\text{VE (kcal/100g)} = (\text{P} \times 4) + (\text{L} \times 9) + (\text{C} \times 4)$$

Sendo, P = proteína (g), L = lipídeos (g) e C = carboidratos (g).

4.2.4 Análise estatística

Os experimentos do delineamento foram realizados em três repetições para cada uma das sete formulações, as medidas das variáveis dependentes (características estudadas) foram submetidas a Análise de Variância (ANOVA) por meio do *software IBM SPSS Statistics 22*.

A análise de variância de uma via (ANOVA-One Way) objetivou avaliar a existência de diferenças nas médias das medidas pesquisadas entre as sete formulações dos pães com fécula de araruta. A ANOVA consiste em um teste abrangente para verificar a hipótese nula de que as médias de todas as condições são iguais. Sua execução necessita cumprir dois pressupostos: a normalidade dos dados e homogeneidade de variância (FIELD, 2011).

A normalidade dos dados foi avaliada por meio dos testes Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Shapiro-Wilk (S-W). Eles comparam medidas de uma amostra a um modelo de mesma média e variância, tendo esse uma distribuição normal. Se o teste é não-significativo ($p > 0,05$), ele informa que os dados da amostra possuem uma distribuição normal (BUSSAB; MORETTIN, 2002; FIELD, 2011).

A homogeneidade de variância foi avaliada por meio do teste de Levene, que consiste na avaliação de que a variância seja a mesma em todos os níveis (BUSSAB; MORETTIN, 2002). Considerando essa etapa como pressuposto, a homogeneidade de variância, quando não ocorrida, é corrigida com a solicitação da estatística de Welch para se analisar a diferença entre as variáveis pesquisadas (FIELD, 2011).

Foram realizados procedimentos de *bootstrapping* (1000 re-amostragens; 95% IC BCa) para se obter uma maior confiabilidade dos resultados, corrigindo os desvios de normalidade da distribuição da amostra, quando pertinente ao conjunto de análise (HAUKOOS; LEWIS, 2005).

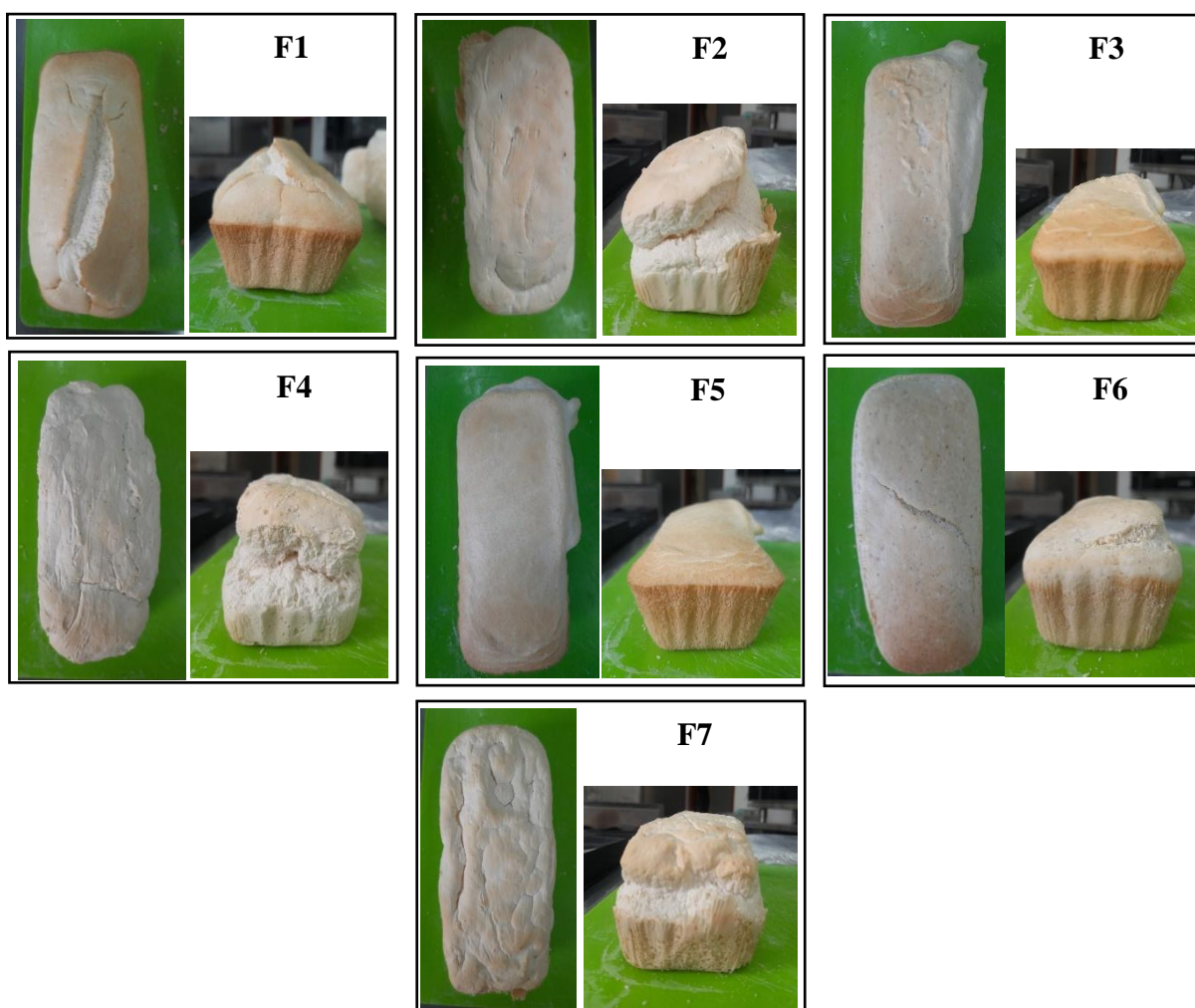
Por se tratar de um teste abrangente, a ANOVA não informa por completo quais as exatas diferenças, somente identifica se elas existem ou não entre os grupos. Nos casos com diferença entre as formulações serem confirmadas, executou-se a comparação das medidas entre cada fórmula do pão de fécula de araruta, por meio do *Post Hoc* com Teste de Intervalo Ryan-Einot-Gabriel-Welsch (R-E-G-W Q) (quando há homogeneidade de variância) e Games-Howell

(quando ocorre a heterogeneidade da variância) (FIELD, 2011). Ambos os estágios da ANOVA e *Post Hoc* foram executados com nível de confiabilidade de 95% ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pães sem glúten com fécula de araruta obtidos a partir do planejamento experimental estão apresentados na Figura 8.

Figura 8 – Pães de fécula de araruta (*Maranta arundinacea* L.) com diferentes combinações de TGase, GX e/ou Psy



Legenda: TGase = Transglutaminase; GX = Goma Xantana; Psy = *Psyllium*
 (F1) Controle; (F2) 1%TGase + 0,5% GX; (F3) 1% TGase + 0,5% Psy; (F4) 1% TGase + 0,5% GX + 0,5% Psy;
 (F5) 1% TGase; (F6) 0,5% Psy; (F7) 0,5% GX

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A seguir foram apresentados os resultados obtidos a partir da realização das análises de TPA, volume, cor de miolo e crosta e composição centesimal.

5.1 Análise de Perfil de Textura (TPA)

O conjunto das características da TPA foram submetidos ao teste de distribuição de normalidade. O parâmetro Dureza obteve uma distribuição normal (K-S $p = 0,200$; S-W $p = 0,086$). Ao final, o teste demonstrou que três dos quatro parâmetros não apresentam distribuição normal, sendo: Elasticidade (K-S $p = 0,000$; S-W $p = 0,000$); Coesividade (K-S $p = 0,014$; S-W $p = 0,001$); e Mastigabilidade (K-S $p = 0,020$; S-W $p = 0,001$), levando a utilização do procedimento de *bootstrapping* para lidar com os dados da distribuição não-normal durante a ANOVA (BUSSAB; MORETTIN, 2002; FIELD, 2011; MIOT, 2017).

O teste de Levene demonstrou que dois dos parâmetros da TPA apresentam homogeneidade de variância, sendo a Dureza ($p = 0,111$) e a Mastigabilidade ($p = 0,113$). No entanto as características de Elasticidade ($p = 0,003$) e Coesividade ($p = 0,044$) possuíram heterogeneidade de variância, utilizando assim a correção de Welch's para a interpretação da ANOVA (FIELD, 2011).

Os resultados da ANOVA, sendo executados com o procedimento de *bootstrapping* devido a não normalidade, demonstraram que houve diferenças significativas entre as formulações nos parâmetros da Dureza [$F(6, 19) = 4,173, p = 0,015$]; Coesividade [Welch's $F(6, 4,615) = 5,856, p = 0,042$]; e Mastigabilidade [$F(6, 19) = 14,138, p = 0,000$]. A característica da Elasticidade não demonstrou diferença significativa entre as formulações dos pães de fécula de araruta pelo método da ANOVA [Welch's $F(6, 4,571) = 0,774, p = 0,625$] (FIELD, 2011).

Para averiguar a diferença na comparação entre os pares das formulações do pão de fécula de araruta para os parâmetros Dureza e Mastigabilidade, foi utilizado o *post-hoc* com Teste de Intervalo de R-E-G-W Q, por se tratar de parâmetros com homogeneidade de variância. No caso da característica de Coesividade com heterogeneidade de variância, a estratégia de análise foi via *post-hoc* com Teste de Games-Howell, interpretado por meio de inferência dos intervalos do procedimentos de *bootstrapping* (FIELD, 2011; HAUKOOS; LEWIS, 2005).

Com base nos resultados dessas estimativas pode ser interpretado os conjuntos de diferenças entre as formulações dos pães de fécula de araruta em cada um dos quatro parâmetros da TPA adotados. Os resultados descritivos das médias e desvios padrões de cada formulação e seus

parâmetros encontram-se na Tabela 3, considerando que cada identificação de letra ao lado da média representa a qual conjunto de diferença significativa a formulação pertence.

Tabela 3 – Valores médios dos parâmetros de dureza do miolo, elasticidade, coesividade e mastigabilidade dos pães de fécula de araruta (*Maranta arundinacea* L.)

	Dureza (N)		Elasticidade (adimensional)		Coesividade (adimensional)		Mastigabilidade (N)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Formulação 01 (Controle)	48,664 ^B	±10,011	1,010 ^A	±0,014	2,695 ^C	±0,813	128,498 ^C	±14,519
Formulação 02 (TGase + GX)	28,148 ^{AB}	±4,901	0,998 ^A	±0,003	1,758 ^{ABC}	±0,799	47,817 ^{AB}	±18,326
Formulação 03 (TGase + Psy)	36,213 ^{AB}	±14,799	1,005 ^A	±0,009	1,320 ^A	±0,328	45,835 ^{AB}	±14,480
Formulação 04 (TGase + Psy + GX)	15,492 ^A	±1,375	1,003 ^A	±0,005	5,038 ^D	±0,968	78,762 ^B	±19,784
Formulação 05 (TGase)	27,883 ^{AB}	±9,691	1,000 ^A	±0,000	1,414 ^{AB}	±0,586	35,659 ^A	±0,799
Formulação 06 (Psy)	31,827 ^{AB}	±8,449	0,998 ^A	±0,003	1,274 ^A	±0,039	40,280 ^A	±9,663
Formulação 07 (GX)	18,880 ^A	±3,136	1,012 ^A	±0,015	1,954 ^B	±0,411	37,007 ^A	±7,880

Legenda: TGase = Transglutaminase; GX = Goma Xantana; Psy = *Psyllium*; DP = Desvio Padrão.
Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A formulação controle (F01) apresentou a maior média de dureza (48,664 N), dentre as formulações elaboradas. Estatisticamente, por meio da ANOVA, verificou-se que somente as formulações F04 e F07 diferiram-se significativamente ($p < 0,05$) da formulação F01, apresentando as menores médias de dureza: 15,492 N e 18,880 N, respectivamente. O conjunto das demais formulações (F02, F03, F05 e F06), tiveram valores de média de dureza inferiores à formulação controle F01, porém não se diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) das outras formulações, bem como do controle.

A dureza ou firmeza dos pães relaciona-se com a força aplicada para realizar a deformação ou o rompimento da amostra, correlacionando-se com a mastigação humana (ESTELLER; LANNES, 2005). De acordo com os resultados encontrados, supõe-se que a adição de GX contribuiu com a maciez do miolo dos pães elaborados com fécula de araruta, uma vez que as

formulações F04 e F07 apresentaram como ingrediente comum apenas a GX. Houve a redução de, aproximadamente, 61% (F07) e 68% (F04) em relação à formulação controle.

Em estudo realizado por Hager e Arendt (2013) foi evidenciado que a influência da GX sobre a dureza do miolo de pães sem glúten depende da sua quantidade, da matriz farinácea e demais matérias primas utilizadas para a elaboração dos produtos, havendo contradições nos resultados encontrados na literatura.

O trabalho realizado por Nascimento (2014), utilizando farinha de pseudocereais (amaranto ou quinoa), farinha de arroz e polvilho azedo, com adição de 3% (base farinácea) de GX para elaboração de pães sem glúten, corrobora com os resultados apresentados no presente estudo, uma vez que também foi identificada a redução da dureza do miolo comparado as demais formulações que não continham o hidrocoloide. Vidaurre-Ruiz e colaboradores (2019), também perceberam diferença significativa ($p < 0,05$) na dureza do miolo de pães sem glúten adicionados de GX ao utilizarem amido de batata, havendo uma redução no parâmetro comparado ao uso de amido de milho e o mesmo hidrocoloide.

Em contrapartida, o estudo de Lazaridou e colaboradores (2007) demonstrou aumento da dureza do miolo de pães sem glúten com GX, utilizando farinha de arroz. Já Santos e colaboradores (2019) não encontraram efeito da GX na dureza dos pães sem glúten elaborados com uma mistura de farinha de arroz (52%), fécula de batata (36%) e polvilho doce (12%).

Considerando não haver trabalhos utilizando a mistura de ingredientes apresentada neste estudo, sugere-se que a GX apresentou efeito positivo sobre a dureza dos pães sem glúten elaborados com fécula de araruta, devido ao seu efeito pseudoplástico, assim como as gliadinas presentes no glúten (VAN DER BORGHT *et al.*, 2005).

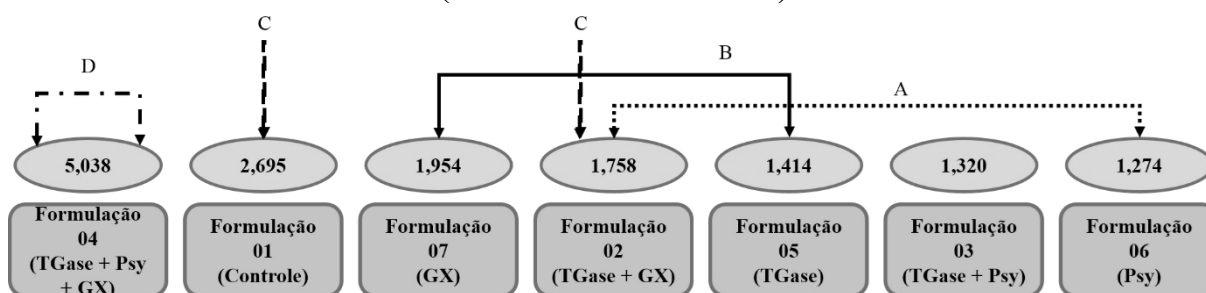
A contribuição do Psy e da TGase na redução dos valores das médias de dureza dos pães sem glúten, utilizando outras bases farináceas, foi evidenciada em outros estudos, divergindo dos resultados encontrados nesta pesquisa. Fratelli e colaboradores (2021) perceberam diferença significativa ($p < 0,05$) na dureza de miolo de pães sem glúten produzidos com farinha de arroz, fécula de mandioca e Psy em relação ao controle, havendo uma redução de 23% a 33%, conforme o aumento do hidrocoloide na formulação. Porém, diferente dos resultados encontrados no presente estudo, o uso do Psy aumentou o valor das médias de dureza do miolo

dos pães quando utilizado isoladamente ou em conjunto com a TGase. Tal discrepância pode-se referir às diferentes concentrações de água utilizadas nos experimentos, limitando a compreensão da interação PSY-água e do efeito plastificante da água, principalmente em meio rico em fibras (CONTE *et al.*, 2019), o que pode ter sido melhorado com a adição de GX, uma vez que os grupamentos hidroxila na estrutura do hidrocoloide, permitem maior interação com a água por meio de ligações de hidrogênio (MIR *et al.*, 2016).

Em estudo realizado por Santos e colaboradores (2020) a interação entre Psy-TGase aumentou a dureza do miolo de pães sem glúten elaborados com farinha de grão de bico ao longo de 24 horas. Smerdel *et al.* (2012) verificaram o aumento da dureza em pães sem glúten ao adicionar TGase em diferentes bases farináceas e isolados proteicos. Tais estudos corroboram com os resultados do presente trabalho. No entanto, uma vez que a funcionalidade da TGase depende da quantidade de resíduos de lisina e glutamina e posição na estrutura das proteínas (MOORE *et al.*, 2006), sendo que a fonte proteica o principal elemento para determinar o impacto que a TGase tem sobre o pão sem glúten (REZZETTI; DAL BELLO; ARENDT, 2008), torna-se necessário conhecer o perfil de aminoácidos da fécula de araruta para compreender a sua interação com a TGase.

Quanto ao parâmetro coesividade, somente a formulação F04 mostrou-se diferente estatisticamente ($p < 0,05$) das demais, sendo o conjunto de maior média (5,038) (Figura 9). A formulação F02 não apresentou diferença estatística da formulação controle F01. Já a formulação F06, a qual teve o menor valor de média de coesividade (1,274), por meio da ANOVA, não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$), das formulações F02, F03 e F05.

Figura 9 – Conjunto da coesividade entre as formulações do pão de fécula de araruta (*Maranta arundinacea* L.)



Legenda: TGase = Transglutaminase; GX = Goma Xantana; Psy = *Psyllium*.

Formulações que estão sinalizadas com a mesma letra não possuem diferença estatística significante.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A coesividade caracteriza a extensão a que o pão pode ser deformado antes de sua ruptura, expressando o quão bem ele resiste a segunda deformação (ONYANGO *et al.*, 2010). Uma vez que a coesividade reflete a coesão interna do material, pães com maior coesão são desejáveis, pois não se desintegram durante a mastigação; já a baixa coesão indica o aumento da suscetibilidade do pão a esfarelar (ONYANGO *et al.*, 2011).

Em estudo realizado por Han, Hwang e Rho (2013) ao produzirem pães brancos com fécula de araruta, sem adição de melhoradores, verificaram maior percentual de coesividade dos produtos com o aumento da concentração da fécula. As médias dos valores de coesividade dos pães elaborados neste estudo foram superiores ao resultado encontrado por Vidaurre-Ruiz *et al.* (2019), no qual o pão sem glúten com amido de milho mais GX e pão com fécula de batata apresentaram coesividade igual a 0,01 e 0,04, respectivamente. Sugere-se, assim, que a fécula de araruta contribuiu com a coesão dos pães sem glúten, considerando a média de valor da coesividade (2,695) da formulação controle.

Foi evidenciado anteriormente que o uso de TGase e Psy contribui para a textura de pães sem glúten, devido à reação de reticulação e propriedade de gelificação e retenção de água, respectivamente, as quais contribuem para viscosidade da massa (CAPPA; LUCISANO; MARIOTTI, 2013; DŁUZEWSKA; MARCINIAK-LUKASIAK; KUREK, 2015). No entanto, não foram encontrados estudos com valor de coesividade próximo à formulação F04 associados ao uso de TGase e Psy.

A mastigabilidade, parâmetro positivamente correlacionado com a facilidade com que o alimento pode ser decomposto na boca, sendo calculado a partir da dureza, elasticidade e coesividade (PONGJARUVAT *et al.*, 2014), não seguiu as mesmas tendências dos valores de dureza como aconteceu no estudo de Nascimento (2014).

A formulação controle F01 apresentou o maior valor de média de mastigabilidade (128,498 N), diferindo estatisticamente das demais formulações. A segunda maior média foi apresentada pela formulação F04 (78,762 N). Tais resultados eram esperados, considerando os maiores valores de dureza de F01 e coesividade de F04.

Renzetti, Dal Bello e Arendt (2008) associou o aumento da mastigabilidade de pães sem glúten à atividade da TGase, que aumenta o número de ligações covalentes e conseqüentemente a

elasticidade. Tal proposição diverge dos resultados do presente estudo, uma vez que não foi observada diferença estatística significativa da elasticidade entre as formulações com uso de melhoradores e a formulação F01, corroborando com os resultados de Pongjaruvat e colaboradores (2014), os quais não verificaram diferença significativa da elasticidade (0,81 a 0,85) dos pães elaborados com arroz de jasmim e amido de tapioca pré-gelatinizado adicionados de TGase, sendo a dureza o parâmetro que mais contribui com o aumento de valores da mastigabilidade.

A elasticidade representa a extensão de recuperação do miolo do pão após a remoção de uma força aplicada (ONYANGO *et al.*, 2010). O amido da araruta é rico em amilose, afetando sua capacidade de aglutinação de água, o que evita que a massa fique elástica (DAMAT *et al.*, 2020).

Apesar dos resultados do presente estudo não demonstrarem diferença estatística na elasticidade com a adição da GX e do Psy, Belorio e Gómez (2020) percebeu aumento nos valores em pães feitos com farinha de arroz adicionados de GX (0,922) e Psy (0,891), quando comparado ao uso de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), hidrocoloide muito utilizado na indústria de alimentos sem glúten. No entanto, tal diferença não foi por eles observada ao mudar a base farinácea para amido de milho.

5.2 Análise de volume

O volume específico do pão representa a capacidade de expansão da massa e retenção de gás durante o cozimento, uma medida que influencia fortemente a escolha do consumidor, sendo uma das principais características visuais e desejáveis do produto (HAGER; ARENDT, 2013; SANTOS *et al.*, 2020). Pães com pouco volume podem ser associados à falhas no processamento e na cocção, tornando-os menos atrativos para o consumo (ESTELLER; LANNES, 2005).

Para a interpretação da diferença do volume nas formulações dos pães de araruta também se fez necessário averiguar a distribuição de normalidade dos dados, o teste ao final demonstrou distribuição normal para a característica de volume (K-S $p = 0,200$; S-W $p = 0,698$) (BUSSAB; MORETTIN, 2002).

A homogeneidade de variância foi verificada e comprovada pelo Teste de Levene, obtendo um valor de p de 0,069, podendo assim ser interpretado a ANOVA sem correção de Welch's ou uso dos procedimentos de *bootstrapping* para não normalidade (FIELD, 2011; HAUKOOS; LEWIS, 2005).

O resultado da ANOVA para o parâmetro do Volume não demonstrou diferença estatística entre as formulações dos Pães de Araruta [$F(6, 20) = 0,128, p = 0,991$], desta forma a análise deve decorrer somente de forma reflexiva sobre os resultados obtidos e os achados teóricos sobre o assunto (FIELD, 2011). Os resultados descritivos das médias e desvios padrões de cada formulação dos pães de fécula de araruta e seu volume encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios do volume específico dos pães de fécula de araruta (*Maranta arundinacea* L.)

	Volume (ml/g)	
	Média	DP
Formulação 01 (Controle)	2,821 ^A	± 1,165
Formulação 02 (TGase + GX)	2,803 ^A	± 0,264
Formulação 03 (TGase + Psy)	2,715 ^A	± 0,291
Formulação 04 (TGase + Psy + GX)	2,749 ^A	± 1,092
Formulação 05 (TGase)	2,857 ^A	± 0,267
Formulação 06 (Psy)	2,432 ^A	± 0,322
Formulação 07 (GX)	2,739 ^A	± 0,621

Legenda: TGase = Transglutaminase; GX = Goma Xantana; Psy = *Psyllium*; DP = Desvio Padrão.
Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O volume específico dos pães não apresentou diferença estatística significativa ($p > 0,05$) entre as formulações que apresentaram adição de TGase, Psy e/ou GX e a formulação controle. A recente revisão sistemática realizada por Monteiro e colaboradores (2021) utilizou o volume específico de 3,5 cm³/g como indicador de qualidade de formulações de pães sem glúten, valor este, acima dos resultados encontrados no presente estudo.

Alguns trabalhos constataram a existência de relação direta entre o baixo volume específico e a dureza do pão sem glúten (MANCIBO *et al.*, 2015b; MATOS SCHEUER *et al.*, 2014; MOORE *et al.*, 2006; PONGJARUVAT *et al.*, 2014; SANDRI *et al.*, 2017). Tal relação não

foi verificada nesta pesquisa, de forma que as amostras de pães com maior volume específico não foram exatamente as amostras com menor valor de dureza (Tabela 1), corroborando com os resultados de Gonçalves (2020) e Nascimento (2014).

Como discutido anteriormente, pães sem glúten normalmente apresentam baixos volumes (BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020). Observou-se, na literatura, diferença no volume específico de pães sem glúten elaborados com bases amiláceas, hidrocoloides e enzima distintos, conforme o Quadro 2. Para efeito de comparação foram apresentados somente estudos que utilizaram GX e/ou Psy e/ou TGase na formulação dos pães, além do volume de pão produzido com farinha de trigo branca.

Quadro 3 – Volume específico de pães sem glúten apresentado por diferentes autores

Base farinácea	Aditivos	% de Aditivo (base farinácea)	Volume específico (ml/g)	Referência	
Farinha de trigo branca (pão de forma comercial)	-	-	4,10	Esteller; Lannes (2005)	
Farinha de arroz de jasmim + Amido de tapioca pré-gelatinizado	TGase	0,1	2,7	Pongjaruvat <i>et al.</i> (2014)	
Mistura de farinha comercial sem glúten* + Farinha de arroz + Polvilho azedo + Farinha de amaranto	GX	2,6	1,81	Nascimento (2014)	
Mistura de farinha comercial sem glúten* + Farinha de arroz + Polvilho azedo + Farinha de quinoa			1,88		
Farinha de trigo sarraceno	GX	0,14	1,77	Hager; Arendt (2013)	
Amido de milho	GX	0,5	2,24	Vidaurre-Ruiz <i>et al.</i> (2019)	
Fécula de batata			2,77		
Farinha e arroz + fécula de mandioca	Psy	2,86	2,15	Fratelli <i>et al.</i> (2021)	
			7,14		2,06
			17,14		2,08
Farinha de arroz	GX	2,0	1,48	Belorio; Gómez (2020)	
	Psy		1,44		
Amido de milho	GX	2,0	2,25		
	Psy		2,37		

Tgase = Transglutaminase; GX = Goma xantana; Psy = *Psyllium*

* (amido de milho, farinha de arroz, proteína de trevoço, dextrose, fibra de maçã, hidroxipropilmetilcelulose e sal)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os valores de volume específico encontrados nesta pesquisa, analisados de forma descritiva, foram superiores a pães elaborados com farinha de arroz e hidrocoloides ou enzima (Quadro 2). Dessa forma, indica-se o potencial da fécula de araruta na produção de pães sem glúten com maiores volumes mesmo sem a adição de melhoradores, o que pode gerar impacto positivo no custo final do produto.

A contribuição da TGase no volume dos pães pode estar atribuída à reação de reticulação entre o ácido glutâmico e a lisina, conforme explicado anteriormente, presentes na fécula de araruta. No entanto, não é possível afirmar tal condição, uma vez que a composição de aminoácidos do rizoma não foi conhecida.

Para Mancebo e colaboradores (2015b), o aumento de Psy nos pães sem glúten acarretou redução no volume. Tal fator pode ser estar relacionado à hidratação em excesso, tempo de fermentação e conseqüente expansão da massa. Como nesta pesquisa a quantidade de água e tempo de fermentação foram iguais para todas as formulações não foi possível associar esses fatores ao menor valor de média do pão adicionado somente com Psy.

O método de deslocamento da semente de painço para verificação do volume do pão também mostra apresentar limitações. Ainda que a metodologia seja tradicionalmente utilizada para tal análise, pode ter possibilitado erros de mensuração nesta pesquisa por se tratar de uma medida física manual (CAPPELLI; OLIVA; CINI, 2020), pela densidade das sementes de painço variar com a sua umidade (QUEIROZ, 2001), bem como a formação de migalhas dos pães.

5.3 Análise colorimétrica

A cor da crosta e do miolo dos pães, assim como o volume, é uma característica visual muito importante, com influência intensa na escolha do consumidor (CONTE *et al.*, 2019)

O conjunto das coordenadas da Análise Colorimétrica (a^* , b^* e L), obtido pelo procedimento instrumental, possibilitaram os cálculos da Luminosidade (L), Intensidade de Cor (Croma – C^*) e Ângulo de Tonalidade (Hue – h°), tanto da casca quanto do miolo dos pães de fécula de araruta. Essas estimativas foram submetidas ao teste de distribuição de normalidade, os resultados demonstraram que os três parâmetros apresentam distribuição normal, considerando

valores de p acima de 0,05 para teste de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk (BUSSAB; MORETTIN, 2002; FIELD, 2011).

Para acatar o segundo pressuposto da ANOVA, o teste de Levene foi realizado e demonstrou que as coordenadas colorimétricas para a casca e miolo apresentam homogeneidade de variância, resultando em valores de p todos acima de 0,05 (FIELD, 2011).

Os resultados da ANOVA, considerando os dados com distribuição normal e homogeneidade de variância, demonstraram que havia diferenças nos três itens testados (L, C* e h°) entre as formulações dos pães de araruta nas características colorimétricas da casca e miolo. Cada item demonstrou uma medida de p significativa, com valores abaixo do indicado de 0,05 (BUSSAB; MORETTIN, 2002).

Na Tabela 5, contendo a média e desvio padrão, já ocorre a sinalização dessas diferenças por meio da codificação por letra em cada média, resultado da interpretação dos *post-hoc* com Teste de R-E-G-W Q, utilizado por haver homogeneidade de variância nos itens averiguados (FIELD, 2011).

Tabela 5 – Valores médios da cor da crosta e do miolo dos pães de fécula de araruta (*Maranta arundinacea* L.)

	CROSTA DO PÃO					
	L		C*		h° (graus)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Formulação 01 (Controle)	76,79 ^A	± 3,76	15,00 ^B	± 1,24	92,51 ^{DE}	± 0,51
Formulação 02 (TGase + GX)	82,70 ^{BC}	± 3,91	12,71 ^A	± 0,91	92,61 ^E	± 0,59
Formulação 03 (TGase + Psy)	78,26 ^A	± 3,76	14,85 ^B	± 1,26	90,32 ^{AB}	± 0,76
Formulação 04 (TGase + Psy + GX)	84,31 ^C	± 2,66	12,63 ^A	± 1,43	90,85 ^{ABC}	± 0,69
Formulação 05 (TGase)	78,71 ^{AB}	± 2,55	14,22 ^{AB}	± 0,72	91,42 ^{BCD}	± 1,52
Formulação 06 (Psy)	76,84 ^A	± 3,33	14,63 ^B	± 1,37	89,78 ^A	± 1,00
Formulação 07 (GX)	83,32 ^C	± 3,45	14,12 ^{AB}	± 1,90	91,81 ^{CDE}	± 0,78
	MIOLO DO PÃO					
	L		C*		h° (graus)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Formulação 01 (Controle)	74,72 ^A	± 5,41	13,92 ^C	± 1,22	92,48 ^D	± 0,51
Formulação 02 (TGase + GX)	81,69 ^{BC}	± 3,63	11,39 ^{AB}	± 1,32	92,44 ^D	± 0,39
Formulação 03 (TGase + Psy)	73,21 ^A	± 2,92	13,36 ^C	± 1,22	90,39 ^{AB}	± 0,73
Formulação 04 (TGase + Psy + GX)	82,34 ^C	± 2,95	11,24 ^A	± 1,51	90,72 ^{ABC}	± 0,62
Formulação 05 (TGase)	77,37 ^{AB}	± 3,05	13,42 ^C	± 0,95	91,39 ^{BC}	± 1,30
Formulação 06 (Psy)	75,10 ^A	± 3,06	13,06 ^{BC}	± 1,37	89,70 ^A	± 0,97
Formulação 07 (GX)	81,10 ^{BC}	± 3,35	12,88 ^{ABC}	± 1,59	91,45 ^{CD}	± 0,68

Legenda: TGase = Transglutaminase; GX = Goma Xantana; Psy = *Psyllium*; L = Luminosidade; C* = Cromo (intensidade); h° = ângulo de tonalidade; DP = Desvio Padrão.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os valores de cor de miolo e crosta variaram estatisticamente entre as formulações e os padrões de L, C* e h°. Maiores valores de L foram encontrados na formulação F04, tanto para a crosta (84,31), quanto o miolo (82,34), seguido das formulações F02, F04 e F07, as quais apresentaram GX como ingrediente comum. Os menores valores de L foram encontrados no conjunto das formulações F01, F03, F05 e F06.

O valor de h° representa as diferentes tonalidades de cor, sendo que 0° corresponde a cor vermelha, 90° amarelo, 180° verde e 270° azul (FORTES *et al.*, 2020). Apesar das diferenças estatísticas entre o h° da casca e do miolo, os valores da tonalidade de todas as formulações

ficaram centrados no ângulo de 90° (cor amarela). Ainda assim, a formulação F06 apresentou o menor valor de h° (crosta – 89,78; miolo – 89,70), tendendo a levar a tonalidade em direção ao vermelho.

O maior valor de C^* foi apresentado pela formulação controle (15,0), seguido das formulações que utilizaram TGase e/ou Psy (F03, F05 e F06), indicando maior intensidade de cor.

A adição de GX nos pães com fécula de araruta resultou em valores de L mais elevados para crosta e miolo. Efeito similar foi encontrado por Lazaridou e colaboradores (2007), porém somente para a cor do miolo, onde o uso de 1% de GX (à base de farinha de arroz) apresentou L igual a 75,46 e 2% igual a 76,76. De acordo com os autores, o miolo do pão mais branco é mais atraente. Já pães com crosta muito clara ou muito escura são associados à falhas na fabricação (ESTELLER; LANNES, 2005).

Os resultados da presente pesquisa não corroboram com o estudo de Belorio, Marcondes e Gómez (2020), onde os valores de L, tanto da crosta do pão feito com farinha de arroz (75,05), como do pão com amido de milho (71,26) adicionados de GX foram menores, comparados aos pães com Psy, que obtiveram L igual a 79,92 e 86,20, respectivamente. A adição de Psy pode ter proporcionado pães mais escuros por influência da coloração acastanhada da fibra utilizada, assim como aconteceu com os pães de farinha de grão de bico produzidos por Santos e colaboradores (2021).

Também foi observado valores maiores de L nos pães adicionados de TGase. Supõe-se que a enzima possa ter formado uma rede com menor disponibilização de aminoácidos, principalmente lisina, para a realização da reação de *Maillard*. Moore *et al.* (2006) encontraram resultados similares, verificando que o aumento de TGase em pães sem glúten com uma mistura de farinha de arroz branco, fécula de batata, farinha de milho também aumentou os valores de L do miolo e crosta. A reação de *Maillard*, responsável pela cor da crosta do pão, pode também ser afetada pelo uso de diferentes hidrocoloide e hidratação das massas, devido à variação da atividade de água que pode favorecer a mobilidade dos reagentes, como explicado por Pereyra Gonzales *et al.* (2010), além de ser afetada pela umidade do ambiente (AQUINO, 2012), condição esta que não foi controlada na presente pesquisa.

5.4 Análise da composição centesimal

Para avaliação da composição centesimal foram verificados os parâmetros de umidade, carboidrato, proteína, lipídeo e cinzas.

Dos cinco parâmetros da composição centesimal somente as cinzas não demonstrou distribuição normal dos dados (Kolmogorov-Smirnov $p = 0,000$; Shapiro-Wilk $p = 0,000$). No aspecto da homogeneidade de variância, por meio do teste de Levene, novamente o aspecto das Cinzas demonstrou heterogeneidade da variância com um valor de p menor que 0,05 (BUSSAB; MORETTIN, 2002). Com esse arranjo dos pressupostos, a interpretação da ANOVA deve ser feito com correção de Welch's no parâmetro das cinzas, enquanto umidade, carboidrato, proteína e lipídeo mantém a análise na estatística F da análise de variância (FIELD, 2011).

O teste da ANOVA trouxe resultados para os parâmetros da composição centesimal que não demonstraram diferença estatística em nenhum dos aspectos averiguados, tendo os valores de p superiores a 0,05 (FIELD, 2011), reforçando assim que as médias devem ser interpretadas somente de forma descritiva e reflexiva sobre os resultados e os achados teóricos sobre o assunto. Os resultados descritivos das médias e desvios padrões de cada parâmetro da composição centesimal nas respectivas formulações dos pães de fécula de araruta encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios dos parâmetros da composição centesimal dos pães de fécula de araruta (*Maranta arundinacea* L.)

	Umidade (g/100g)		Carboidrato (g/100g)		Proteína (g/100g)		Lipídeo (g/100g)		Cinzas (g/100g)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Formulação 01 (Controle)	33,49 ^A	± 1,47	57,97 ^A	± 2,41	1,03 ^A	± 0,40	6,41 ^A	± 0,40	1,33 ^A	± 0,12
Formulação 02 (TGase + GX)	33,13 ^A	± 1,07	58,05 ^A	± 1,91	1,24 ^A	± 0,08	6,05 ^A	± 0,04	1,37 ^A	± 0,06
Formulação 03 (TGase + Psy)	33,11 ^A	± 0,74	57,51 ^A	± 1,84	1,20 ^A	± 0,19	6,85 ^A	± 0,33	1,33 ^A	± 0,06
Formulação 04 (TGase + Psy + GX)	33,22 ^A	± 0,56	59,00 ^A	± 1,81	1,16 ^A	± 0,08	6,75 ^A	± 0,18	1,40 ^A	± 0,00
Formulação 05 (TGase)	33,96 ^A	± 0,12	59,54 ^A	± 0,31	1,21 ^A	± 0,21	6,79 ^A	± 0,29	1,33 ^A	± 0,12
Formulação 06 (Psy)	33,81 ^A	± 0,43	60,15 ^A	± 0,87	1,26 ^A	± 0,25	6,60 ^A	± 0,64	1,27 ^A	± 0,06
Formulação 07 (GX)	34,45 ^A	± 0,99	58,10 ^A	± 1,21	1,29 ^A	± 0,12	6,53 ^A	± 0,70	1,33 ^A	± 0,06

Legenda: TGase = Transglutaminase; GX = Goma Xantana; P= *Psyllium*; DP = Desvio Padrão.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A umidade é um importante parâmetro de qualidade de pães, porém atualmente a legislação brasileira não estabelece o padrão de identidade e qualidade desses produtos. A Resolução da ANVISA – RDC nº 90, de 18 de outubro de 2000, antes de ser revogada, estabelecia o valor máximo de 38g/100g de umidade para pães produzidos com farinha de trigo (BRASIL, 2000). Os pães com fécula de araruta atenderam a essa recomendação, sendo a formulação F06 a qual apresentou o maior valor de média (34,45g/100g), aproximando-se ao valor de umidade de pão de hamburger branco comercial (33,28g/100g), sem adição de hidrocoloides, encontrado por Esteller e Lannes (2005).

No estudo realizado por Sudaryati, Nasution e Ardiani (2017), no qual avaliaram a qualidade nutricional de pães brancos produzidos com uma mistura de farinha e trigo e diferentes concentrações de fécula de araruta (10%, 20% e 30%), verificou-se o aumento dos valores de carboidratos com o aumento da quantidade de fécula de araruta. O maior valor de carboidrato (46,6% p/p) foi encontrado na formulação com 30% de fécula de araruta. Os valores encontrados na presente pesquisa foram superiores, corroborando com o estudo. Tal aumento relaciona-se com o alto teor de carboidratos presente na fécula de araruta do tipo comum (88,46%) (RODRIGUES *et al.*, 2018).

Em contrapartida, a fécula de araruta do tipo comum apresenta baixo conteúdo de proteínas (0,41%) (RODRIGUES *et al.*, 2018), contribuindo com os valores encontrados nesta pesquisa, os quais corroboram com os achados de Sudaryati, Nasution e Ardiani (2017), ao verificarem a redução da proteína dos pães brancos com o aumento de fécula de araruta.

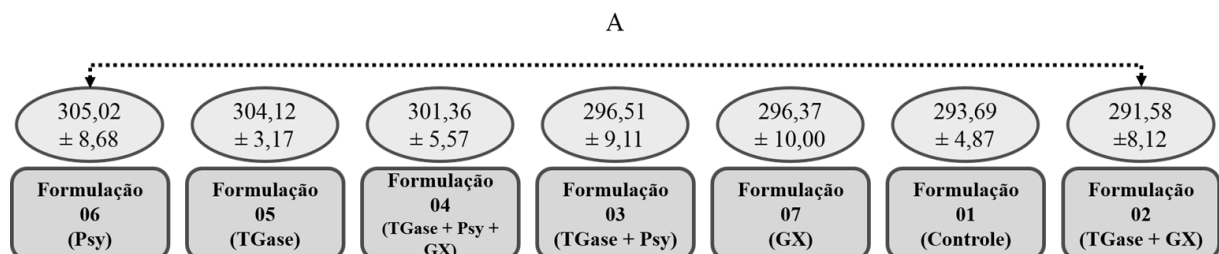
Considerando que a fécula de araruta do tipo comum não apresenta valores significativos de lipídeo (< 0,1%), (RODRIGUES *et al.*, 2018), atribuiu-se os valores encontrados neste estudo à gordura presente nos demais ingredientes utilizados nas formulações dos pães. Uma vez que não houve diferença na quantidade dos ingredientes usados, com exceção dos hidrocoloides e enzima, as diferenças estatísticas significativas das médias de lipídeo não foram encontradas entre as formulações.

Quanto ao conteúdo de cinzas, os pães elaborados com fécula de araruta, apresentaram valores superiores ao pão sem glúten de farinha de arroz (1,11g/100g) produzidos por Santos e colaboradores (2021). Foi percebido o aumento do teor de cinzas com as maiores concentrações de fécula de araruta nos pães elaborados por Sudaryati, Nasution e Ardiani (2017).

Os valores das cinzas da fécula de araruta comum encontrados na literatura divergiram no estudo de Rodrigues *et al.* (2018) (0,22%) e Fideles *et al.* (2019) (4,87%). Tais diferenças podem estar relacionadas ao processo de cultivo da planta, considerando que os rizomas da araruta extraem quantidades significativas de macronutrientes do solo (PEREIRA, 2019), impactando no conteúdo mineral da fécula.

Com base nas informações da composição centesimal foi realizado o cálculo do valor energético em quilocalorias (Kcal) de cada formulação, considerando que proteína e carboidrato equivalem a 4 Kcal por grama e lipídeos possui 9 Kcal por grama. Após, foi procedido com o teste da ANOVA, considerando que os dados tem distribuição normal (K-S $p = 0,200$; S-W $p = 0,731$) e homogeneidade de variância (Levene $p = 0,416$), resultou em Valores Energéticos (VE) sem diferença estatística entre as formulação dos pães de fécula de araruta [$F(6, 20) = 1,455$, $p = 0,263$] (BUSSAB; MORETTIN, 2002; FIELD, 2011). Os resultados são apresentados em Kcal por 100g em ordem decrescente na Figura 10, com o valor médio e desvio padrão de cada formulação.

Figura 10 – Conjunto do valor energético (Kcal/100g) entre as formulações do pão de fécula de araruta (*Maranta arundinacea* L.)



Legenda: TGase = Transglutaminase; GX = Goma Xantana; Psy = *Psyllium*.

Formulações que estão sinalizadas com a mesma letra não possuem diferença estatística significativa.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O valor energético médio das formulações dos pães de fécula de araruta não diferiram estatisticamente entre si, mas são superiores aos resultados encontrados por Cornicelli *et al.* (2018) e Nadal (2013). Diferentemente, os resultados são inferiores ao valor do pão sem glúten controle utilizado no estudo de Gonçalves e colaboradores (2020). Tais divergências poderem ser explicadas pela diferença nos métodos de análise de carboidrato, proteína e lipídeos utilizados pelos diferentes estudos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral do presente estudo foi desenvolver pães com fécula de araruta (*Maranta arundinacea* L.) e avaliar o efeito da adição de *psyllium*, goma xantana e/ou enzima transglutaminase nas características físico-químicas dos produtos elaborados. Para tanto, elaborou-se pães semidoces, utilizando somente a fécula de araruta como base farinácea e adicionando hidrocoloides e/ou a enzima transglutaminase para melhorar as características tecnológicas do produto. Nesse sentido, os resultados demonstraram que a fécula de araruta é uma matéria-prima potencial para substituir completamente a farinha de trigo no desenvolvimento de pães sem glúten, satisfazendo o primeiro objetivo específico do trabalho: elaborar pães semidoces sem glúten, utilizando goma xantana, *psyllium* e/ou enzima transglutaminase.

Quanto à avaliação do volume, perfil de textura e parâmetros de cor de miolo e crosta dos pães elaborados, cumprindo o segundo objetivo específico, verificou-se que não houve diferença significativa no volume específico dos pães a partir da adição de *psyllium*, goma xantana e/ou enzima transglutaminase. Dessa forma, a realização de estudos que verifiquem a influência direta da fécula de araruta no volume de pães sem glúten pode auxiliar na compreensão do potencial do rizoma na contribuição desse parâmetro.

A análise de perfil de textura mostrou que a goma xantana produziu pães com menor dureza, contribuindo com a maciez dos pães, qualidade que pode definir a intenção de compra dos consumidores. A adição de goma xantana, ainda, aumentou a luminosidade dos pães, resultando em crosta e miolo mais claros, o que poderia ser compensado com o uso de *psyllium*, uma vez que os pães utilizando esse hidrocoloide apresentaram menores valores de luminosidade.

No que tange o terceiro objetivo específico, avaliar a composição centesimal dos pães produzidos, o estudo não revelou diferenças estatísticas significativas entre as formulações. Contudo, foi possível verificar o potencial nutricional da fécula de araruta devido ao maior teor de cinzas, comparado a pães sem glúten que utilizam farinha de arroz. O valor médio da umidade dos pães produzidos foi próximo ao de pães brancos comerciais, revelando a qualidade dos produtos elaborados com a fécula de araruta e sua concordância com a legislação brasileira.

Por fim, quanto ao quarto objetivo específico, ampliar a oferta de produtos panificáveis para celíacos, os pães apresentaram características físico-químicas e nutricionais potenciais para produção. Entretanto, sugere-se que a aceitação dos pães seja analisada, bem como a intenção de compra, *shelf life*, condições de armazenamento, conteúdo de fibras e índice glicêmico para avaliação de sua distribuição no mercado consumidor.

O desenvolvimento de produtos com fécula de araruta é base para a valorização do cultivo da planta, principalmente por agricultores familiares, e o resgate da culinária tradicional. A realização de mais estudos utilizando o rizoma para o desenvolvimento de produtos alimentícios faz-se, assim, necessária.

REREFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-AAL, E. S. M. Functionality of Starches and Hydrocolloids. *In*: GALLAGHER, E. (ed.). **Gluten-Free Food Science and Technology**. 1. ed. [s.l.: s.n.], 2009. p. 200–224.

ABIMAPI. Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães e Bolos Industrializados. **Consumo consciente e responsável: vamos falar sobre glúten?** 2019. Disponível em: <https://www.abimapi.com.br/noticias-eabimapi.php?i=MzU4Mg==>. Acesso em: 15 jun. 2021.

ABIMAPI. Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães e Bolos Industrializados. **Anuário 2021**. 2021. p. 120. Disponível em: https://www.abimapi.com.br/anuario/pdf/ABIMAPI_Anu%C3%A1rio_2021.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

ABIP. Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria. **O que esperar da panificação e confeitaria brasileira em 2019: tendências e indicadores**. 2019. p. 15. Disponível em: <https://www.abip.org.br/site/wp-content/uploads/2019/02/RELATORIODETENDE%CC%82NCIAS2019.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2021.

ABIP. Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria. **Indicadores da Panificação e Confeitaria 2020**. 2020. p. 12. 2020. Disponível em: <https://www.abip.org.br/site/wp-content/uploads/2021/01/Indicadores2020-abip.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2021.

ACELBRA. Associação dos Celíacos do Brasil. **Dados Estatísticos**. Disponível em: <http://www.ancelbra.org.br/2004/estatisticas.php>. Acesso em: 15 jun. 2021.

ALCÁZAR-ALAY, S. C.; MEIRELES, M. A. A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 215-236, 2015.

ALENCAR, N. M. M. *et al.* Sensory characterisation of gluten-free bread with addition of quinoa, amaranth flour and sweeteners as an alternative for coeliac patients. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 4, p. 872–879, 2017.

AMANTE, P. R.; FANTE, C. A.; PIRES, R. L. Use of Transglutaminase in Bakery Products. **Journal of Culinary Science and Technology**, [s.l.], v. 18, n. 6, p. 549–559, 2020.

ANDO, H. *et al.* Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms. **Agricultural and Biological Chemistry**, [s.l.], v. 53, n. 10, p. 2613–2617, 1989.

ANTON, A. A.; ARTFIELD, S. D. Hydrocolloids in gluten-free breads: A review. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, [s.l.], v. 59, n. 1, p. 11–23, 2008.

AQUINO, V. C. DE. **Estudo da estrutura de massas de pães elaboradas a partir de diferentes processos fermentativos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Tecnologia

Bioquímico-farmacêutica) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9133/tde-10092012-142302/publico/Mestrado_Vanessa_Cukier_de_Aquino.pdf. Acesso em: 23 jun. 2021.

ATASOY, G.; KURT GOKHISAR, O.; TURHAN, M. Gluten contamination in manufactured gluten-free foods in Turkey. **Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment**, [s.l.], v. 37, n. 3, p. 363–373, 2019.

BALDINO, N. *et al.* Effect of HPMC and CMC on rheological behavior at different temperatures of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flours. **European Food Research and Technology**, [s.l.], v. 244, n. 10, p. 1829–1842, 2018.

BELORIO, M.; GÓMEZ, M. Effect of hydration on gluten-free breads made with hydroxypropyl methylcellulose in comparison with psyllium and xanthan gum. **Foods**, [s.l.], v. 9, n. 11, p. 1-10, 2020.

BELORIO, M.; MARCONDES, G.; GÓMEZ, M. Influence of psyllium versus xanthan gum in starch properties. **Food Hydrocolloids**, Palência, v. 105, p. 1-6, 2020.

BENDER, D.; SCHÖNLECHNER, R. Innovative approaches towards improved gluten-free bread properties. **Journal of Cereal Science**, [s.l.], v. 91, p. 1-8, 2020.

BENOIT, L. *et al.* Assessment of Avenins from Different Oat Varieties Using R5-Based Sandwich ELISA. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s.l.], v. 1, n. 65, p. 1467–1472, 2017.

BIESIEKIERSKI, J. R. What is gluten? **Journal of Gastroenterology and Hepatology**, Austrália, v. 32, p. 78–81, 2017.

BOARIM, D. DE S. F. Sensibilidade não-celiaca ao glúten Non-Celiac Gluten Sensitivity. **International Journal of Nutrology**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, p. 71–79, 2018.

BONCIOLINI, V. *et al.* Granular IgA deposits in the skin of patients with Coeliac disease: Is it always dermatitis herpetiformis? **Acta Dermato-Venereologica**, [s.l.], v. 99, n. 1, p. 78–83, 2019.

BOUREKOUA, H. *et al.* Characteristics of gluten-free bread: quality improvement by the addition of starches/hydrocolloids and their combinations using a definitive screening design. **European Food Research and Technology**, [s.l.], v. 244, n. 2, p. 345–354, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997**. Aprova o Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares - definições, classificação e emprego. Disponível em: https://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1997/prt0540_27_10_1997.html. Acesso em: 28 jun, 2021.

BRASIL. **Lei nº 10.674, de 16 de maio de 2003**, Obriga a que os produtos alimentícios comercializados informem sobre a presença de glúten, como medida preventiva e de controle da doença celíaca. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=440852&filename

=Legislação. Acesso em: 11 jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução n. 263, de 22 de setembro de 2005**. Aprova o Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos, 2005a. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0263_22_09_2005.html. Acesso em: 15 jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n. 8, de 03 de junho de 2005**. Aprovar o Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo, 2005b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/pocs/instrucao-normativa-no-8-de-02-de-junho-de-2005-farinha-de-trigo/view>. Acesso em: 17 jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Manual de Hortaliças Não-Convencionais**. 1 ed. Brasília: Mapa/ACS, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução n. 53, de 7 de outubro de 2014**. Dispõe sobre a lista de enzimas, aditivos alimentares e veículos autorizados em preparações enzimáticas para uso na produção de alimentos em geral. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-53-de-7-de-outubro-de-2014.pdf/view>. Acesso em: 10 jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução n. 26, de 02 de julho de 2015**. Dispõe sobre os requisitos para rotulagem obrigatória dos principais alimentos que causam alergias alimentares. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2015/rdc0026_26_06_2015.pdf. Acesso em: 11 jun. 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia n. 05/2018 - Versão 2**. Guia sobre Programa de Controle de Alergênicos Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2018. Disponível em: http://formsus.datasus.gov.br/site/formulario.php?id_aplicacao=25481. Acesso em: 20 jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Informações Sistematizadas da Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS: Plantago ovata Forssk. Plantaginaceae – Psyllium** [recurso eletrônico]. Brasília: Ministério da Saúde, 2020. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/informacoes_sistematizadas_relacao_plantago_psyllium.pdf. Acesso em: 30 jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução n. 360, de 23 de dezembro de 2003**. Aprova o Regulamento Técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/res0360_23_12_2003.html. Acesso em: 27 ago. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução n. 90, de 18 de outubro de 2000**. Aprova o Regulamento Técnico para fixação de identidade e qualidade de pão. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2000/rdc0090_18_10_2000.html#:~:text=Aprova%20Regulamento%20T%C3%A9cnico%20para%20Inspe%C3%A7%C3%A3o,Produtos%20na%20C3%81rea%20de%20Alimentos. Acesso em: 05 mai. 2020.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 5 ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

CAPÍÑA, M. V; CAPÍÑA, V. L. L. Arrowroot (*Maranta arundinacea*): Starch Extraction, Processing, and By-Products Utilization. *In: 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON CIVIL, ENVIRONMENT AND WASTE MANAGEMENT*, Manila. p. 240–244, 2017. Disponível em : <http://uruae.org/siteadmin/upload/AE0117711.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2021.

CAPPA, C.; LUCISANO, M.; MARIOTTI, M. Influence of Psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 98, n. 2, p. 1657–1666, 2013.

CAPPELLI, A.; OLIVA, N.; CINI, E. A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies. **Applied Sciences**, Switzerland, v. 10, n. 18, 2020.

CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G. **Avanços na produção de pães sem glúten**: aspectos tecnológicos e nutricionais. Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, 26 jan. 2011. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/22765>. Acesso em: 11 abr. 2021.

CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G. Novel approaches in gluten-free breadmaking: Interface between food science, nutrition, and health. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s.l.], v. 13, n. 5, p. 871–890, 2014.

CAPRONI, M. *et al.* Guidelines for the diagnosis and treatment of dermatitis herpetiformis. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology**, [s.l.], v. 23, p. 633–638, 2009.

CASTRO, T. V. **Análise sensorial do pão sem glúten elaborado a base da farinha de araruta enriquecido com o bagaço da farinha de laranja**. Monografia (Bacharelado em Nutrição) - Faculdade Maria Milza, Governador Magabeira, 2018.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Tecnologia da panificação**. 2. ed ed. Barueri, SP: Manole, 2009.

CHARLES, A. L. *et al.* Functional properties of arrowroot starch in cassava and sweet potato composite starches. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 53, p. 187–191, 2016.

CHIYA, K.; YAMAZAKI, K.; YASUYUKI, S. Transglutaminase : Its Utilization in the Food. **Food Reviews International**, Suzuki-cho, v. 17, n. 2, p. 221–246, 2001.

CODEX ALIMENTARIUS. **CODEX STAN 118-1979**. Standard for foods for special dietary use for persons intolerant to gluten, 2008.

COELHO, I. S. *et al.* **Como plantar e usar a araruta**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agroecologia, 2005.

COLLINS, T. H. Gluten. **Nutrition & Food Science**, [s.l.], v. 76, n. 3, p. 11–14, 1976.

COMINO, I. *et al.* Diversity in oat potential immunogenicity: Basis for the selection of oat

varieties with no toxicity in coeliac disease. **Gut**, [s.l.], v. 60, n. 7, p. 915–922, 2011.

COMINO, I.; DE LOURDES MORENO, M.; SOUSA, C. Role of oats in celiac disease. **World Journal of Gastroenterology**, [s.l.], v. 21, n. 41, p. 11825–11831, 2015.

CONTE, P. *et al.* Technological and nutritional challenges, and novelty in gluten-free breadmaking: A review. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, [s.l.], v. 69, n. 1, p. 5–21, 2019.

CORNICELLI, M. *et al.* Nutritional composition of gluten-free food versus regular food sold in the Italian market. **Digestive and Liver Disease**, [s.l.], v. 50, n. 12, p. 1305–1308, 2018.

CUNHA, A. L. **Caracterização do amido da araruta tipos Seta e Redonda, visando utilização na indústria de alimentos**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

CZAJA-BULSA, G. Non coeliac gluten sensitivity - A new disease with gluten intolerance. **Clinical Nutrition**, Texas, v.34, n. 1, p. 189-194, 2015.

D'OVIDIO, R.; MASCI, S. The low-molecular-weight glutenin subunits of wheat gluten. **Journal of Cereal Science**, [s.l.], v. 39, n. 3, p. 321–339, 2004.

DA SILVA GRAÇA, C. *et al.* Adição de colágeno em pão sem glúten elaborado com farinha de arroz. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 20, p. 1-10, 2017.

DAMAT, D. *et al.* Modified arrowroot starch and glucomannan for preserving physicochemical properties of sweet bread. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 44, p. 1–9, 2020.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K.; FENNEMA, O. R. **Fennema's Food Chemistry**. DAMODARAN, S.; PARKIN, K.; FENNEMA, O. R. (ed.). 4nd. [s.l.: s.n.], 2007.

DE GIORGIO, R.; VOLTA, U.; GIBSON, P. R. Sensitivity to wheat, gluten and FODMAPs in IBS: Facts or fiction? **Gut**, [s.l.], v. 65, n. 1, p. 169–178, 2016.

DE OLIVEIRA GUILHERME, D. *et al.* **Starch valorization from corm, tuber, rhizome, and root crops: The arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) case**. In: CLERICI, M. T. P. S.; SCHMIELE, M. (ed.). **Starches for food application: chemical, technological and health properties**. KDPPR: [s.l.], 2018.

DE SOUZA, M. C. P. *et al.* Pure oats as part of the canadian gluten-free diet in celiac disease: The need to revisit the issue. **Canadian Journal of Gastroenterology and Hepatology**, [s.l.], v. 2016, p. 1-9, 2016.

DESWINA, P.; PRIADI, D. Development of Arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) as Functional Food Based of Local Resource. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. [s.l.], v. 439, p. 1-11, 2020.

DHAR, M. K. *et al.* *Plantago ovata*: genetic diversity, cultivation, utilization and chemistry. **Plant Genetic Resources**, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 252–263, 2005.

DLUZEWSKA, E.; MARCINIAK-LUKASIAK, K.; KUREK, N. Effect of transglutaminase additive on the quality of gluten-free bread. **CyTA - Journal of Food**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 80–86, 2015.

ERDMAN, M. D.; ERDMAN, B. A. Arrowroot (*Maranta arundinacea*), food, feed, fuel, and fiber resource. **Economic Botany**, [s.l.], v. 38, n. 3, p. 332–341, 1984.

ERVANARIUM. In: ERVANARIUM: escola das plantas. **Araruta: Planta Medicinal**. 2021. Disponível em: <<https://ervanarium.com.br/planta/araruta-planta-medicinal/>>. Acesso em: 9 abr. 2021.

ESTELLER, M. S.; LANNES, S. C. DA S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 802–806, 2005.

FALCOMER, A. L. *et al.* Gluten contamination in food services and industry: A systematic review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s.l.], v. 60, n. 3, p. 479–493, 2020.

FARINHA, S. *et al.* Dermatite herpetiforme. Caso clínico. **Revista Portuguesa de Imunoalergologia**, [s.l.], v. 26, n. 2, p. 127-131, 2018.

FASANO, A. Zonulin and its regulation of intestinal barrier function: The biological door to inflammation, autoimmunity, and cancer. **Physiological Reviews**, [s.l.], v. 91, n. 1, p. 151–175, 2011.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática [recurso eletrônico]**. 4. ed. São Paulo: Artmed, 2019.

FENACELBRA. Federação Nacional das Associações de Celíacos do Brasil. **Doença celíaca e sensibilidade ao glúten: o que sabemos sobre isso?** 2021. Disponível em: <http://www.fenacelbra.com.br/fenacelbra/doenca-celiaca-e-sensibilidade-ao-gluten-o-que-sabemos-sobre-isso/#>. Acesso em: 8 jun. 2021.

FERREIRA, F.; INÁCIO, F. Patologia associada ao trigo: alergia IgE e não IgE mediada, doença celíaca, hipersensibilidade não celíaca, FODMAP. **Revista Portuguesa de Imunoalergologia**, [s.l.], v. 26, n. 3, p. 171–187, 2018.

FERREIRA LIMA, N. B. *et al.* Caracterização do amido de araruta orgânica e potencial para aplicação tecnológica em alimentos. **Revista Desafios - Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, [s.l.], v. 6, n. Especial, p. 118–126, 2019.

FIDELES, M. C. *et al.* Physicochemical and technological characteristics of arrowroot flour modified by ultrasound and low-temperature heat treatment. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 49, n. 10, 2019.

FIELD, A. **Descobrendo a estatística usando o SPSS**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.

FINKLER, R.; PIRES, A. S. **Anatomia e morfologia vegetal**. Porto Alegre: SAGHA, 2019.

FISCHER, M. H. *et al.* The gel-forming polysaccharide of psyllium husk (*Plantago ovata* Forsk). **Carbohydrate Research**, [s.l.], v. 339, n. 11, p. 2009–2017, 2004.

FOLK, J. E. Transglutaminases. **Annual Review of Biochemistry**, [s.l.], v. 49, p. 517–531, 1980.

FOLK, J. E.; CHUNG, S. I. Molecular and Catalytic Properties of Transglutaminases. **Advances in Enzymology and Related Areas of Molecular Biology**, [s.l.], v. 38, p. 109–191, 1973.

FORTES, R. R. *et al.* Caracterização física e química de farinha de arroz, farinhas de cascas de abacaxi e banana e farinha de sementes de abóbora. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 9, n. 9, p. 1–11, 2020.

FOSCHIA, M. *et al.* Nutritional therapy – Facing the gap between coeliac disease and gluten-free food. **International Journal of Food Microbiology**, [s.l.], v. 239, p. 113–124, 2016.

FRATELLI, C. *et al.* Modelling the effects of psyllium and water in gluten-free bread: An approach to improve the bread quality and glycemic response. **Journal of Functional Foods**, [s.l.], v. 42, n. October 2017, p. 339–345, 2018.

FRATELLI, C. *et al.* Psyllium Improves the Quality and Shelf Life of Gluten-Free Bread. **Foods**, [s.l.], v. 10, n. 5, p. 954, 2021.

FREIRE, F. C. O. A deterioração fúngica de produtos de panificação no Brasil. **Comunicado Técnico 174 – EMBRAPA**, Fortaleza, 2011.

GALLAGHER, E.; GORMLEY, T. R.; ARENDT, E. K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. **Trends in Food Science and Technology**, [s.l.], v. 15, n. 3–4, p. 143–152, 2004.

GALVES, M. DE C. P. **Técnicas de Panificação e Massa**. São Paulo: Érica, 2014.

GIMÉNEZ, M. J. *et al.* Characterization of celiac disease related oat proteins: bases for the development of high quality oat varieties suitable for celiac patients. **Scientific Reports**, [s.l.], v. 7, 2017.

GONÇALVES, F. L. **Desenvolvimento de diferentes formulações de pães sem glúten elaborados com farinha do *Amorphophallus konjak***. 2020. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana) - Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/39937/1/2020_FernandaLaignierGon% c3% a7alves](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/39937/1/2020_FernandaLaignierGon%c3%a7alves). PDF. Acesso em: 14 jul. 2021.

GUO, Q. *et al.* Fractionation and physicochemical characterization of psyllium gum. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 73, n. 1, p. 35–43, 2008.

HADJIVASSILIOU, M. *et al.* Clinical, radiological, neurophysiological, and neuropathological characteristics of gluten ataxia. **Lancet**, [s.l.], v. 352, n. 9140, p. 1582–1585, 1998.

HADJIVASSILIOU, M. *et al.* Transglutaminase 6 antibodies in the diagnosis of gluten ataxia. **Neurology**, [s.l.], v. 80, n. 19, p. 1740–1745, 2013.

HADJIVASSILIOU, M.; SANDERS, D. D.; AESCHLIMANN, D. P. Gluten-Related Disorders: Gluten Ataxia. **Digestive Disease**, [s.l.], v. 33, n. 2, p. 264-268, 2015.

HAGER, A. S.; ARENDT, E. K. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 32, n. 1, p. 195–203, 2013.

HAN, G.; HWANG, S.-Y.; RHO, S. Quality characteristics of white bread with arrowroot powder. **Journal of the Asian Society of Dietary Life** [s.l.], v. 23, n. 6, p. 778-788, 2013.

HARTMANN, C. *et al.* European consumer healthiness evaluation of ‘Free-from’ labelled food products. **Food Quality and Preference**, [s.l.], v. 68, p. 377–388, 2018.

HASSANI, M. E. *et al.* Characterisation of a ω -gliadin gene in *Triticum tauschii*. **Journal of Cereal Science**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 59–67, 2008.

HAUKOOS, J. S.; LEWIS, R. J. Advanced statistics: Bootstrapping confidence intervals for statistics with “difficult” distributions. **Academic Emergency Medicine**, [s.l.], v. 12, n. 4, p. 360–365, 2005.

HILL, I. D. *et al.* NASPGHAN clinical report on the diagnosis and treatment of gluten-related disorders. **Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition**, [s.l.], v. 63, n. 1, p. 156–165, 2016.

HOLANDA, S. M. M. S. C. DE *et al.* Abordagem teórico-prática da dermatite herpetiforme como a principal manifestação cutânea da doença celíaca: revisão integrativa. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 10, n. 6, p. 1-10, 2021.

HORSTMANN, S. W.; LYNCH, K. M.; ARENDT, E. K. Starch characteristics linked to gluten-free products. **Foods**, [s.l.], v. 6, n. 4, p. 1–21, 2017.

HOUBEN, A.; HÖCHSTÖTTER, A.; BECKER, T. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. **European Food Research and Technology**, [s.l.], v. 235, n. 2, p. 195–208, 2012.

JAROS, D. *et al.* Transglutaminase in dairy products: chemistry, physics, applications. **Journal of Texture Studies**, [s.l.], v. 37, n. 2, p. 113-155, 2006.

JOHANSSON, E. *et al.* Wheat gluten polymer structures: The impact of genotype, environment, and processing on their functionality in various applications. **Cereal Chemistry**, [s.l.], v. 90, n. 4, p. 367–376, 2013.

KENNEDY, J. F.; SANDHU, J. S.; SOUTHGATE, D. A. T. Structural data for the carbohydrate of ispaghula husk ex *Plantago ovata* forsk. **Carbohydrate Research**, [s.l.], v. 75, p. 265–274, 1979.

- KUMALASARI, I. D. *et al.* Evaluation of immunostimulatory effect of the arrowroot (*Maranta arundinacea*. L) in vitro and in vivo. **Cytotechnology**, [s.l.], v. 64, n. 2, p. 131–137, 2012.
- KURNIASARI, R. Y. *et al.* Textural and sensory properties of little tuna fish balls (*Euthynnus affinis*) arrowroot flour substitutions (*Maranta arundinacea* Linn.) added with sodium tripolyphosphate. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s.l.], v. 633, p. 1-7, 2019.
- KUSBANDARI, A.; SUSANTI, H. Determination of total phenolic content and antioxidant activity of methanol extract of *Maranta arundinacea* L fresh leaf and tuber. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 259, 2017.
- LAZARIDOU, A. *et al.* Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. **Journal of Food Engineering**, [s.l.], v. 79, n. 3, p. 1033–1047, 2007.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterizando tuberosas amiláceas. **Ciênci e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 65–69, 2002.
- LI, J. M.; NIE, S. P. The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 53, p. 46–61, 2016.
- LIMA, N. B. F. *et al.* Caracterização do amido de araruta orgânica e potencial para aplicação tecnológica em alimentos. **Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, 6, 118–126, 2019.
- LUDVIGSSON, J. F. *et al.* The Oslo definitions for coeliac disease and related terms. **Gut**, [s.l.], v. 62, n. 1, p. 43–52, 2012.
- LUO, S. *et al.* The quality of gluten-free bread made of brown rice flour prepared by low temperature impact mill. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 348, p. 1-8, 2021.
- MADEIRA, N. R. *et al.* **Manual de produção de hortaliças tradicionais**. Brasília: Embrapa, 2013.
- MAGHAYDAH, S. *et al.* Utilization of Different Hydrocolloid Combinations in Gluten-Free Bread Making. **Food and Nutrition Sciences**, [s.l.], v. 4, p. 496–502, 2013.
- MANCEBO, C. M. *et al.* Mixture design of rice flour, maize starch and wheat starch for optimization of gluten free bread quality. **Journal of Food Science and Technology**, [s.l.], v. 52, n. 10, p. 6323–6333, 2015a.
- MANCEBO, C. M. *et al.* Optimisation of rheological properties of gluten-free doughs with HPMC, psyllium and different levels of water. **Journal of Cereal Science**, [s.l.], v. 61, p. 8–15, 2015b.
- MASURE, H. G.; FIERENS, E.; DELCOUR, J. A. Current and forward looking experimental approaches in gluten-free bread making research. **Journal of Cereal Science**, [s.l.], v. 67, p.

92–111, 2016.

MATHEIS, G.; WHITAKER, J. R. A Review: Enzymatic Cross-Linking of Proteins Applicable To Foods. **Journal of Food Biochemistry**, [s.l.], v. 11, n. 4, p. 309–327, 1987.

MATOS, M. E.; ROSELL, C. M. Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s.l.], v. 95, n. 4, p. 653–661, 2014.

MATOS SCHEUER, P. *et al.* Effects of fat replacement on properties of whole wheat bread. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, [s.l.], v. 50, n. 4, p. 703–712, 2014.

MAY, M.L. The effects of grain processing method, wet and dry distiller's grains with solubles and roughage level on performance and carcass characteristics of finishing cattle. 2008. Tese (Doutorado em Ciências) - Department of Animal Sciences and Industry College of Agriculture, Kansas State University, Manhattan, 2008. Disponível em: <https://krex.k-state.edu/dspace/bitstream/handle/2097/537/MatthewMay2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 jan. 2022.

MCALLISTER, B. P.; WILLIAMS, E.; CLARKE, K. A comprehensive review of celiac disease/gluten-sensitive enteropathies. **Clinical Reviews in Allergy and Immunology**, v. 57, n. 2, p. 226–243, 2019.

MINTEL. **Brasil 17: Tendências de Consumo 2017**, 2017. Disponível em: <https://brasil.mintel.com/tendencias-de-consumo-2017>. Acesso em: 24 jun. 2021.

MIOT, H. A. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, [s.l.], v. 16, n. 2, p. 88–91, 2017.

MIR, S. A. *et al.* Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads. **Trends in Food Science and Technology**, [s.l.], v. 51, p. 49–57, 2016.

MOLINA-INFANTE, J. *et al.* Systematic review: Noncoeliac gluten sensitivity. **Alimentary Pharmacology and Therapeutics**, [s.l.], v. 41, n. 9, p. 807–820, 2015.

MONTEIRO, J. S. *et al.* A Systematic Review on Gluten-Free Bread Formulations Using Specific Volume as a Quality Indicator. **Foods**, [s.l.], v. 10, n. 614, p. 1–25, 2021.

MOORE, M. M. *et al.* Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. **Cereal Chemistry**, [s.l.], v. 83, n. 1, 2006.

MORREALE, F.; GARZÓN, R.; ROSELL, C. M. Understanding the role of hydrocolloids viscosity and hydration in developing gluten-free bread. A study with hydroxypropylmethylcellulose. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 77, p. 629–635, 2018.

NADAL, J. **Desenvolvimento e caracterização de pão sem glúten tipo francês**. 2013. Dissertação (Mestrado em Segurança Alimentar e Nutricional) - Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

NAJI-TABASI, S.; MOHEBBI, M. Evaluation of cress seed gum and xanthan gum effect on

macrostructure properties of gluten-free bread by image processing. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 110–119, 2015.

NASCIMENTO, A. B. do. **Desenvolvimento de produto alimentício sem glúten elaborado a partir da percepção de consumidores celíacos**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

NASCIMENTO, K. O. Obtenção e caracterização de farinhas de rizomas e tubérculos de sistema orgânico de produção e suas potencialidades no desenvolvimento de alimentos para celíacos. 2015. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

NEVES, M. C. P.; COELHO, I. DA S.; ALMEIDA, D. L. de. Araruta: Resgate de um Cultivo Tradicional. **Comunicado Técnico 79 - EMBRAPA**, p. 1–4, 2005.

NGEMAKWE, P. H. N.; LE ROES-HILL, M.; JIDEANI, V. A. Advances in gluten-free bread technology. **Food Science and Technology International**, [s.l.], v. 21, n. 4, p. 256–276, 2015.

NISHAA, S. *et al.* Antioxidant Activity of Ethanolic Extract of *Maranta Arundinacea* L. Tuberosus. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, [s.l.], v. 5, n. 4, p. 85–88, 2012.

NISHINARI, K.; DOI, E. (ed.). **Food Hydrocolloids: structures, properties and functions**. Boston: Springer, 1993.

NOGUEIRA, G. F.; FAKHOURI, F. M.; DE OLIVEIRA, R. A. Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) starch and its application in edible films. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 186, p. 64–72, 15 abr. 2018.

NUNES, F. C. Uso de milho processado em dietas de ruminantes: revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, PP. 1-17, 2020.

OLSON, G. A. The quantitative estimation of gliadin in flour and gluten. **Journal of Industrial & Engineering Chemistry**, [s.l.], v. 5, n. 11, p. 917–922, 1913.

ONYANGO, C. *et al.* Rheological and baking characteristics of batter and bread prepared from pregelatinised cassava starch and sorghum and modified using microbial transglutaminase. **Journal of Food Engineering**, [s.l.], v. 97, n. 4, p. 465–470, 2010.

ONYANGO, C. *et al.* Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. **LWT - Food Science and Technology**, [s.l.], v. 44, n. 3, p. 681–686, 2011.

ORTIZ, C.; VALENZUELA, R.; LUCERO ALVAREZ, Y. Celiac disease, non celiac gluten sensitivity and wheat allergy: comparison of 3 different diseases triggered by the same food. **Sociedad Chilena de Pediatría**, [s.l.], v. 88, n. 3, p. 417–423, 2017.

PEREIRA, E. D. **Crescimento e acúmulo de macronutrientes em araruta (*Maranta***

arundinacea L.) ao longo do ciclo de cultivo. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

PEREYRA GONZALES, A. S. *et al.* Maillard reaction kinetics in milk powder: Effect of water activity at mild temperatures. **International Dairy Journal**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 40–45, 2010.

PICO, J.; BERNAL, J. L.; GÓMEZ, M. Influence of different flours and starches on gluten-free bread aroma. **Journal of Food Science and Technology**, [s.l.], v. 54, n. 6, p. 1433–1441, 2017.

PIETZAK, M. Celiac disease, wheat allergy, and gluten sensitivity: When gluten free is not a fad. **Journal of Parenteral and Enteral Nutrition**, [s.l.], v. 36, n. 1, 2012.

PONGJARUVAT, W. *et al.* Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 36, p. 143–150, 2014.

POURMOHAMMADI, K.; ABEDI, E. Enzymatic modifications of gluten protein: Oxidative enzymes. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 356, 2021.

PUERTA, P. *et al.* Co-occurrence networks of twitter content after manual or automatic processing. A case-study on “gluten-free”. **Food Quality and Preference**, [s.l.], v. 86, 2020.

QUEIROZ, G. DE C.; REGO, R. A.; JARDIM, D. C. P. **Brasil Bakery e Confectionery Trends 2020**. Campinas: ITAL, 2014. Disponível em: <http://www.bakeryconfectionerytrends.com.br/4/>. Acesso em: 04 abr. 2021.

QUEIROZ, G. M. **Determinação de propriedades termofísicas do pão tipo francês durante o processo de assamento**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

RAMADHANI, M. R.; BACHRI, M. S.; WIDYANINGSIH, W. Effects of Ethanolic Extract of Arrowroot Tubers (*Maranta Arundinacea L.*) on the Level of Mda, Sgpt and Sgot in Ethanol Induced Rats. **Journal Kedokteran dan Kesehatan Indonesia**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 10–18, 2017.

REGO, R. A.; VIALTA, A.; MADI, L. F. C. **Pães Industrializados: nutrição e praticidade com segurança e sustentabilidade**. São Paulo: Abimapi/ITAL, 2020. Disponível em: <https://ital.agricultura.sp.gov.br/paes-industrializados/4/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

RENZETTI, S.; DAL BELLO, F.; ARENDT, E. K. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. **Journal of Cereal Science**, [s.l.], v. 48, n. 1, p. 33–45, 2008.

RICHMAN, E. Proceedings of the nutrition society the safety of oats in the dietary treatment of coeliac disease the safety of oats in the dietary treatment of coeliac disease. **Proceedings of the Nutrition Society**, [s.l.], v. 71, p. 534–537, 2012.

RICHTER, V. R. **Panificação**. Indaial: UNIASSELVI, 2019. Disponível em:

<https://www.uniasselvi.com.br/extranet/layout/request/trilha/materiais/livro/livro.php?codigo=37996>. Acesso em: 22 jun. 2021.

RODRIGUES, L. B. O. *et al.* Rheological and textural studies of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch–sucrose–whey protein concentrate gels. **Journal of Food Science and Technology**, [s.l.], v. 55, n. 8, p. 2974–2984, 2018.

ROMAN, L.; BELORIO, M.; GOMEZ, M. Gluten-Free Breads: the gap between research and commercial reality. **Food Science and Food Safety**, [s.l.], v. 18, p. 690-702, 2019.

ROONEY, L. W.; PFLUGFELDER, R. L. (1986). Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn1. **Journal of Animal Science**, v. 63, n. 5, p. 1607-1623, 1986.

SABANIS, D.; TZIA, C. Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread. **Food Science and Technology International**, [s.l.], v. 17, n. 4, p. 279–291, 2011.

SAHA, D.; BHATTACHARYA, S. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. **Journal of Food Science and Technology**, [s.l.], v. 47, n. 6, p. 587–597, 2010.

SAHAGÚN, M.; GÓMEZ, M. Assessing Influence of Protein Source on Characteristics of Gluten-Free Breads Optimising their Hydration Level. **Food and Bioprocess Technology**, [s.l.], v. 11, n. 9, p. 1686–1694, 2018.

SANDRI, L. T. B. *et al.* Development of gluten-free bread formulations containing whole chia flour with acceptable sensory properties. **Food Science and Nutrition**, [s.l.], v. 5, n. 5, p. 1021–1028, 2017.

SANTOS, F. G. *et al.* Effect of added psyllium and food enzymes on quality attributes and shelf life of chickpea-based gluten-free bread. **Lwt**, [s.l.], v. 134, 2020.

SANTOS, F. G. *et al.* Potential of chickpea and psyllium in gluten-free breadmaking: Assessing bread's quality, sensory acceptability, and glycemic and satiety indexes. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 113, p. 1-9, 2021.

SANTOS, M. R. *et al.* Adição de hidrocolóides em pães sem glúten seguido de enriquecimento com polpa de abacate (*persea americana* mill). **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 5, n. 7, p. 8018–8061, 2019.

SAPONE, A. *et al.* Divergence of gut permeability and mucosal immune gene expression in two gluten-associated conditions: celiac disease and gluten sensitivity. **BMC Medicine**, [s.l.], v. 9, n. 23, p. 1-11, 2011.

SAPONE, A. *et al.* **Spectrum of gluten-related disorders: consensus on new nomenclature and classification**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1741-7015/10/13>>. Acesso em: 8 jun. 2021.

SAUERESSIG, A. L. C.; KAMINSKI, T. A.; ESCOBAR, T. D. Inclusão de fibra alimentar em pães isentos de glúten Inclusion of dietary fiber in gluten-free breads. **Brazilian Journal**

of **Food Technology**, [s.l.], v. 19, n. 1, p. 1–8, 2016.

SCHWAMBACH, C.; SOBRINHO, G. C. **Fisiologia Vegetal: introdução às características, funcionamento e estruturas das plantas e interação com a natureza**. São Paulo: Érica, 2014.

SCIARINI, L. S. *et al.* Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. **Journal of Food Engineering**, [s.l.], v. 111, n. 4, p. 590–597, 2012.

SILANO, M. *et al.* Avenins from different cultivars of oats elicit response by coeliac peripheral lymphocytes. **Scandinavian Journal of Gastroenterology**, [s.l.], v. 42, n. 11, p. 1302–1305, 2007.

SILVA FIGUEIRA, F. DA *et al.* Pão sem glúten enriquecido com a microalga *Spirulina platensis*. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s.l.], v. 14, n. 04, p. 308–316, 2011.

SINGH, B. Psyllium as therapeutic and drug delivery agent. **International Journal of Pharmaceutics**, [s.l.], v. 334, n. 1–2, p. 1–14, 2007.

SMERDEL, B. *et al.* Improvement of gluten-free bread quality using transglutaminase, various extruded flours and protein isolates. **Journal of Food and Nutrition Research**, [s.l.], v. 51, n. 4, p. 242–253, 2012.

SOUSA, B. **Categoria de alimentos sem glúten cresce a dois dígitos Grande Consumo**. 2019. Disponível em: https://grandeconsumo.com/categoria-de-alimentos-sem-gluten-cresce-a-dois-digitos/#.YNRc_GhKjIU. Acesso em: 24 jun. 2021.

SOUZA, D. C. DE *et al.* Characterization of arrowroot starch in different agronomic managements. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 66, n. 5, p. 323–332, 2019.

STAUDACHER, H. M.; GIBSON, P. R. How healthy is a gluten-free diet? **British Journal of Nutrition**, [s.l.], v. 114, n. 10, p. 1539–1541, 2015.

SUDARYATI, E.; NASUTION, E.; ARDIANI, F. Nutritional quality of bread from mixture of arrowroot flour (*Marantha arundinacea* L.) and wheat flour. **Advances in Health Sciences Research**, [s.l.], v. 9, p. 186–189, 2017.

SULZBACH, A. C.; FORTES BRAIBANTE, M. E.; STORGATTO, G. A. A bioquímica do glúten através de oficinas temáticas. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 767–776, 2015.

SWORN, G. Xanthan Gum - Functionality and Application. *In: Practical Food Rheology: an interpretive approach*. Nova Jersey: Wiley-Blackwell, 2010. p. 85–112.

TANVEER, M.; AHMED, A. Non-celiac gluten sensitivity: a systematic review. **Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan**, [s.l.], v. 29, n. 1, p. 51–57, 2019.

TORAL, F. L. B. *et al.* Digestibilidade de duas fontes de amido e atividade enzimática em coelhos de 35 e 45 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia** (suplemento), v. 31, n. 3,

p. 1434-1441, 2002.

TORRES, G. A. M. *et al.* Proteínas de reserva do trigo: gluteninas. **Embrapa Trigo - Documentos online** **117**, p. 1-6, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPT-2010/40776/1/p-do117.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2021.

TOTH, M.; VATAI, G.; KORIS, A. Gluten-free bread from ingredients and nutrition point of view: a mini-review. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, [s.l.], v. 32, n. 9, p. 634–639, 2020.

TOUFEILI, I. *et al.* Formulation of gluten-free pocket-type flat breads: optimization of methylcellulose, gum arabic, and egg albumen levels by response surface methodology. **Cereal Chemistry**, [s.l.], v. 71, n. 6, p. 594–601, 1994.

TURABI, E.; SUMNU, G.; SAHIN, S. Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 24, n. 8, p. 755–762, 2010.

VALENCIA, G. A. *et al.* Maranta (*Maranta arundinacea* L) starch properties. **International Conference on Food Propriertes**, Malaysia, p. 24–26, 2014.

VAN DER BORGHT, A. *et al.* Fractionation of wheat and wheat flour into starch and gluten: Overview of the main processes and the factors involved. **Journal of Cereal Science**, [s.l.], v. 41, n. 3, p. 221–237, 2005.

VERMA, A.; MOGRA, R. Psyllium (*Plantago ovata*) Husk: a wonder food for good health. **International Journal of Science and Research**, [s.l.], v. 14, n. 9, p. 1581-1585, 2015.

VIDAURRE-RUIZ, J. *et al.* Influence of tara gum and xanthan gum on rheological and textural properties of starch-based gluten-free dough and bread. **European Food Research and Technology**, [s.l.], v. 245, n. 7, p. 1347–1355, 2019.

VIEIRA, J. C. B. *et al.* Desempenho da araruta “Viçosa” consorciada com crotalária. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 4, p. 518–524, 2015.

VILLAS BOAS, F. Efeito da β -amilase e α -amilase fúngica seguido de desramificação na formação e características estruturais de amido resistente tipo 3 de batata e araruta. 2014. Dissertação (estrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2014.

2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

WASHIZU, K. *et al.* Molecular cloning of the gene for microbial transglutaminase from streptovercillium and its expression in streptomyces lividans. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, [s.l.], v. 58, n. 1, p. 82–87, 1994.

WIESER, H. Relation between gliadin structure and coeliac toxicity. **Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics Supplement**, [s.l.], v. 412, p. 3–9, 1996.

WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, [s.l.], v. 24, n. 2, p. 115–119, 2007.

WILCOX, C. P.; SWAISGOOD, H. E. Modification of the rheological properties of whey protein isolate through the use of an immobilized microbial transglutaminase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s.l.], v. 50, n. 20, p. 5546–5551, 2002.

WOTCHIK, J. H.; HUEBNER, I. R.; DIMLER, R. J. Reduction and starch-gel electrophoresis of wheat gliadin and glutenin. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, [s.l.], v. 105, p. 151–155, 1964.

WOYCHIK, J. H.; BOUNDY, J. A.; DIMLER, R. J. Starch gel electrophoresis of wheat gluten proteins with concentrated urea. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, [s.l.], v. 94, n. 3, p. 477–482, 1961.

WRIGLEY, C. W. Giant proteins with flour power. **Nature**, [s.l.], v. 381, p. 738–739, 1996.

YEMENICIOĞLU, A. *et al.* A review of current and future food applications of natural hydrocolloids. **International Journal of Food Science and Technology**, [s.l.], v. 55, n. 4, p. 1389–1406, 2020.

ZÁRATE, N. A. H.; VIEIRA, M. DO C. Produção da araruta “Comum” proveniente de três tipos de propágulos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 995–1000, 2005.

ŽILIC, S. Wheat gluten: composition and health effects. *In*: WALTER, D. B. (Ed.). **Gluten: sources, composition and health effects**. [s.l.]: Nova Science Publisher, Inc., 2013. p. 71–86.

ZONE, J. J. Skin manifestations of celiac disease. **Gastroenterology**, [s.l.], v. 128, n. 4, p. 87–91, 2005.