

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

ELLEN NUNES MARÇAL

**PRODUÇÃO DE MASSA ALIMENTÍCIA DE SORGO ISENTA DE GLÚTEN
ENRIQUECIDA COM *Dunaliella salina* E SUBPRODUTOS DE MANDIOCA E
PALMITO PUPUNHA**

PONTA GROSSA - PARANÁ

2024

ELLEN NUNES MARÇAL

**PRODUÇÃO DE MASSA ALIMENTÍCIA DE SORGO ISENTA DE GLÚTEN
ENRIQUECIDA COM *Dunaliella salina* E SUBPRODUTOS DE MANDIOCA E
PALMITO PUPUNHA**

PONTA GROSSA - PARANÁ

2024

M313 Marçal, Ellen Nunes
Produção de massa alimentícia de sorgo isenta de glúten enriquecida com *Dunaliella salina* e subprodutos de mandioca e palmito pupunha / Ellen Nunes Marçal. Ponta Grossa, 2024.
152 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Área de Concentração: Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Dalva Godoy.

Coorientador: Prof. Dr. João Carlos Monteiro de Carvalho.

1. Fibras alimentares. 2. Amido. 3. Atividade antioxidante. 4. Firmeza - Massas. 5. Carotenoides. I. Godoy, Eliane Dalva. II. Carvalho, João Carlos Monteiro de. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ciências e Tecnologia de Alimentos. IV.T.

CDD: 664.2

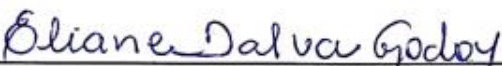
TERMO DE APROVAÇÃO

ELLEN NUNES MARÇAL

**"Produção de massa alimentícia de sorgo isenta de glúten enriquecida com
Dunaliella salina e subprodutos de mandioca e palmito pupunha"**

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do grau de Mestre(a) no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



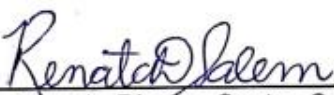
Profa. Dra. Eliane Dalva Godoy - UEPG-PR - Presidente



Profa. Dra. Camila Delinski Bet - UNICESUMAR-PR - Membro Titular



Profa. Dra. Radla Z. Bassetto Bisinella - UEPG-PR - Membro Titular



Profa. Dra. Renata Dinnes Santos Salem - UEPG-PR - Membro Titular

Ponta Grossa, 06 de agosto de 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Patrícia e Leandro, por todo apoio e amor incondicional, e por serem os maiores exemplos de vida. Aos meus irmãos Murilo e Carlos Eduardo, por me trazerem amor, alegria e companheirismo todos os dias. A toda minha família, que são uma presença constante na minha vida. Se não fosse por vocês, eu não teria conseguido.

Às minhas colegas de mestrado e de laboratório, muito obrigada pela ajuda e incentivo durante o projeto, principalmente à Débora K., cujo suporte foi imprescindível. E a Denise Mendes, técnica de laboratório, pela amizade e suporte técnico prestado durante as análises laboratoriais. Sua experiência e dedicação foram fundamentais para o sucesso deste projeto.

Agradeço a minha orientadora, Profa. Dra. Eliane Dalva Godoy, pelo apoio e orientação durante a execução deste trabalho. Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da (UEPG), em especial à banca avaliadora, Profa Dra Radla Zabian Bassetto Bisinella, Profa Dra Camila Delinski Bet e Prof Dra Renata Dinnies Santos Salem, pelas sugestões e correções valiosas ao trabalho.

Ao meu coorientador Prof. Dr. João Carlos Monteiro Carvalho, e ao grupo de pesquisa da USP, pelo apoio técnico e acolhimento.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por conceder a bolsa de estudo, dessa forma tornando a realização do trabalho possível.

RESUMO

O macarrão faz parte da alimentação da população global, entretanto uma parcela de pessoas com sensibilidade ao glúten, não podem consumi-lo. Assim, o sorgo e os subprodutos do processamento de palmito pupunha e de mandioca podem ser opções viáveis como matérias-primas para desenvolvimento de produtos isentos de glúten, pois além de conterem amido, são fontes de fibras, vitaminas e compostos bioativos. O emprego de microalgas em alimentos é interessante, pela composição química que apresentam, e para sua produção são requeridos menos recursos que para fontes convencionais de proteínas, dentre elas, destaca-se a *Dunaliella salina* (DS) como fonte de carotenoides. O objetivo desse estudo foi o desenvolvimento de macarrão isento de glúten, por delineamento experimental 2^3 e incorporação de DS na formulação de maior teor de fibras. Determinou-se das amostras a composição proximal e os teores de compostos fenólicos (CF), carotenoides e antioxidantes (AA) e as características tecnológicas como propriedade de pasta e índices de absorção para as farinhas e propriedades mecânicas e características de cozimento nas massas. A farinha de sorgo (FS) tem elevado conteúdo de amido ($73,22 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$), proteínas ($6,19 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$) e maior AA e CF; a de palmito (FP) contém fibras ($49,97 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$), açúcares e teor de carotenoides, e a farinha de mandioca (FM) tem níveis semelhantes de amido e fibras (40%). Em termos tecnológicos, FP e FM, com mais fibras, mostraram maiores índices de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO), e a FM maior viscosidade, pelas características dessa fonte de amido. As massas processadas com diferentes proporções das farinhas de sorgo (x_1) (30, 45 ou 60%) e dos subprodutos do palmito (x_2) e da mandioca (x_3) (5, 10 ou 15%), foram avaliadas quanto a composição proximal, funcional e a características tecnológicas. As superfícies de resposta demonstraram que as fibras, compostos fenólicos, antioxidantes e perda de sólidos das formulações, apresentaram aumento significativo com maiores porcentagens das farinhas dos subprodutos utilizados. A análise estatística, indicou que todos os fatores do estudo apresentaram efeito significativo ($p \leq 0,05$), em seus termos lineares, em pelo menos uma das respostas analisadas. Na formulação que apresentou o maior conteúdo de fibras de $24,32 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$ e compostos bioativos de $211,56 \text{ mgEAG.}100\text{g}^{-1}$ (M0), foi adicionado 2 e 5% da DS (M2 e M5, respectivamente). Esse enriquecimento acarretou em aumento de proteínas e de antioxidantes, conferindo cor alaranjada às massas, os carotenoides subiram de 3,41 (M0) para 168 (M2) e $266 \mu\text{g. g}^{-1}$ (M5). A incorporação da microalga não acarretou em diferença na perda de sólidos e no perfil textural das massas ($p > 0,05$), e os antioxidantes por DPPH, aumentaram com a incorporação, de 0,28 (M0) para $0,68 \text{ mgET.g}^{-1}$ (M5). Pela análise microbiológica, verificou-se segurança para consumo das massas elaboradas segundo a legislação vigente. Na análise sensorial, as formulações foram bem avaliadas em termos de impressão global, aparência, cor e odor, com médias acima de 6 pontos e sem diferença entre as massas M0 e M2. Assim sendo, a *D. salina* comprovou ser positiva na produção de macarrão com potencial funcional isento de glúten.

Palavras-Chave: Fibras alimentares, atividade antioxidante, amido, firmeza de massas, carotenoides.

ABSTRACT

Pasta is a staple in diets worldwide, but a portion of the population with gluten sensitivity cannot consume it. Sorghum and by-products from the processing of peach palm hearts and cassava can be viable alternatives for developing gluten-free products, as they are not only sources of starch but also provide fibers, vitamins, and bioactive compounds. The use of microalgae in food is interesting due to their rich chemical composition and the fact that they require fewer resources for production compared to conventional protein sources. Among them, *Dunaliella salina* (DS) stands out as a source of carotenoids. The objective of this study was to develop gluten-free pasta through a 2^3 experimental design and the incorporation of DS in the formulation with the highest fiber content. The proximate composition and levels of phenolic compounds (PC), carotenoids, and antioxidants (AA), as well as technological characteristics such as pasting properties and absorption indices for the flours, and mechanical properties and cooking characteristics for the pasta, were determined. Sorghum flour (SF) has a high starch content (73.22 g.100g⁻¹), proteins (6.19 g.100g⁻¹), and the highest AA and PC levels; peach palm heart flour (PPF) contains fibers (49.97 g.100g⁻¹), sugars, and carotenoid content, while cassava flour (CF) has similar levels of starch and fibers (40%). In technological terms, PPF and CF, with higher fiber content, showed higher water absorption indices (WAI) and oil absorption indices (OAI), with CF exhibiting higher viscosity due to the characteristics of this starch source. Pasta processed with different proportions of sorghum flour (x1) (30, 45, or 60%) and peach palm heart (x2) and cassava by-products (x3) (5, 10, or 15%) was evaluated for proximate composition, functionality, and technological characteristics. Response surfaces showed that fibers, phenolic compounds, antioxidants, and solid loss in the formulations increased significantly with higher percentages of the by-product flours used. Statistical analysis indicated that all study factors had a significant effect ($p \leq 0.05$) on at least one of the analyzed responses. In the formulation with the highest fiber content of 24.32 g.100g⁻¹ and bioactive compounds of 211.56 mgGAE.100g⁻¹ (M0), 2% and 5% DS were added (M2 and M5, respectively). This enrichment resulted in an increase in protein and antioxidant content, giving the pasta an orange hue, with carotenoids increasing from 3.41 (M0) to 168 (M2) and 266 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (M5). The incorporation of microalgae did not result in differences in solid loss or textural profile of the pasta ($p > 0.05$), and antioxidants by DPPH increased with the incorporation, from 0.28 (M0) to 0.68 mgTE.g⁻¹ (M5). Microbiological analysis confirmed that the pasta was safe for consumption according to current legislation. Sensory analysis showed that the formulations were well-evaluated in terms of overall impression, appearance, color, and odor, with scores above 6 points and no difference between M0 and M2. Thus, *D. salina* proved to be beneficial in producing gluten-free pasta with functional potential.

Keywords: Dietary fiber, antioxidant activity, starch, pasta firmness, carotenoids.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação de fibras alimentares.....	27
Quadro 2: Produtos Comerciais de Microalgas.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Macarrão mais antigo encontrado em escavações na China (a) e formatos de massas consumidas atualmente (b).....	20
Figura 2: Sorgo granífero - <i>Sorghum bicolor</i>	35
Figura 3: Palmito pupunha e partes da haste (<i>Bactris gasipaes</i> Kunt)	38
Figura 4: Raiz de Mandioca <i>Manihot esculenta</i> Crantz	40
Figura 5: Células de <i>Dunaliella salina</i> em diferentes condições de cultivo.....	47
 Figura 1: Fluxograma do processo de obtenção das farinhas de sorgo, subprodutos de palmito e mandioca	65
Figura 2: Curvas de viscosidade das farinhas de sorgo e subprodutos da mandioca.....	76
Figura 3: Eletromicrografias de farinha dos subprodutos da mandioca (a) 600x, (b) 1000x e (c) 3000x, do palmito pupunha (d) 600x, (e) 1000x e (f) 3000x e do sorgo (g) 500x, (h) 1000x e (i) 3000x.....	78
 Figura 1: Fluxograma do processamento de massa alimentícias.....	89
Figura 2: Efeito da farinha de sorgo (x_2) e de subproduto do palmito (x_1) (a) e efeito do conteúdo de farinha de mandioca (x_3) e sorgo (x_2) (b) no teor de fibras de massas isentas de glúten.....	96
Figura 3: Efeito da adição da farinha de sorgo (x_2) e de subproduto do palmito (x_1) (a) e efeito do conteúdo de farinha de mandioca (x_3) e sorgo (x_2) (b) no teor de CF de massas isentas de glúten.....	97
Figura 4: Efeito da adição da farinha de mandioca (x_3) e de subproduto do palmito (x_1) (a) e efeito do conteúdo de farinha de palmito (x_1) e sorgo (x_2) (b) no teor de AA de massas isentas de glúten.....	98
Figura 5: Efeito da adição da farinha de sorgo (x_2) e de subproduto do palmito (x_1) (a) e efeito do conteúdo de farinha de mandioca (x_3) e palmito (x_1) (b) no teor de PS de massas isentas de glúten.....	101
Figura 6: Efeito da farinha de sorgo (x_2) e de subproduto do palmito (x_1) (a) e efeito do conteúdo de farinha de mandioca (x_3) e palmito (x_1) (b) na dureza de massas isentas de glúten.....	103

Figura 1: Fluxograma do processamento de massa alimentícias	112
Figura 2: Aceitabilidade referente aos atributos sensoriais avaliados das massas M0 e M2.....	129
Figura 3: Frequência de atributos selecionados para as massas avaliadas.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação de dados sobre a composição química da farinha de sorgo.....	35
Tabela 2: Composição das farinhas das bainhas do palmito pupunha	38
Tabela 3: Comparação de dados sobre a composição do farelo de mandioca.....	41
Tabela 4: Composição química e energética e teores de compostos bioativos (base seca) na biomassa de <i>Dunaliella salina</i> em dois meios de cultivo.....	48
Tabela 1: Composição das farinhas de sorgo, de subprodutos de palmito e mandioca (média $\pm$ desvio padrão)	69
Tabela 2: Composição mineral das farinhas de sorgo, subprodutos de palmito e mandioca.....	72
Tabela 3: Composição de compostos bioativos das farinhas de sorgo, de subprodutos de palmito e mandioca	73
Tabela 4: Características tecnológicas das farinhas de sorgo, de subprodutos de palmito e mandioca.....	74
Tabela 1: Planejamento experimental (valores codificados e reais) das quantidades testadas de cada farinha para elaboração de massas alimentícias isentas de glúten	88
Tabela 2: Coeficientes de regressão dos modelos, níveis descritivos (p), análise de variância para as massas isentas de glúten elaboradas com farinhas de subprodutos da mandioca (FM) e palmito (FP) e farinha de sorgo (FS)	93
Tabela 3: Composição proximal das massas secas obtidas nos ensaios realizados.....	94
Tabela 4: Teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante por DPPH, ABTS e FRAP nas massas elaboradas.....	96
Tabela 5: Parâmetros de cor L*, a*, b*, croma e ângulo de matiz (Hue) das massas produzidas	99
Tabela 6: Propriedades tecnológicas das massas alimentícias.....	100
Tabela 7: Propriedades mecânicas das massas alimentícias.....	102
Tabela 1: Composição proximal da biomassa de <i>D. salina</i> e das massas secas.....	117

Tabela 2: Teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante por DPPH e FRAP nas massas elaboradas com adição de <i>D. salina</i>	119
Tabela 3: Parâmetros de cor L*, a*, b* das massas secas, cozidas e da água do cozimento e teor de carotenoides das massas produzidas e de biomassa de <i>D. salina</i>	121
Tabela 4: Propriedades tecnológicas das massas alimentícias.....	122
Tabela 5: Propriedades mecânicas das massas alimentícias elaboradas com diferentes proporções de <i>D. salina</i>	123
Tabela 6: Resultado das análises microbiológicas das massas alimentícias	124
Tabela 7: Atributos levados em consideração na compra do produto pelos avaliadores que participaram da análise sensorial de massas.....	126
Tabela 8: Atributos preferidos pelos avaliadores que participaram da análise sensorial de macarrão.....	126
Tabela 9: Palavra x Ocorrência escolhidas pelos avaliadores que participaram da análise sensorial dos macarrões.....	127
Tabela 10: Valores médios para os atributos sensoriais avaliados das massas M0 e M2..	128

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA	Atividade antioxidante
AACC	<i>American Association of Cereal Chemists</i>
ABIMAPI	Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados
ABTS	2,2'-azinobis (3-etilbenzenotiazolina 6-sulfônico
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC	<i>Association of Official Analytical Collaboration</i>
Aw	Atividade de água
CF	Compostos fenólicos totais
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DC	Doença celíaca
DS	<i>Dunaliella salina</i>
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazila
EAL	Extrato Alcoólico
EAG	Ácido gálico equivalente
EAQ	Extrato Aquoso
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FDA	<i>Food and Drugs Administration</i>
FM	Farinha de subprodutos de Mandioca
FS	Farinha de Sorgo
FP	Farinha de subprodutos de Palmito Pupunha
FRAP	Capacidade antioxidante de redução do ferro
IAA	Índice de absorção de água
IAO	Índice de absorção de óleo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDA	Ingestão diária aceitável
IN	Instrução Normativa
ISA	Índice de solubilidade em água
M0	Massa alimentícia sem <i>D. salina</i>
M2	Massa alimentícia com 2 % <i>D. salina</i>
M5	Massa alimentícia com 5 % <i>D. salina</i>
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
N	Newton (unidade de força)
OMS	Organização Mundial da Saúde
PBF	<i>Plant Based Foods</i>
OS	Perda de sólidos
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RVA	<i>Rapid analyser viscosimeter</i>
TE	Trolox equivalente
TBCA	Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
OBJETIVOS.....	19
OBJETIVO GERAL.....	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
1.1 MASSA ALIMENTÍCIA.....	20
1.2 GLÚTEN, DISFUNÇÕES RELACIONADAS E PRODUTOS <i>GLUTEN FREE</i>	21
1.3 <i>PLANT BASED FOODS</i> (PBF)	23
1.4 ALIMENTOS FUNCIONAIS	25
1.4.1 Fibras Alimentares.....	26
1.4.1.1 <i>Psyllium</i>	29
1.4.2 Antioxidantes.....	29
1.5 HIDROCOLOIDES E GOMAS.....	31
1.6 ALTERNATIVAS DE INGREDIENTES PARA ELABORAÇÃO DE PANIFICADOS ISENTOS DE GLÚTEN <i>PLANT-BASED</i> COM POTENCIAL FUNCIONAL.....	33
1.6.1 Farinha De Sorgo.....	34
1.6.2 Farinha De Subprodutos Do Palmito Pupunha.....	37
1.6.3 Farinha De Subprodutos De Mandioca	39
1.7 MICROALGAS E <i>Dunaliella salina</i>	41
1.8 CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS.....	50

CAPÍTULO 2 - INVESTIGAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ISENTOS DE GLÚTEN.....	62
2.1 INTRODUÇÃO	62
2.2 OBJETIVOS.....	64
2.2.1 Objetivo Geral.....	64
2.2.2 Objetivos Específicos	64
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
2.3.1 Obtenção das Farinhas de Sorgo e de Subprodutos de Mandioca e Palmito.....	65
2.3.2 Características Físico-Químicas das Farinhas de Sorgo e de Subprodutos de Palmito e Mandioca.....	66
2.3.3 Compostos Fenólicos, Atividade Antioxidante E Carotenoides.....	66
2.3.4 Análises Tecnológicas das Farinhas de Sorgo e de Subprodutos de Palmito e Mandioca.....	68
2.3.4.1 Análise colorimétrica.....	68
2.3.4.2 Granulometria.....	68
2.3.4.3 Propriedades de pasta (RVA).....	68
2.3.4.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	68
2.3.5 Análise Estatística.....	69
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
2.4.1 Composição das Farinhas Obtidas.....	69
2.4.2 Carotenoides, Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante	72
2.4.3 Características Tecnológicas Das Farinhas.....	73
2.5 CONCLUSÃO.....	78
REFERÊNCIAS.....	79

CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO DE MASSA ALIMENTÍCIA ISENTA DE GLÚTEN COM FARINHAS DE SORGO E ARROZ E DE SUBPRODUTOS DE PALMITO PUPUNHA E MANDIOCA.....	84
3.1 INTRODUÇÃO.....	84

3.2	OBJETIVOS.....	87
3.2.1	Objetivo Geral.....	87
3.2.2	Objetivos Específicos	87
3.3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	87
3.3.1	Materiais.....	87
3.3.2	Produção das Massas	87
3.3.3	Composição Proximal.....	89
3.3.4	Extração e Análise de Antioxidantes e Fenóis Totais.....	91
3.3.4.1	Extração dos compostos.....	91
3.3.4.2	Compostos fenólicos totais.....	91
3.3.4.3	Análise Antioxidante por DPPH.....	91
3.3.4.4	Análise Antioxidante por ABTS.....	91
3.3.4.5	Análise Antioxidante por FRAP.....	91
3.3.5	Análise Tecnológicas.....	91
3.3.5.1	Tempo de cozimento.....	92
3.3.5.2	Absorção de água.....	92
3.3.5.3	Perda de sólidos.....	92
3.3.6	Análise Colorimétrica.....	92
3.3.7	Propriedades Mecânicas.....	92
3.3.8	Análise Estatística.....	93
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
3.4.1	Coeficientes de Regressão e Análise Estatística.....	93
3.4.2	Composição Proximal das Massas.....	96
3.4.3	Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante.....	98
3.4.4	Análise Colorimétrica.....	98
3.4.5	Análise Tecnológica.....	101
3.4.6	Propriedades Mecânicas.....	104
3.5	CONCLUSÃO.....	103

REFERÊNCIAS.....	104
-------------------------	------------

CAPÍTULO 4- ENRIQUECIMENTO DE MASSA ALIMENTÍCIA COM <i>Dunaliella salina</i>.....	108
--	------------

4.1	INTRODUÇÃO	109
4.2	OBJETIVOS.....	110
4.2.1	Objetivo Geral.....	110
4.2.2	Objetivos Específicos	110
4.3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	111
4.3.1	MATERIAIS.....	111
4.3.2	Produção das Massas	111
4.3.3	Composição Proximal.....	113
4.3.4	Extração e Análise de Antioxidantes e Fenóis Totais.....	113
4.3.4.1	Extração dos compostos	113
4.3.4.2	Compostos fenólicos totais.....	113
4.3.4.3	Análise Antioxidante por DPPH.....	114
4.3.4.4	Análise Antioxidante por FRAP.....	114
4.3.5	Carotenoides Totais.....	114
4.3.6	Análise Colorimétrica.....	114
4.3.7	Análises Tecnológicas.....	115
4.3.7.1	Tempo de cozimento.....	115
4.3.7.2	Absorção de água.....	115
4.3.7.3	Perda de sólidos.....	115
4.3.8	Propriedades Mecânicas.....	115
4.3.9	Avaliação Microbiológica das Massas.....	116
4.3.10	Análise Sensorial.....	116
4.3.11	Análise Estatística.....	117
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	117

4.4.1	Composição Proximal da Biomassa e das Massas.....	117
4.4.2	Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante.....	121
4.4.3	Carotenoides e Colorimetria.....	123
4.4.4	Análises Tecnológicas.....	125
4.4.5	Propriedades Mecânicas.....	126
4.4.6	Análise Microbiológica.....	127
4.4.7	Análise Sensorial.....	128
4.5	CONCLUSÃO.....	131
	REFERÊNCIAS.....	132
	 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 138
	 APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	 140
	APÊNDICE B - PARECER SUBSTANCIADO DO CEP.....	141
	APÊNDICE C- QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO ANÁLISE SENSORIAL.....	145

INTRODUÇÃO

O macarrão é um dos produtos alimentícios mais consumidos mundialmente. No Brasil apresenta grande consumo, segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados, em 2023 foi comercializado 1,2 milhões de toneladas do produto, gerando 13,8 bilhões de reais em massas alimentícias industrializadas (ABIMAPI, 2023).

Apesar disso, observa-se a necessidade de alternativas que atendam a demanda crescente de alimentos para fins especiais, saudáveis, práticos e sustentáveis. Um nicho de mercado nessa linha são os portadores de intolerância ao glúten, que precisam de alimentos com seu valor nutricional melhorado, com características tecnológicas e sensoriais satisfatórias (Schmielei *et al.*, 2013). Cerca de 1% da população mundial é portadora da doença celíaca e 10% possuem alguma reação adversa ao glúten (Papagianni *et al.*, 2024).

A substituição do trigo representa um desafio, devido às propriedades reológicas que proporciona ao macarrão. Assim, estudos vêm sendo realizados, investigando farinhas isentas de glúten que possam conferir propriedades sensoriais e tecnológicas satisfatórias. Através de pesquisas de mercado, observa-se que a maioria das marcas disponíveis são de baixo valor nutricional, apresentando elevado aporte calórico e preço.

Como a base das massas isentas de glúten são materiais amiláceos, a farinha integral de sorgo pode ser uma alternativa, pois além de conter até 80% de amido, apresenta em sua composição proteínas, fibras, vitaminas e minerais, com destaque para os compostos fenólicos, que podem agregar no enriquecimento nutricional desses produtos (Mariani *et al.*, 2015).

Outra alternativa que se reveste de importância é a investigação dos descartes ou subprodutos como matérias-primas para aplicação em alimentos, pois podem apresentar em sua composição nutrientes que proporcionarão enriquecimento nutricional a custos mais baixos (Bachegga, 2020; Oliveira *et al.*, 2020; Comettant-Rabanal *et al.*, 2021). As agroindústrias tem participação expressiva na economia do país, no entanto, as cadeias produtivas tem como desafios uma produção mais sustentável, uma vez que geram quantidades elevadas de resíduos que precisam ter uma destinação adequada, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Santos; Bolanho; Danesi, 2021).

Um desses subprodutos que vem sendo investigados, é proveniente do palmito pupunha, onde até 80% da haste colhida apresenta textura inadequada para processamento de conservas e minimamente processados (Helm *et al.*, 2014; Spacki *et al.*, 2022). Esses materiais

podem ser transformados em farinhas, que apresentam elevado conteúdo de fibras alimentares, vitaminas, minerais e quando incorporadas em diversos alimentos, tem se mostrado promissoras (Danesi *et al.*, 2018).

O mesmo ocorre no processamento do amido de mandioca, onde o material fibroso e o amido que não foram extraídos na prensagem, material conhecido por farelo de mandioca, pode ser utilizado para alimentação humana, apresentando amido e fibras majoritariamente em sua composição. A composição varia em função da matéria-prima e do nível tecnológico adotado pela indústria (Navacchi *et al.*, 2012; Ronko *et al.*, 2020).

O cultivo de microalgas vem ganhando destaque, como forma mais sustentável de produção de grandes concentrações de substâncias de alto valor agregado, bem como de proteínas (Ben-Amotz *et al.*, 2009; Tinoco; Teixeira; Rezende, 2015). Dentre as diversas espécies, a *Dunaliella salina*, tem despertado interesse comercial e científico, devido a sua capacidade de produção de carotenoides e proteínas, dentre outros compostos, de importância para enriquecimento nutricional de formulações alimentícias.

Deste modo, estudar a aplicação em produtos panificados como macarrão, de subprodutos de palmito pupunha e mandioca, é importante, pois são materiais mais econômicos e por serem fontes de compostos bioativos podem conferir apelo funcional. O desenvolvimento dessas formulações suplementadas com *Dunaliella salina*, constitui o objetivo dessa pesquisa.

O documento foi elaborado dividindo o conteúdo em 4 capítulos a saber, Capítulo 1 – Revisão bibliográfica, Capítulo 2 – Investigação de matérias-primas para desenvolvimento de produtos isentos de glúten, Capítulo 3 – Desenvolvimento de massa alimentícia isenta de glúten com farinhas de sorgo e de subprodutos de palmito pupunha e mandioca e Capítulo 4 – Enriquecimento de massa alimentícia com *Dunaliella salina*.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Desenvolver macarrão *plant-based*, isento de glúten, a partir da farinha de sorgo e de subprodutos de palmito pupunha e mandioca, suplementado com *Dunaliella salina*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter as farinhas de sorgo e de subprodutos industriais de palmito pupunha e mandioca.
- Realizar análises de composição, tecnológicas, reológicas e de coloração das farinhas.
- Elaborar diferentes formulações de macarrão, variando as proporções das farinhas, utilizando metodologia de superfície de resposta.
- Avaliar o teor de compostos fenólicos, atividade antioxidante total e carotenoides das farinhas e dos macarrões elaborados.
- Determinar a composição proximal e avaliar as propriedades tecnológicas das formulações de macarrão elaboradas.
- Definir a formulação ótima de macarrão, com base no teor de fibras, proteínas e nas propriedades tecnológicas.
- Adicionar a microalga *Dunaliella salina* na formulação de macarrão definida como ideal e verificar a influência no valor nutricional, propriedades tecnológicas e aceitação sensorial.

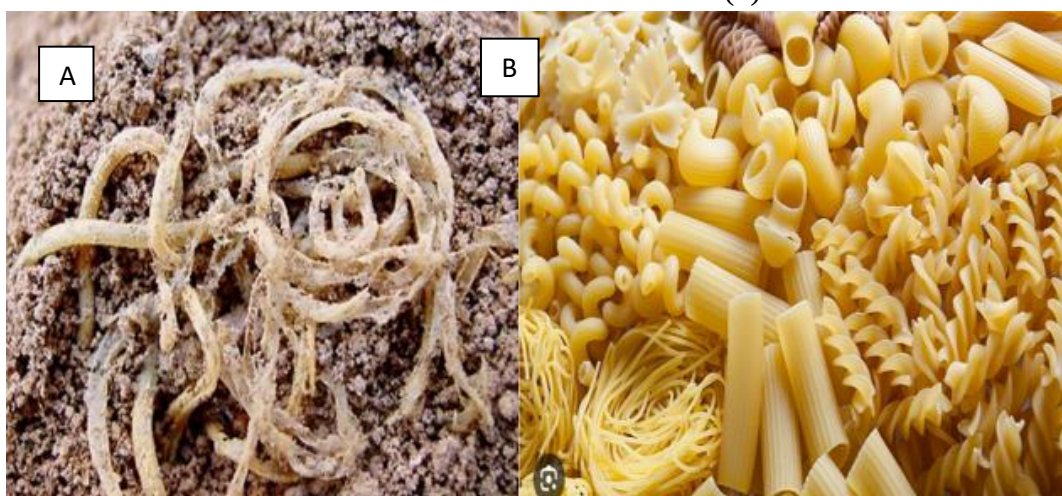
CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 MASSA ALIMENTÍCIA

Ainda há divergências sobre a origem das massas, alguns dados arqueológicos relatam o surgimento no norte da China em 5000 a.C., enquanto outras pesquisas apontam para os assírios e babilônios, que já consumiam uma pasta com cereais e água, muito próxima as pastas conhecidas em 2500 a.C, também existem indícios que os árabes foram os inventores no século IX (ABIMAPI, 2021). O alimento chegou na Europa no século XIII, quando o mercador Marco Polo, em uma de suas viagens pela China, descobriu o macarrão e o difundiu na Itália (Guerreiro, 2006). Na Figura 1 pode-se observar, a esquerda, restos de macarrão datados de 4000 mil anos atrás, que foram encontrados em 2005 nas escavações de Laija, em Qinghai, China e representa o indício mais antigo conhecido da existência do Macarrão, e na direita formatos de macarrão na atualidade.

Figura 1: Macarrão mais antigo encontrado em escavações na China (a) e formatos de massas consumidas atualmente (b)



Fonte: Google imagens.

Assim, no fim da Idade Média as massas preparadas com farinha de trigo se popularizaram na Europa, devido às características de longa validade e alto teor calórico, sendo essencial para a história, utilizada durante as grandes navegações nos séculos seguintes (Bartaburu, 2016).

O macarrão chegou ao Brasil no final do século XIX, com a imigração italiana no sul e sudeste, e logo se popularizou no restante do país, tornando-se um dos alimentos mais consumidos, devido a sua versatilidade de formatos e acompanhamentos possíveis, baixo

custo, longa vida de prateleira, além de ser nutritivo e com alto valor calórico (Guerreiro, 2006). O mercado de massas alimentícias movimenta cerca de 12,65 bilhões de reais anualmente e produziu mais de 1,3 toneladas dos mais variados tipos de macarrão (ABIMAPI, 2024).

As massas alimentícias podem ser descritas como um produto não fermentado obtido através do amassamento mecânico da água potável com farinha de trigo (*Triticum durum L.*) ou de derivados de cereais, leguminosas e/ou tubérculos, podendo ser adicionados outros ingredientes permitidos pela legislação, seguido de extrusão ou moldagem (ANVISA, 2022). Tradicionalmente o ingrediente principal é a farinha de trigo, representando uma grande parcela dos alimentos produzidos com o grão (Shiozawa *et al.*, 2020).

1.2 GLÚTEN, DISFUNÇÕES RELACIONADAS E PRODUTOS *GLUTEN FREE*

A farinha de trigo é a base da alimentação de muitas pessoas mundialmente, sendo o cereal mais apropriado para a produção de diversos alimentos, entre eles o pão, bolos e massas. As proteínas dessa matéria-prima apresentam características únicas que garantem aos alimentos, atributos sensoriais superiores aos de outras farinhas (Altamirano-Fortoul *et al.*, 2014; Aly *et al.*, 2021).

Um dos principais componentes da farinha de trigo é o glúten, grupo proteico de duas proteínas: gliadina e glutenina, pertencentes à classe das prolaminas e as gluteínas, respectivamente (Shewry, 2019). As gluteninas conferem viscosidade e elasticidade, enquanto que as gliadinas são responsáveis pela extensibilidade da massa do pão (Dong *et al.*, 2009). Na presença de água e trabalho mecânico, tem a capacidade de formar uma rede viscoelástica, que concede à massa propriedades de elasticidade e extensibilidade, que são essenciais para panificados (Altamirano-Fortoul *et al.*, 2014).

Assim, a proporção e a interação entre essas proteínas vão influenciar diretamente nas características das massas, por desempenharem diferentes funções nas propriedades reológicas, como estabilidade e viscosidade. Após hidratação, as gluteninas auxiliam na resistência e elasticidade, enquanto as gliadinas fornecem extensibilidade à massa (Payne, 1987; Mandarino, 1994; Biesiekierski, 2017).

Durante a produção de massas alimentícias a partir da farinha de trigo, a formação da rede de glúten garante a elasticidade e a contenção dos grânulos de amido, evitando perdas de sólidos solúveis durante o cozimento. Características próprias das massas, tornam a retirada do glúten desafiadora, ao longo da cocção, a perda de sólidos não pode ser superior a 6%, a

absorção de água deve ocorrer de forma que o peso da massa cozida seja o dobro do produto cru e o volume deve aumentar duas ou três vezes (Brites; Schmiele; Steel, 2018).

As prolaminas também podem ser encontradas em outros cereais, como na aveia (avenina), centeio (secalina) e cevada (hordeína) e podem ser chamados de glúten. E, assim como o trigo, possuem o componente que pode desencadear a doença celíaca (Biesiekierski, 2017; Silva; Bolini; Clerici, 2021).

Existem dois tipos principais de enfermidades relacionadas ao glúten, a doença celíaca (DC) e a alergia ao trigo, sendo causadas por diferentes mecanismos fisiopatológicos. A DC é uma reação autoimune, sendo uma enteropatia do intestino delgado podendo causar lesões intestinais severas. Enquanto, a alergia ao trigo, que pode ser desencadeada pelo glúten ou por outras proteínas, é um distúrbio causado quando os anticorpos Imunoglobulina reconhecem antígenos de certas proteínas, provocando uma série de reações alérgicas (Pietzak, 2012; Cabanillas, 2020).

A doença celíaca pode se manifestar em qualquer faixa etária, desde que o glúten seja introduzido na dieta, podendo variar entre os indivíduos, inclusive em estágios distintos da doença podem apresentar sintomas variados no mesmo indivíduo, dificultando o diagnóstico (Pratesi; Gondolfi, 2005).

A alergia e intolerância a alimentos são reações anormais do metabolismo causadas pela ingestão de certos alimentos ou aditivos, sendo a alergia ao trigo uma reação do sistema imunológico às proteínas insolúveis presentes. Os sintomas podem ter início logo após o consumo ou até algumas horas depois. Variam de acordo com o meio de contaminação, se foi ingestão por via oral, inalação ou contato com a pele. Os sintomas são comuns a outras alergias, como rinite, asma, dermatite atópica quando há contato e até mesmo choque anafilático, que pode causar morte (Kucek; Veenstra, 2015; Bertoni, 2016; Biesiekierski, 2017).

O único tratamento efetivo para as enfermidades relacionadas ao glúten é a exclusão total da alimentação dos produtos que possam contê-lo. Assim o trato gastrointestinal e as mucosas podem ter chance de recuperação, prevenindo complicações da doença e possíveis reversões de quadros clínicos (Araújo, 2010).

Alguns dos problemas deste tratamento são o custo e a disponibilidade de alimentos isentos de proteínas e eventual deficiência nutricional (Missbach *et al.*, 2015). O desenvolvimento de produtos que utilizam matérias-primas com valor nutricional agregado é essencial para melhorar o estado nutricional dos indivíduos com distúrbios relacionados às proteínas dos cereais (Alvarez-Jubete; Arendt; Gallagher, 2009).

Nesse sentido, estudos para desenvolvimento de produtos que atendam esse público-alvo reveste-se de importância, com o uso de farinhas que não contenham glúten, mas com propriedades sensoriais, nutricionais e tecnológicas apropriadas.

As farinhas contendo amido podem ser usadas para substituição da farinha de trigo em produtos isentos de glúten (Martínez-Villaluenga, Peñas; Hernández-Ledesma, 2020). O amido tem impacto direto nas propriedades físicas da farinha, em conjunto com os outros componentes (proteínas de armazenamento, carboidratos não amiláceos, lipídios, minerais, vitaminas, enzimas), podem ter efeito sobre as características dos sistemas físicos das farinhas, determinando o valor nutricional dos produtos elaborados (Garófalo *et al.*, 2011).

As fontes amiláceas mais utilizadas na panificação sem glúten são farinhas de arroz, mandioca, batata, milho e trigo sarraceno. A fonte amilácea e a proporção de amilose e amilopectina podem influenciar a consistência da massa e a taxa de gelatinização/retrogradação, características importantes em produtos de panificação. O arroz tem sido o mais usado para a elaboração de panificados sem glúten por apresentar sabor suave, cor branca, alta digestibilidade, propriedades hipoalergênicas, baixo teor de sódio e de gordura (Sciarini *et al.*, 2012).

A água é essencial em produtos de panificação à base de amido, conectando os grânulos e formando uma estrutura viscoelástica ou uma suspensão de grânulos de sedimentação lenta, dependendo da quantidade de água. O comportamento do sistema varia conforme a origem do amido e as substâncias não amiláceas que estabilizam a mistura (Witczak *et al.*, 2016).

Campos e Almeida (2021), frente a eventual deficiência nutricional de dietas isentas de glúten, desenvolveram macarrão utilizando o tubérculo taro. Esta matéria-prima é rica em vitaminas e minerais, contém amido resistente, com 70-80% de amido em base seca, componente essencial para dar estrutura a massas sem glúten. Apesar da deficiência de proteínas dessa matéria-prima, com a inserção de coadjuvantes tecnológicos, essa alternativa se mostrou viável, evitando perdas no cozimento.

1.3 PLANT BASED FOODS (PBF)

São requeridos para os seres vivos diversos nutrientes para o crescimento, funcionamento, desenvolvimento e manutenção do organismo. Os alimentos à base de vegetais constituem uma das mais importantes fontes de nutrientes na dieta humana. Existem

fortes evidências que o consumo de alimentos *plant-based* (PBF - *plant based foods*), estão associados a redução de riscos de várias doenças crônicas (Carvalho, Vasconcelos, 2013).

Essa denominação foi criada pelo Dr. Thomas Colin Campbell, bioquímico nutricional, que a usou para elaborar um plano alimentar com base em alimentos vegetais e que apresentassem baixos teores de gorduras, ricos em fibras para promoção de uma vida mais saudável (Legnaioli, 2020).

Plant based foods (PBF) é um padrão alimentar à base de frutas, legumes e vegetais, nozes, sementes, óleos, grãos integrais e leguminosas. PBF são componentes tradicionais das dietas das regiões asiática e do mediterrâneo, associadas aos baixos índices de doenças cardiovasculares e, conseqüentemente, mortalidade por este tipo de doença nessas localidades (Clem, Barthel, 2021).

Esse estilo alimentar tem ganho cada vez mais adeptos. Dentre as razões para essa opção de dieta baseada em vegetais, seguindo o vegetarianismo ou veganismo, destaca-se a promoção da saúde, a prevenção de doenças, a ideologia de proteção aos animais e a diminuição do impacto ambiental (World Health Organization, 2021).

Frente a essa tendência no perfil dos consumidores, a indústria procura alternativas para atender essa demanda. Marcas reconhecidas por seus produtos de origem animal, lançaram produtos “veganos” para conquistar novos clientes e trazer de volta aqueles que mudaram seus hábitos e deixaram de consumir seus produtos. Cita-se o clássico caso de uma das maiores redes de *fast-food* mundiais, o KFC, que lançou em agosto de 2019 o “*frango frito vegano*”, e ao invés dos famosos pedaços de frango frito, essa versão usa como matéria-prima o cogumelo *eryngui*. Na fase de teste, 5 horas foram suficientes para o produto se esgotar em uma das lojas (*Plant Based News*, 2019).

Como inovação também cabe mencionar estudos na área de metabolômica (análise de metabólitos em plantas para melhorar o rendimento das colheitas, resistência a pragas e qualidade nutricional dos alimentos), com potencial de sucesso com a finalidade de biofortificação de vegetais, proporcionando espécies com maior aporte nutricional, com aumento da densidade de micronutrientes e/ou biodisponibilidade. O processo é complexo e requer estudos avançados que determinem a segurança do consumo e aceitação dos consumidores (Carvalho, Vasconcelos, 2013).

As proteínas vegetais são conhecidas como fontes alimentares menos danosas ao meio ambiente, quando comparadas às de origem animal. Assim, o mercado de *plant-based*, compõem-se de produtos associados a cadeias produtivas mais sustentáveis (Ferrari *et al.*, 2022).

No Brasil cabe mencionar o GFI (*Good Institute Brasil* - gfi.org.br), órgão de pesquisa sem fins lucrativos, que vem atuando no desenvolvimento de proteínas alimentares cultivadas e já alcançando êxito em produção de “carnes de aves” dentre outras, indicando o potencial de sucesso dessa tecnologia inovadora.

1.4 ALIMENTOS FUNCIONAIS

Mudanças que vêm sendo observadas nos hábitos alimentares dos consumidores são decorrentes da conscientização da relação dos alimentos com a saúde. O aumento da exigência dos consumidores, vem impulsionando a indústria de alimentos a desenvolver produtos que atendam essa demanda, ou seja, aliando a saudabilidade com a praticidade (Bigliardi; Galati, 2013).

Nesse sentido, emergiu o conceito de alimentos funcionais, que foi apresentado no Japão na década de 80, a partir de três programas de pesquisa, financiados pelo governo japonês, que compreendiam a avaliação e o desenvolvimento de funções alimentares, que influenciassem na regulação fisiológica (Couri; Matta, 2021).

Esse crescimento está impulsionando o rápido aumento do mercado global de alimentos funcionais, que deve atingir USD 276,68 bilhões até o final de 2024, com uma taxa composta de crescimento anual (CAGR) de 9% (Herdiana, 2023).

No Brasil, a Vigilância Sanitária (ANVISA) é o órgão responsável por regulamentar e aprovar o uso da alegação de alimentos funcionais. Essa regulamentação teve como referência o *Codex Alimentarius* e a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO)/Organização Mundial da Saúde (OMS) (Brasil, 1999). A Resolução nº 18/1999 define a alegação de propriedade funcional, como aquela “referente ao papel metabólico ou fisiológico que o nutriente (exemplo, fibras) ou não nutriente (exemplo, compostos fenólicos) tem no crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções normais do organismo humano”. Os benefícios gerados com o consumo de produtos são obtidos com uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis (Brasil, 1999).

Na literatura, os principais alimentos são relacionados à regulação do intestino (probióticos), equilíbrio da flora intestinal (probióticos, prebióticos e simbióticos), defesa das células contra radicais livres (antioxidantes) e redução dos níveis de colesterol (ácidos graxos, ômega 3 e fitoesteróis) (Bigliardi; Galati, 2013). Alimentos com alegação de propriedades funcionais devem mostrar seus efeitos em quantidades esperadas como comuns na dieta e não

podem ser comercializados na forma de comprimidos ou cápsulas, devem fazer parte de uma referência alimentar comum (Brasil, 1999).

Assim sendo, é de suma importância incorporar compostos bioativos como fontes de antioxidantes e fibras alimentares em alimentos, visando obter formulações de produtos com potencial para reduzir o risco do desenvolvimento de diversas doenças. Esses alimentos devem abranger também o nicho de mercado *gluten-free* e *plant-based*.

1.4.1 Fibras Alimentares

As fibras são polímeros de carboidratos ou polissacarídeos não amiláceos que constituem a parede celular das plantas. Neste grupo se enquadram a celulose, hemicelulose, hemiglicanos, pectinas, além de outros polissacarídeos de origem vegetal e de algas, tais como as gomas e mucilagens. Esses componentes são resistentes à digestão e absorção no intestino delgado humano (Damodaran; Parkin; Fenemma, 2010).

Porém, o conceito de fibras vem sendo ampliado de modo a incluir substâncias semelhantes a elas, como inulina, fruto-oligossacarídeos e amido resistente. As fibras contêm diversos compostos com diferentes propriedades físicas e químicas, sendo que os diversos tipos podem proporcionar benefícios específicos para a saúde. Os efeitos variam desde a modulação da função gastrointestinal e morfologia a alterações do metabolismo de nutrientes e aumento das respostas imunológicas. Alguns destes efeitos resultam das ações mecânicas das fibras no trato alimentar. Outros derivam da interação das fibras com a água, minerais e compostos orgânicos no quimo intestinal. Muitos efeitos adicionais são consequências da fermentação no cólon, que influenciam na ecologia intestinal e geram produtos fisiologicamente ativos (Bernaude; Rodrigues, 2013).

Diversos sistemas de classificação foram sugeridos para os componentes das fibras dietéticas, baseados em aspectos como função, constituintes da fibra, tipo de polissacarídeo, solubilidade no trato gastrointestinal, local de digestão, produtos da digestão e classificação fisiológica. No entanto, nenhum desses sistemas é completamente satisfatório, pois não cobrem todos os aspectos de forma integral. Entre esses sistemas de classificação, os dois mais aceitos são aqueles baseados no conceito de solubilidade e no conceito de fermentabilidade da fibra dietética, geralmente, considera-se que as fibras fermentáveis são solúveis em água, enquanto as fibras não fermentáveis ou pouco fermentáveis são insolúveis em água (Mudgil, 2017).

As fibras solúveis (pectinas, inulina, gomas, fruto-oligossacarídeos (FOS) e o *psyllium*), geralmente são encontradas em frutas e vegetais, e possuem alta capacidade de fermentação, aumenta a saciedade e reduzem a velocidade de movimento através do intestino grosso. As fibras insolúveis (lignina, celulose e hemicelulose), apresentam em plantas lenhosas e cereais, levam a um aumento do volume do bolo fecal, reduzem o tempo de trânsito no intestino grosso e ativam a liberação de hormônios envolvidos na regulação da ingestão de alimentos (Damodaran; Parkin; Fennema, 2010; Aayici *et al.*, 2022; Mahalak *et al.*, 2024).

A inclusão de fibras alimentares insolúveis proporciona benefícios como redução do período de tempo de retenção do bolo fecal no intestino grosso, diminuindo o tempo de contato do órgão com substâncias cancerígenas, reduzindo a incidência de câncer de colo retal. Já fibras solúveis dificultam a absorção de açúcares e de gorduras no intestino, reduzindo os níveis lipídicos sanguíneos e teciduais, diminuindo o índice glicêmico. Ainda, uma característica fundamental da fibra solúvel é a sua capacidade para ser metabolizada por bactérias, conferindo efeito prebiótico (Roberfroid *et al.*, 2010). No Quadro 1 um esquema da classificação de fibras alimentares pode ser observado.

Quadro 1: Classificação de fibras alimentares

Fibras	Lignina		Não hidrossolúveis (Fibras insolúveis)
	Polissacarídeos “não-amilaceos”	Celulose	
		Hemicelulose (B)	
		Hemicelulose (A) Pectinas Gomas Mucilagens Outros polissacarídeos	Hidrossolúveis (Fibras solúveis)
		Inulina	
	Frutooligossacarídeos		
	Amido Resistente		
	Açúcares não absorvidos		Hidrossolúveis em sua maioria

Fonte: Adaptado de Bernaud e Rodrigues (2013).

A ingestão de fibras alimentares pode se dar através de alimentos naturais e processados de origem vegetal (frutas, cereais, verduras, legumes) e a base de farinhas integrais ou enriquecidos com fibras (biscoitos, massas alimentícias, cereais matinais, pães,

barras de cereais, produtos lácteos), assim como através de suplementos alimentares ou farmacêuticos (tabletes, granulados, cápsulas) (Chawla; Patil, 2010).

O efeito protetor das fibras depende de fatores como idade, índice de massa corporal, tabagismo e prática de atividade física. A Organização Mundial da Saúde (OMS), recomenda consumo de fibras alimentares mínimo de 25 g/2.000 kcal (ou 12,5 g/1.000 kcal), valor também adotado pelo Ministério da Saúde para a população brasileira.

No Brasil, a Anvisa declara 25 g como o valor diário de referência (VDR) para fibras alimentares (Brasil, 2020). Estudos têm evidenciado que o consumo ideal vem reduzindo. Esse fato pode ser decorrente de modificações nos hábitos alimentares da população, aliados a mudanças no estilo de vida em função de alterações no perfil socioeconômico do país. A redução na ingestão de fibras alimentares foi mais significativa nas regiões com maior grau de industrialização, como São Paulo e Rio Grande do Sul, impulsionada pela popularidade de alimentos que atraem pelo sabor e praticidade.

Para a inclusão de fibras na determinação do valor energético dos alimentos, é usado o fator de conversão de 2 kcal. g⁻¹ (ou 8 kJ.g⁻¹), a inclusão é considerada apreciável quando a diferença percentual do novo valor energético em relação ao valor energético anterior é superior a 10% (Menezes *et al.*, 2016). A energia proveniente de fibras é utilizada, em sua maior parte, no processo fermentativo no cólon, e cerca de 30% são perdidos na forma de gases e fezes.

Na revisão publicada por Veronese *et al.* (2018), baseada em 72 referências, são apresentadas evidências convincentes associando a ingestão de fibras com a prevenção de uma variedade de doenças crônicas, como as vasculares, diabetes tipo 2, câncer e doenças pancreáticas. Os resultados apoiam uma maior ingestão de fibras como parte de uma dieta saudável. No entanto, indicam a necessidade de estudos clínicos aleatórios e com grande número amostral para relacionar os efeitos positivos a tipos específicos de fibras alimentares.

Além dos efeitos fisiológicos positivos das fibras alimentares, o seu uso na formulação de produtos alimentícios é interessante devido à capacidade de conferir viscosidade, capacidade de formar géis, evitar a sinérese e atuar na estabilização de produtos com gordura e emulsões. Assim, na indústria de alimentos, as fibras são empregadas para, além de aumentar o valor nutricional dos produtos, reduzir a retrogradação e melhorar a textura, com um ganho em absorção de água e possível redução de gordura (Elleuch *et al.*, 2011).

Assim sendo, pesquisar fontes de fibras alimentares para enriquecimento de alimentos é importante. Uma alternativa que tem demonstrado vantagens do ponto de vista ambiental, econômico, nutricional e sensorial é a obtenção de farinhas a partir de partes

descartadas do caule de pupunheira colhida para processamento de palmito (Danesi *et al.*, 2018).

1.4.1.1 *Psyllium*

O *psyllium* (*Plantago ovata*) é uma planta arbustiva da Índia, Irã e Paquistão, que é cultivada em solos arenosos e salinos e é derivado da casca das sementes maduras (Theuwissen, Mensink, 2008). Suas sementes contêm 20 a 30% de mucilagem e são muito utilizadas pela indústria farmacêutica devido ao alto teor de fibras solúveis e aos efeitos na redução da absorção de gordura, na diminuição dos níveis de colesterol LDL, na prevenção de doenças cardiovasculares e no tratamento da constipação (Dakhara, Anajwala, Selote, 2012; Silva *et al.*, 2019).

Devido aos benefícios à saúde e propriedades tecnológicas, o *psyllium* tem sido adicionado em diversos alimentos (Chen *et al.*, 2022). A utilização do *psyllium* na produção de produtos de panificação isentos de glúten é uma opção para adicionar fibras alimentares a esses alimentos (Veronese *et al.*, 2018).

Essa fibra solúvel natural, apresenta alta capacidade de absorção de água e pode aumentar até 20 vezes seu tamanho quando em contato com líquidos (Dikeman, Fahey-Jr., 2006). Tem sido reconhecida por seu efeito de reduzir o colesterol e melhorar a sensibilidade à insulina (Yu *et al.*, 2003). Singh (2007) apresenta em seu artigo de revisão a relação do *psyllium* no tratamento de diversas enfermidades como constipação, diarreia, síndrome do intestino irritado, câncer de cólon e diabetes.

Em relação às massas, quantidades mais elevadas de *psyllium* resulta em maior concentração de água ou líquidos. Essa matéria-prima retém moléculas de água em suas estruturas, o que confere mais umidade e aumenta seu volume, promovendo uma melhor ligação entre os ingredientes e maior maciez ao produto final. Quando a farinha de trigo é retirada desse tipo de produto, a textura tende a ficar mais granulosa, menos macia e mais ressecada, dificultando a ligação entre os ingredientes secos durante a mistura. Portanto, a adição de *psyllium* é necessária para evitar esse tipo de problema (Zandonadi, 2006).

Silva *et al.* (2019) verificaram que o *psyllium* adicionado em diferentes proporções, possibilitou a obtenção de discos de pizza sem glúten com enriquecimento de fibras e aceitação sensorial satisfatória.

1.4.2 Compostos Antioxidantes

Os antioxidantes são substâncias relacionadas a efeitos positivos à saúde. O químico Linus Pauling (1901-1994) estudou os efeitos benéficos à saúde proporcionados pelo ácido ascórbico, que nos anos seguintes ganhou destaque como “poderoso antioxidante”.

Antioxidante é uma substância que, em relação ao substrato na forma oxidável, retarda ou inibe a oxidação do mesmo. São moléculas com capacidade de diminuir ou prevenir a oxidação de outras moléculas, através da inativação de radicais livres, moléculas instáveis que podem causar diversos efeitos indesejáveis à saúde (Halliwell; Gutteridge, 2007).

Essas substâncias são classificadas baseados em critérios como sua fonte, polaridade, função e mecanismo. A fonte pode ser de origem endógena ou exógena. Quanto à polaridade são classificadas como hidrofílicas como antocianinas, ácido ascórbico e ácido gálico ou lipossolúveis, como licopeno, α -tocoferol e β -caroteno. Quanto à sua função, os antioxidantes podem apresentar a capacidade sequestrante de radicais livres (ácido ascórbico, tocoferóis entre outros), sequestrante de oxidantes não-radicalares (catalase e tióis), função inibitória da geração de oxidantes (agentes quelantes de metais, como os compostos fenólicos) e capacidade de induzir a produção de antioxidantes. Quanto ao mecanismo, por transferência de átomos de hidrogênio, transferência de elétrons e a capacidade de quelar íons metálicos (Halliwell; Gutteridge, 2007; Brewer, 2011).

Antioxidantes têm ampla aplicação na indústria, e sua origem pode ser sintética ou natural. Antioxidantes sintéticos são inseridos em formulações com a finalidade de retardar reações oxidativas nas etapas que seguem o processamento. Há cerca de 40 aditivos utilizados pela indústria que atuam como antioxidantes, os mais utilizados são os compostos fenólicos butil-hidroxianisol (BHA), butil-hidroxitolueno (BHT), propil galato (PG) e *terc*-butilhidroquinona (TBHQ) (Brewer, 2011).

Os antioxidantes naturais vêm sendo utilizados para substituir os sintéticos, pois além de manter as propriedades sensoriais e químicas dos alimentos, seu consumo está associado à manutenção da saúde e redução do risco de doenças. As fontes naturais são encontradas em vitaminas, como ácido ascórbico e α -tocoferol, ervas e especiarias, como alecrim, tomilho, orégano, manjeriço, sálvia, canela, noz-moscada, extratos vegetais e cianobactérias (Brewer, 2011; Granato *et al.*, 2016).

Os compostos fenólicos são os antioxidantes mais abundantes na natureza, podem estar presentes em frutas, vegetais, grãos, e outros produtos obtidos a partir destes. Pertencem a um grupo vasto e são divididos em subclasses, onde as mais comuns em alimentos são os

ácidos fenólicos (ácidos hidroxicinâmicos e ácidos hidroxibenzóicos) e flavonoides (antocianinas, flavonóis, flavanonois, flavanonas, flavonois, flavonas, isoflavonas e xantonas). Os carotenoides são pigmentos fotossintéticos associados à proteção da clorofila, são compostos com capacidade antioxidante, sintetizados por plantas, alguns microrganismos e algas, com destaque para o β -caroteno (Skerget *et al.*, 2005; Dey; Rathod, 2013).

Diversas metodologias são empregadas para investigar a atividade antioxidante de um alimento, que podem ser classificadas conforme a natureza do ensaio, como *in vitro* ou *in vivo*. Os métodos *in vivo* utilizam organismos vivos, os quais são suplementados com dieta controlada a fim de monitorar a eficiência dos compostos. Estes testes requerem protocolos específicos, aprovação em comitês de ética e muitas vezes são onerosos, fatos que tornam a sua aplicação dificultosa. Os testes *in vitro* são rápidos, reproduzíveis, acessíveis em diversos laboratórios, e menos onerosos, são métodos de triagem e podem fornecer uma ideia da capacidade antioxidante (Skerget *et al.*, 2005; Granato *et al.*, 2016).

As metodologias mais utilizadas para avaliar a atividade antioxidante são a de DPPH[•] (2,2-difenil-1-picrilhidrazila), método de captura de radicais pelos antioxidantes que avalia a capacidade de transferir elétrons/hidrogênio como forma de estabilizar o radical livre DPPH[•], ABTS (2,2'-azinobis (3-etilbenzenotiazolina 6-sulfônico) onde a estabilização ocorre em relação ao cátion ABTS⁺; FRAP, capacidade antioxidante de redução do ferro (Sucupira *et al.*, 2012).

Os compostos fenólicos são determinados pelo método de Folin-Ciocalteu, por meio de análise colorimétrica que correlaciona o nível de substâncias redutoras, como polifenóis, ácidos orgânicos, açúcares e alguns aminoácidos. Neste método, o reagente é composto por uma mistura com molibdênio e tungstênio, que se apresentam em estado de oxidação (6+), no entanto, na presença de agentes redutores, como os compostos fenólicos e em meio alcalino, formam um complexo de coloração azul. O nível de substâncias redutoras corresponde à intensidade da cor e o tempo de reação é de 60 min para leitura de absorbância entre 620 e 760 nm (Margraf *et al.*, 2015). O método consiste na transferência de elétrons, medindo a capacidade redutora do extrato.

1.5 HIDROCOLOIDES E GOMAS

A indústria alimentícia vem lançando mão, já há muitos anos, de uma série de aditivos alimentares, que são incorporados às formulações com o intuito de melhorar a qualidade dos produtos em diversos aspectos e adaptar os processos em larga escala (Vasel, 2009).

Hidrocoloides são definidos como polissacarídeos e proteínas com alto peso molecular, solúveis em água, capazes de imitar as propriedades viscoelásticas do glúten. Auxiliam na estrutura, aceitabilidade, prolongam a vida útil do produto e formação de géis. Aumentam a estabilidade de bolhas de gás e interagem nas propriedades de gelatinização/retrogradação do amido, atuando no atraso da retrogradação da amilose, através da formação de complexos entre os hidrocoloides as cadeias de amilose (Damodaran; Parkin; Fennema, 2010).

Costuma-se, na indústria, aplicar dois ou mais hidrocoloides e gomas diferentes, para redução de custo e ações sinérgicas que exercem, melhorando as características reológicas dos produtos elaborados (Kadagan; Arslan, 2021). A seguir algumas dessas substâncias são listadas.

Carboximetilcelulose (CMC): é muito usada como goma na indústria de alimentos, é composta por moléculas longas e rígidas, com carga negativa devido aos grupos carboxílicos ionizados. Em solução, a repulsão eletrostática faz com que as moléculas fiquem estendidas e as cadeias adjacentes repelem-se. Como consequência, as soluções de CMC tornam-se altamente viscosas e estáveis, em ampla faixa de viscosidade. Estabiliza dispersões de proteínas próximas do ponto isoelétrico (Damodaran; Parkin; Fennema, 2010).

Goma Xantana: é um polissacarídeo obtido por fermentação pela bactéria *Xanthomonas campestris*. Esta bactéria produz na superfície de plantas um polissacarídeo, e em grandes fermentadores, a obtenção dessa substância é otimizada para atender a grande demanda. Extensivamente utilizada na indústria de alimentos, apresenta alta solubilidade tanto em água fria quanto em água quente, possui alta viscosidade mesmo em baixas concentrações, é solúvel e estável em sistemas ácidos, possui capacidade de estabilizar suspensões e emulsões, além de alta estabilidade durante congelamento e descongelamento. Essa goma interage com a goma guar de forma sinérgica, aumentando a viscosidade da solução (Damodaran, Parkin, Fennema, 2010). Em estudos aplicando a goma xantana em massas alimentícias sem glúten, foi possível observar que a goma melhorou o manuseio da massa e as propriedades do macarrão, produzindo mudanças substanciais nas propriedades físicas e texturais. Os resultados mostraram que a adição apresentou potencial para melhorar a capacidade do macarrão de evitar a desintegração da estrutura, com a menor perda de cozimento e menores valores de firmeza, coesividade, mastigabilidade, elasticidade e força de corte (Milde *et al.*, 2020)

Goma Guar: obtida a partir da moagem do endosperma da semente de *Cyamopsis tetragonoloba*, entre as gomas naturais comercializadas, é a que produz maior viscosidade.

Consiste numa galactomanana de cadeias lineares de unidades de D-manopiranosil ligadas entre si por ligações β (1->4). É solúvel em água fria, formando dispersões coloidais, e em produtos de panificação tem a capacidade de aumentar o volume quando adicionados em níveis menores que 1% (Damodaran, Parkin, Fennema, 2010).

Emulsificantes: são aditivos utilizados na indústria de alimentos para melhorar a textura, estabilidade, volume, suavidade, aeração e vida útil de produtos. Atuam reduzindo a tensão interfacial entre duas fases imiscíveis, facilitando a homogeneização entre elas para formar a emulsão. Pertencentes à classe de compostos caracterizados pela natureza anfifílica, apresentam na sua estrutura segmentos hidrofóbicos e hidrofílicos. Podem ser diferenciados em relação à carga como iônicos e não iônicos. Os primeiros estabilizam emulsões óleo/água, os grupos alquilas interagem com as gotículas de óleo, envolvendo para a fase aquosa. O envolvimento das partículas de óleo forma uma camada dupla, de modo a prevenir a agregação das gotículas de óleo. Já os emulsificantes não iônicos orientam-se, na superfície das gotículas de óleo, com parte polar voltada para a fase aquosa, envolvendo-a. Os emulsificantes mais utilizados pela indústria são ésteres com um final hidrofílico e um final lipofílico. Este último é composto por um ou uma combinação de ácidos graxos, enquanto o final hidrofílico é constituído por grupos hidroxil ou carboxil. Os emulsificantes sintéticos são usados pela indústria de alimentos, após a segunda guerra, devido ao aumento da industrialização (Vasel, 2009).

1.6 ALTERNATIVAS DE INGREDIENTES PARA ELABORAÇÃO DE PANIFICADOS ISENTOS DE GLÚTEN *PLANT-BASED* COM POTENCIAL FUNCIONAL

A Legislação brasileira define farinha como produto obtido de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem ou outros processos tecnológicos considerados seguros para a produção de alimentos (Brasil, 2022). Existem, portanto, inúmeras possibilidades de materiais disponíveis para a substituição do trigo comum, onde cada vez mais pesquisas vêm sendo realizadas com o intuito de encontrar fontes alternativas que também possam agregar nutricionalmente aos produtos (Oliveira *et al.*, 2020).

Entretanto, devido aos atributos reológicos que o glúten proporciona, a sua substituição se torna um grande desafio tecnológico (Comettant-Rabanal *et al.*, 2021). A escolha da espécie utilizada, ou até mesmo uma combinação de farinhas, deve ser realizada pensando nas características desejadas para o produto, para poder ajustar a formulação ideal. Procura-se tanto produzir alimentos com maior valor nutricional e sensorial, quanto para

atender a demanda dos portadores de doenças relacionadas ao glúten (Torbica; Belović; Tomić, 2019; Oliveira *et al.*, 2020; Agrahar-Murugkar, 2020).

As farinhas produzidas a partir dos subprodutos da agroindústria, têm se tornado uma alternativa cada vez mais pesquisada como substitutos da farinha de trigo. A geração de descartes dessas indústrias pode chegar a 50% da matéria-prima utilizada, sendo um dos setores que mais geram rejeitos, e muitos ainda são ricos em nutrientes e devem ser reaproveitados na produção de outros alimentos (Bachegga, 2020).

No estudo de desenvolvimento de macarrão isento de glúten, com a utilização de misturas de farinhas contendo amido de batata, amido de milho, farinha de arroz, farinha de feijão e farinha de banana verde, Hamacek *et al.* (2013) verificaram a composição nutricional e a atividade antioxidante proporcionada pelos ingredientes estudados nas formulações. As formulações apresentaram boa composição nutricional, sendo fontes de carboidratos, proteínas e fibras. As massas também demonstraram atividade antioxidante elevada e maior conteúdo de fenólicos totais após o cozimento, enquanto a peroxidação lipídica foi reduzida.

Deste modo, formulações de produtos panificados utilizando farinhas não convencionais, de leguminosas, e de subprodutos agroindustriais apresentam diversos benefícios, pois são materiais mais econômicos e muitos são considerados ingredientes funcionais, tendo altos níveis de vitaminas, antioxidantes, fibras e proteínas (Kirbas; Kumcuoglu; Tavman, 2019).

1.6.1 Farinha de Sorgo

O *Sorghum bicolor L.* faz parte da família das gramíneas, apresentado na Figura 2, é originário da África e é o quinto cereal mais cultivado no mundo, sendo superado apenas pelo arroz, milho, cevada e trigo. A produção de sorgo no Brasil vem crescendo a cada ano, e teve um aumento de 300% na última década, chegando a 2,59 milhões de toneladas em 2021. O Brasil é o nono maior produtor do grão. É uma planta conhecida por ser bem adaptável a diversos ambientes, tendo boa resistência à seca, a altas temperaturas e tolerância a fungos e micotoxinas (Tsunechiro; Miura, 2011, Sadaka; Atungulu, 2018; Eicholz *et al.*, 2020; CONAB, 2021).

Figura 2: Sorgo granífero - *Sorghum bicolor*

Fonte: Aires (2021).

É um cereal que não contém glúten, sendo uma alternativa para pessoas com intolerância ou alergia ao trigo, além de ser nutritivo, ideal para formulação de alimentos funcionais (Mariani *et al.*, 2015).

Ao observar a Tabela 1, percebe-se que a farinha de sorgo tem altos teores de carboidratos, podendo representar até 75% do grão, o teor de lipídios, cinzas e proteínas é bem próximo do encontrado em outros cereais, como milho, mas as proteínas apresentam baixo valor biológico, por não apresentarem alguns aminoácidos essenciais (Correia *et al.*, 2011; Ratnavathi; Patil, 2013).

Tabela 1: Comparação de dados sobre a composição química da farinha de sorgo

Constituintes (g/100g)	Ferreira <i>et al.</i> 2009	Pereira <i>et al.</i> 2017
Umidade	12,64 ± 0,04	12,51 ± 0,05
Carboidratos	69,67 ± 0,04	72,32 ± 0,67
Proteínas	6,94 ± 0,01	9,52 ± 0,03
Lipídios	2,02 ± 0,04	3,04 ± 0,02
Fibras Alimentares	7,46 ± 0,35	-
Fibras Brutas	-	1,53 ± 0,02
Cinzas (minerais)	1,28 ± 0,00	1,22 ± 0,02
Valor Energético (kcal/100g)	326,0	-

Fonte: adaptado de Ferreira *et al.* (2009); Pereira *et al.* (2017)

Em comparação com outros cereais, o sorgo possui um alto teor de compostos fenólicos, que são considerados indispensáveis para o consumo humano, devido sua capacidade antioxidante. Além de ser rico em vitaminas, minerais e em diversos compostos

bioativos como a niacina, ácido pantotênico, ácido fólico, tocoferóis e antocianinas (Ragaei; Abdel-Aal; Noaman, 2006; Correia *et al.*, 2011; Queiroz *et al.*, 2011).

O amido é um dos principais componentes do grão de sorgo, mas sua digestibilidade é menor do que amidos de outros cereais, como o milho. Isso pode ser atribuído à interação entre o amido de sorgo com sua matriz proteica (Taylor; Emmambux, 2010).

Alguns pesquisadores correlacionaram a baixa digestibilidade do amido do sorgo como ponto positivo para a alimentação humana, sendo este importante para desenvolvimento de alimentos com baixo teor de amido de digestão rápida, e consequentemente de baixo índice glicêmico, reduzindo os níveis de glicose no sangue reduzindo a ocorrência de diabetes tipo 2 (Buyken *et al.*, 2010; Yousif; Nhepera; Johnson 2012).

No Brasil, e em alguns outros países como Estados Unidos e Austrália, o sorgo é utilizado para alimentação animal, enquanto na África e na Ásia o grão é responsável por 70% da ingestão calórica diária da população, desempenhando papel fundamental na segurança alimentar. A base dos alimentos utilizando o sorgo é a farinha, e incluem produtos fermentados e não fermentados de panificação e em produção de bebidas (Queiroz *et al.*, 2011; Taleon *et al.*, 2012).

Assim, existe um grande mercado para inclusão de alimentos isentos de glúten à base de sorgo. Estudos realizados por Correia *et al.* (2016), avaliaram a aceitabilidade sensorial de churros desenvolvidos com farinha de sorgo, o produto obteve resultados satisfatórios, com índices expressivos de aceitabilidade, entre 84 e 88% em relação à aceitação global dos consumidores.

No desenvolvimento de pães isentos de glúten, o sorgo tem grande destaque, já sendo realizados diversos estudos no assunto. Como Pereira *et al.* (2017), que elaboraram pães com diferentes teores de farinha de sorgo (0, 33, 66 e 100%), e foi verificado que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) na avaliação sensorial de aparência e cor, sendo a formulação com 100% de sorgo que obteve os maiores valores. A aceitação global ficou em 67,03%, ficando abaixo do mínimo (70%) para ser considerado aceitável, porém as proporções de sorgo não afetaram a preferência.

Para o desenvolvimento de produtos alimentícios, a análise sensorial é indispensável para verificar o impacto frente ao consumidor. O sorgo, não é muito conhecido no Brasil como ingrediente para alimentação humana. Mas as formulações podem ser desenvolvidas agregando aos produtos à base de farinhas integrais de sorgo, ingredientes que melhoram o aspecto sensorial para garantir aceitação. Cayres *et al.* (2020) realizaram a análise sensorial para verificar a aceitação de 5 produtos à base de sorgo isentos de glúten sabores chocolate e

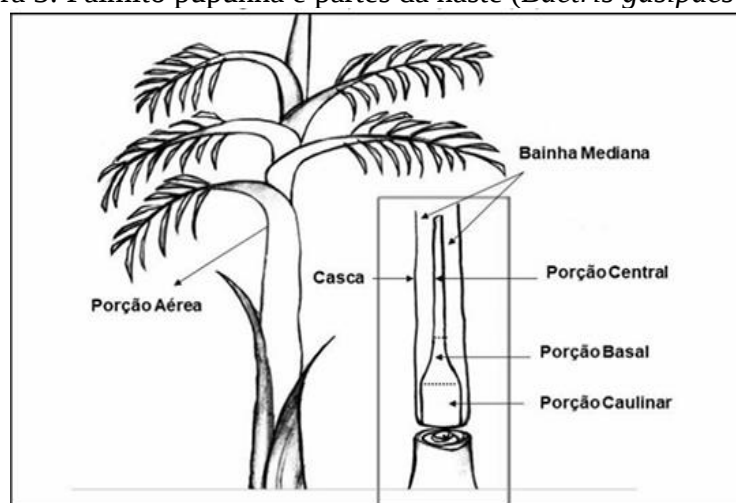
laranja comparando com um de referência com glúten, preparados a partir de pré-misturas para bolo. Como conclusão, verificaram viável a alternativa de oferecer uma pré-mistura para bolo sem glúten com boa qualidade sensorial, tendo potencial para ser apresentado como inovação para a indústria alimentícia.

Os pesquisadores, Paiva, Queiroz e Garcia, (2019) desenvolveram macarrões à base de milho e sorgo, com foco na população celíaca. O público não celíaco preferiu as massas com maior proporção de farinha de milho, mas entre os celíacos o produto com 100% de farinha de sorgo foi bem avaliado, além de apresentar teores mais elevados de fibras, proteínas, lipídios, cinzas e fenólicos do que as outras formulações.

1.6.2 Farinha de Subprodutos de Palmito

O palmito pode ser produzido a partir da pupunha, também conhecida como pupunheira ou pupunha verde-amarela, essa árvore faz parte da família *Arecaceae* e o nome científico é *Bactris gasipaes* Kunth, apresentada na Figura 3 (Salgado, Ferrari, Enke, 2020). Pode ser destinada para a produção de frutos ou palmito, sendo muito consumido e produzido no Brasil, e apresenta possibilidades para uma produção mais econômica e sustentável (Menezes *et al.*, 2019; Neves *et al.*, 2020; Lima; Silva; Furtado, 2020). Segundo o IBGE (2024), o Brasil produziu um volume de 109 mil toneladas de palmito em 2022, que gerou ao país renda de US\$350 milhões, sendo um dos maiores produtores desse alimento no mundo (Spacki *et al.*, 2022).

Figura 3: Palmito pupunha e partes da haste (*Bactris gasipaes* Kunt)



Fonte: Bolanho, Danesi e Beléia, (2014)

A pupunha apresenta muitas possibilidades de aproveitamento, a partir do caule se produz o palmito, as folhas são muito utilizadas no artesanato e na decoração de casas e os frutos são utilizados na alimentação humana (Oliveira; Oliveira; Cassiano, 2020). O palmito pupunha, além de ser muito consumido, apresenta diversas vantagens econômicas como o alto rendimento do tolete, precocidade, capacidade de perfilhamento e nutricionais com elevado teor de fibras, pouco calórico, características sensoriais agradáveis e altas concentrações de minerais, vitaminas e aminoácidos essenciais, além de não apresentar escurecimento enzimático (Galdino; Clemente, 2008).

Durante o beneficiamento, há a maior geração de resíduos, a base do caule, que representa cerca de 20% da produção, e a bainha externa cerca de 45% da planta, que não tem a textura adequada para comercialização, assim como os toletes que não estão dentro do padrão de consumo são descartados no campo. Esses subprodutos são utilizados na alimentação animal, ou como adubo para as lavouras ou são descartados (Arantes, Lima, 2020). Esses materiais apresentam potencial para utilização na alimentação humana, com diferentes formas de processamentos e possibilidades de consumo como alimento funcional (Bolanho; Danesi; Beleia, 2014; Egea *et al.*, 2018).

Helm *et al.* (2021) realizaram a avaliação da composição nutricional de diferentes farinhas de subprodutos do palmito da parte interna, externa e basal das bainhas. Os resultados evidenciam o potencial das farinhas como fonte de fibras e como utilização em alimentos funcionais (Tabela 2).

Tabela 2: Composição nutricional e valor calórico das farinhas das bainhas de palmito

Constituintes (g.100g⁻¹)	Bainha Basal	Bainha Interna	Bainha Externa
Umidade	2,9	3,4	3,9
Cinzas (minerais)	5,8	5,1	3,2
Proteínas	6,3	6,3	4,4
Lipídios	1,0	1,0	0,9
Fibras alimentares totais	63,0	59,1	65,5
Fibra alimentar insolúvel	59,3	55,4	60,8
Fibra alimentar solúvel	3,7	3,7	4,7
Carboidratos	17,1	23,0	21,1
Amido	4,2	5,9	3,6
Açúcares redutores	5,6	9,5	13,0
Açúcares não redutores	7,3	7,6	4,5
Valor energético total (Kcal.100g ⁻¹)	106,6	131,1	114,4

Fonte: Adaptado de Helm *et al.* (2021)

Já foram realizados estudos com farinha de palmito pupunha em alimentos, com intuito de aprimorar características nutricionais. Melo *et al.* (2021) apresentaram um *snack* extrusado

de arroz, a partir de subprodutos do palmito e da laranja, e com *Spirulina platensis*. As fibras contidas nas farinhas contribuíram para aumento de 320 a 380% no teor de fibras dos *snacks*, quando comparado a produtos comerciais. Quando a farinha de arroz foi substituída pela farinha mista de palmito e laranja, houve um aumento de 1000% na atividade antioxidante total do produto.

Também, foram desenvolvidos cereais matinais extrusados substituindo parte da farinha de milho por diferentes proporções de subprodutos de uva (5 - 10%) e palmito pupunha (7,5 - 15%). A adição de diferentes quantidades de farinhas produzidas com os subprodutos de uva e palmito pupunha aumentou as fibras e o conteúdo de antioxidantes nas formulações de cereais matinais desenvolvidas (Melo *et al.*, 2020).

Portanto, é interessante o estudo da aplicação da farinha de subproduto do palmito em massas alimentícias.

1.6.3 Farinha de Subprodutos de Mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), também conhecida como aipim ou macaxeira, é uma planta lenhosa, com raízes tuberosas e ricas em amido, pertence à família Euphorbiaceae e é fonte de alimento no mundo inteiro (Vidigal Filho *et al.*, 2022). É uma planta nativa da América do Sul, e faz parte da alimentação humana, principalmente em países subdesenvolvidos, devido ao valor energético elevado e a capacidade de cultivo em situações adversas (Ribeiro, 2012).

No Brasil, grande parte da produção da mandioca é proveniente da agricultura familiar e de comunidades tradicionais, aproximadamente 87% da produção, tendo muita importância econômica, social e cultural para esses povos (Rodrigues, 2017; Nogueira *et al.*, 2021). Só no segundo semestre de 2022, pelo IBGE (2022), os maiores estados produtores de mandioca foram o Pará (4.098.883 toneladas), Paraná (2.924.400 toneladas) e São Paulo (1.437.974 toneladas), totalizando cerca de 18.174.446 toneladas de mandioca no Brasil.

Além do consumo *in natura*, a mandioca é a base de vários produtos industrializados, sendo os principais as farinhas, amidos, gomas e a farinha de tapioca. Durante o processamento, são gerados diversos tipos de resíduos, entre eles a parte aérea da planta (caule e folhas), cascas, bagaço e manipueira (Ronko *et al.*, 2020; Alves *et al.*, 2019).

Na produção de amido de mandioca, após o processo de prensagem, é gerado em grande quantidade um resíduo conhecido por farelo de mandioca (FM), e é composto pelo material fibroso e o amido que não foi extraído no processo (Picoli *et al.*, 2014). Esse material é tido como um problema para grandes e pequenas indústrias, pois apresenta alto custo de

secagem e transporte que não torna viável o aproveitamento como um subproduto, devido suas características de higroscopicidade, capacidade de absorção de água do ambiente (Aro *et al.*, 2010, Teixeira *et al.*, 2012).

O bagaço de mandioca contém uma quantidade significativa de amido e fibras. Devido ao alto teor de umidade (entre 75% e 88%), pode ser difícil de transportar e armazenar, levando muitas vezes à sua utilização imediata como ração animal (Teixeira *et al.*, 2012). É considerado o principal resíduo sólido gerado no processamento da mandioca, variando de 200 a 1.000 kg de bagaço úmido por tonelada de mandioca processada e contém um alto teor de amido e fibras (Santos *et al.*, 2024). Na Figura 4, esse material é ilustrado.

Figura 4: Farelo ou bagaço de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)



Fonte: A Autora, 2024.

É possível observar na Tabela 3, que a farinha do bagaço de mandioca possui elevados níveis de nutrientes, como proteínas, lipídios, fibras alimentares e cinzas. Esses componentes são essenciais para a dieta por trazerem benefícios à saúde. Portanto, o uso do farelo de mandioca no desenvolvimento de produtos alimentícios é de interesse comercial e nutricional.

O farelo de mandioca pode ser utilizado como matéria-prima para a produção de diversos produtos e bioprodutos de importância para a saúde humana. Além de apresentar baixo custo, possui alto teor de fibras e valor energético elevado. Se comparado ao amido, o farelo apresenta compostos nutricionais mais variados, como quantidade maior de proteínas, lipídios e cinzas, alto teor de fibras solúveis e insolúveis, possui 60% de amido, em base seca (Cardoso, 2004; Navacchi *et al.*, 2012; Fiorda *et al.*, 2013; Ronko *et al.*, 2020). A composição pode variar de acordo com a composição natural do solo, variedade da planta e como foi processado.

Tabela 3: Comparação de dados sobre a composição química da farinha de subprodutos de mandioca

Constituintes (g.100g ⁻¹)	Farelo de Mandioca		Amido de Mandioca
	Ronko <i>et al.</i> (2021)	Fiorda <i>et al.</i> (2013)	TBCA (2023)
Umidade	12,42 ± 0,04	9,02 ± 0,07	17,8
Carboidratos*	35,70	24,39	81,1
Proteínas	1,42 ± 0,02	1,97 ± 0,03	0,52
Lipídios	0,43 ± 0,01	2,35 ± 0,03	0,28
Fibras Alimentares	47,25 ± 0,35	60,35 ± 2,54	0,65
Cinzas (minerais)	2,75 ± 0,04	1,81 ± 0,17	0,28

Fonte: Adaptado de Fiorda *et al.* (2013); Ronko *et al.* (2021) e TBCA (2023) *Carboidratos por diferença

Navacchi *et al.* (2012), desenvolveram um bolo com base de farelo de mandioca e *Spirulina platensis*, como suplemento de proteínas. Foram produzidas diferentes formulações variando a concentração de farelo de mandioca e *S. platensis*. Os produtos obtiveram um alto teor de fibras e amido e formulação que apresentou as melhores características recebeu adição de chocolate antes de serem submetidos a testes sensoriais por crianças da rede pública de ensino. Os resultados mostram uma excelente aceitação que viabilizou o desenvolvimento deste produto por aspectos como nutrição, tecnologia e sensorial.

Ao desenvolver uma massa alimentícia sem glúten com farinha de subprodutos de mandioca, Fernandes *et al.* (2017) observaram que a massa apresentou um resultado satisfatório em termos de qualidade nutricional, em comparação com a massa feita com farinha de trigo. E enfatizaram que a massa continha alta quantidade de fibras, devido ao uso do subproduto de mandioca, o que garante uma ingestão calórica de boa qualidade nutricional, proporcionando benefícios à saúde humana. E a análise sensorial foi satisfatória, na avaliação global, a pontuação média foi 7,3 e o índice de aceitabilidade foi 81,1%.

1.7 MICROALGAS E *Dunaliella salina*

As algas constituem um grupo de organismos com uma ampla diversidade morfológica, e cada espécie pode desempenhar diferentes funções. Dentre elas, se destacam as microalgas, que são microrganismos fotossintéticos, unicelulares, ainda podem ser designadas em dois grupos estruturais: procarióticas, também conhecidas como as cianobactérias, e em eucarióticas, que engloba representantes nas divisões *Chlorophyta*, *Euglenophyta*, *Rhodophyta*, *Haptophyta* (*Prymnesiophyta*), *Heterokontophyta* (*Bacillariophyceae*, *Chrysophyceae*, *Xanthophyceae*), *Cryptophyta* e *Dinophyta* (Derner *et al.*,

2006; Menezes *et al.*, 2015). Ambos os grupos são considerados fontes potenciais de energia, combustível, alimentos e outros produtos de grande valor para a química fina (Garcia; Vicente; Galán, 2017).

As microalgas convertem eficientemente a energia solar, dióxido de carbono e compostos orgânicos e/ou inorgânicos em biomassa rica em nutrientes orgânicos (Becker, 2013), contribuindo para a fixação de carbono e a redução do efeito estufa. É possível afirmar que são as grandes responsáveis pela vida na Terra: aproximadamente 50% de todo o oxigênio liberado na atmosfera é produto da fotossíntese por elas realizada, além deste grupo ter sido o precursor de todas as plantas terrestres. E, além de sua importância ambiental, apresentam grande potencial econômico e social (Christaki, Florou-Paneri, Bonos, 2011).

Entretanto, enquanto macroalgas são usadas pela humanidade desde pelo menos 2700 A.C na alimentação, medicina, agricultura e cosmetologia, o emprego das microalgas é relativamente recente. De mais de 50.000 espécies identificadas, apenas 30.000 foram estudadas e menos de 10 são comercializadas (Souza *et al.*, 2019; Nethravathy *et al.*, 2019). São estimadas existirem cerca de 100.000 espécies de microalgas numa diversidade de habitats, incluindo em água doce, água salgada, água salobra e solos (Barsanti; Gualtieri, 2022).

Em termos econômicos, embora já exista a aplicabilidade de algumas cepas no mercado, a produção comercial de microalgas é de aproximadamente 5.000 toneladas de matéria seca por ano. A maior parte da biomassa produzida é associada à alimentação, sendo que nove décimos do cultivo estão localizados na Ásia (Bule *et al.*, 2018). Assim, a exploração de microalgas para a produção industrial de produtos naturais e proteínas está em expansão, pois são formas mais sustentáveis de obtenção de uma série de substâncias em quantidades elevadas. Cabe mencionar que estudos visando determinar condições mais eficientes de cultivo podem alavancar esse ramo, bem como definir meios para diminuir custos operacionais (Maltsev *et al.*, 2021; Rheman *et al.*, 2022).

A comercialização como suplementos alimentares está consolidada para algumas espécies, como a *Chlorella* e *Spirulina* sp. No entanto, estudos tem buscado inserir essas biomassas em formulações, para conferir caráter funcional aos alimentos. A aceitação sensorial representa uma dificuldade e em países da Europa, encontram-se para comercialização produtos como chocolates, shakes, barras de cereais, dentre outros. A aceitação pode ser incentivada com a divulgação da importância do alimento para a saúde e bem-estar, atingindo nichos específicos de mercado (Pontalti; Cullere; Dalle Zotte, 2024).

As microalgas são consideradas fontes ricas em vários nutrientes e componentes benéficos à saúde, incluindo vitaminas, minerais, proteínas com aminoácidos essenciais, ácidos graxos poliinsaturados e antioxidantes (Sengupta, Jayati, 2017; Bernaerts *et al.*, 2019; Lafarga *et al.*, 2020, Matos; Novelli; Tribuzi, 2022). Além de componentes importantes do ponto de vista nutricional, as microalgas contêm grandes quantidades de biopolímeros estruturais, incluindo proteínas e carboidratos, os quais podem exibir aplicabilidades tecnológicas interessantes em produtos alimentícios, como por exemplo, como texturizante, estabilizador ou emulsificante (Bernaerts *et al.*, 2019).

Na literatura, os dados sobre a composição das microalgas são variáveis, cerca de 9 a 77% de proteínas, 6 a 54% de carboidratos e 4 a 74% de lipídios (Bernaerts *et al.*, 2019). Pesquisadores tem se empenhado na busca pelo desenvolvimento de alimentos enriquecidos com microalgas. A composição nutricional e funcional das microalgas varia entre gêneros e entre espécies, e dentro de cada espécie, varia com as condições físico-químicas e nutricionais do meio de cultivo, com as necessidades metabólicas e a duração do cultivo (Gouveia *et al.*, 2008).

Esses organismos têm potencial para coprodução de moléculas como pigmentos, proteínas, ácidos graxos poli-insaturados, e outros antioxidantes. Assim, as microalgas estão ganhando atenção como agentes terapêuticos para inúmeros distúrbios de saúde e outras aplicações nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica (Bule *et al.*, 2018). Ademais, as microalgas podem sobreviver em condições adversas, ou seja, resistir ao calor, frio, radiação ultravioleta, salinidade e dessecação, devido à sua capacidade de se adaptar a mudanças fisiológicas, produzindo substâncias tolerantes ao estresse (Pangestuti *et al.*, 2018).

Existem milhares de compostos bioativos distribuídos em diferentes grupos químicos, os quais são metabólitos secundários, produzidos em pequenas quantidades e pelo sistema de defesa. Por existirem milhares de biomoléculas, as mesmas podem apresentar diferentes funções metabólicas. As microalgas são uma rica fonte de compostos bioativos, os quais destacam-se: os ácidos graxos da família ômega-3, carotenoides, fitoesteróis, terpenos, compostos fenólicos e amino ácidos (Pimentel; Elias; Philippi, 2019).

Os compostos bioativos presentes em alimentos funcionais têm como local de ação alvos fisiológicos específicos, modulando a defesa antioxidante e de processos inflamatórios e mutagênicos. A diversidade de compostos em microalgas chega a ser 10 vezes maior que em plantas terrestres, e isto está associado à sua sobrevivência em condições adversas (Pimentel; Elias; Philippi, 2019).

O potencial das microalgas pode ser aplicado a diferentes áreas da ciência: como combustível renovável, na indústria biofarmacêutica e nutracêutica, no tratamento de resíduos, na agricultura, usadas como biofertilizantes e inoculantes, e na aquacultura (Souza *et al.*, 2019; Nethravathy *et al.*, 2019).

Com relação às moléculas lipídicas, os maiores estudos e aplicações estão associados aos ácidos graxos insaturados como ácido eicopentaenoico (EPA), α -linolêico (GLA), ácido araquidônico (ARA), e ácido docosaexaenoico (DHA). O uso de EPA ocorre em nutracêuticos, e anti-inflamatórios. GLA e ARA possuem maior aplicação para problemas associados a vasoconstrição ocasionado por plaquetas, já o ácido DHA possui ampla aplicação como nutracêutico para crianças, pois está associado a auxílio no desenvolvimento cerebral (Kumar *et al.*, 2020).

No Quadro 2 estão apresentadas várias espécies de microalgas que são utilizadas em produtos comerciais e seus compostos de interesse.

Quadro 2: Produtos comerciais de microalgas

Microalga	Produto	Aplicação
<i>Prototheca moriformis</i>	Vitamina C	Produtos farmacêuticos e nutricionais
<i>Odontella aurita</i>	Ácidos graxos	Produtos farmacêuticos, cosméticos, alimentos para bebês
<i>Porphyridium cruentum</i>	Polissacarídeos	farmacêuticos, nutricionais e cosméticos
<i>Chlorella vulgaris</i>	Biomassa e lipídios	Suplemento alimentar
<i>Euglena gracilis</i>	α -Tocoferol, biotina	Produtos farmacêuticos e nutricionais
<i>Tetraselmis chui</i>	Proteínas e minerais	Suplemento alimentar
<i>Spirulina platensis</i>	Ficocianina e biomassa	Suplemento alimentar e cosméticos
<i>Dunaliella salina</i>	Carotenoides, β caroteno	Suplemento alimentar e produtos farmacêuticos
<i>Haematococcus pluvialis</i>	Carotenoides, astaxantina	Suplemento alimentar e produtos farmacêuticos

Fonte: Adaptado de Oncel (2013) e Olsen, Olsen e Jansen (2024).

As vitaminas são outra importante classe de moléculas que vêm sendo aplicadas no mercado, muitos destes compostos encontrados em microalgas, as principais são: vitamina C,

K, B₁₂, A e α -tocoferol. O principal uso das vitaminas no mercado é como antioxidante, auxiliando no sistema imune, no entanto, outras inúmeras aplicações dessas moléculas podem apresentar, como seu uso em probióticos como cofatores enzimáticos e outros (Malik, Tokkas, Goyal, 2012).

Os pigmentos microalgais são considerados moléculas bioativas de elevado interesse, dentre eles o carotenoide astaxantina destaca-se em produção pela microalga *Haematococcus pluvialis*, a qual também produz β -caroteno, ficocianina e ficoeritrina (Fagundes *et al.*, 2019). A luteína, zeaxantina e cantaxantina são carotenoides utilizados em indústrias farmacêuticas e podem provir de microalgas.

Os esteróis, são considerados metabólitos secundários microalgais e moléculas que possuem como precursor metabólico o esqualeno, as cepas possuem habilidade de produzir tanto os fitoesteróis, como: stigmasterol e β -sitosterol, quanto compostos da classe dos zoosteróis como: lanosterol e colesterol (Fagundes *et al.*, 2019).

No mercado os compostos mais explorados, são: brassicaesterol e stigmasterol. Essas moléculas têm sido reportadas em estudos devido sua ação hipocolesterolêmica (Randhir *et al.*, 2020). Além disso, muitas pesquisas relataram que outros metabólitos secundários derivados de microalgas, como fucoïdan, fucoxantina, polissacarídeo sulfatado, polifenol e fucosterol demonstram efeitos antiinflamatórios, antioxidantes, anticâncer e antibacterianos (Thiyagarasaiyar *et al.*, 2020).

Os tetras pirróis chamados ficobilinas representam os principais pigmentos acessórios fotossintéticos das cianobactérias e algas eucarióticas pertencentes aos grupos *Glaucófitas*, *Cristófitas* e *Rodófitas*. Esses pigmentos são proteínas ligadas covalentemente, chamadas ficobiliproteínas, que são organizados em ficobilissomos nas membranas tilacoides. Várias espécies de cianobactérias foram relatadas por serem fontes dessa ficocianina, como *Arthrospira platensis*, *Arthrospira maxima* (*Spirulina*), *Pyrophyridium* sp. e *Synechocystis* (Mesadri; Wagner; Fagundes, 2021).

Carotenoides são compostos fitoquímicos que podem ser sintetizados por plantas, algas e microalgas, alguns tipos de bactérias e fungos. Estes pigmentos possuem a coloração vermelha, laranja ou amarela e são os responsáveis pela coloração de algumas frutas, verduras e até de alguns animais aquáticos (Sun *et al.*, 2016) Existem duas classes de carotenoides que podem ser encontradas na natureza, os carotenos e as xantofilas. Os carotenoides possuem uma cadeia hidrocarbônica linear ou ciclizada, em um ou nos dois terminais da molécula, este composto é o responsável pela tonalidade de amarelo-alaranjado. Já as xantofilas são substâncias derivadas dos carotenos e possuem oxigênio em sua estrutura, como grupos:

hidroxila, cetato e aldeído, e são elas que contribuem para a coloração marrom-avermelhado (Mesquita; Teixeira; Servulo, 2017).

A maior parte dos carotenoides é encontrada nas membranas tilacoides, localizadas no interior dos cloroplastos das plantas e presentes nas cianobactérias, e com isso alguns exercem funções importantes na fotossíntese (Varela *et al.*, 2015; Nisar *et al.*, 2015).

Na indústria alimentícia a utilização de corantes tornou-se indispensável, uma vez que garante aspectos visuais em diversos produtos e aumenta aceitação e o seu valor no mercado. Após armazenamento e no processamento, quando são expostos a altas temperaturas, alguns alimentos sofrem alterações na cor natural e perdas nutricionais e pigmentos de microalgas podem suprir a demanda por corantes, sendo substâncias naturais (Mesquita, Teixeira, Servulo, 2017).

O mercado de carotenoides apresenta uma tendência de crescimento de USD1,5 bilhões em 2019 para USD2,0 bilhões em 2026. Essa projeção deve-se ao uso crescente de carotenoides naturais como corantes em alimentos e as novas tecnologias de extração desse produto. Apesar de grande parte desse mercado ainda corresponder aos carotenoides sintéticos, existem estatísticas que demonstram que nos próximos anos a busca por carotenoides naturais aumentará, devido à mudança de preferência dos consumidores que estão cada vez mais em busca de produtos naturais e benéficos à saúde (Ambati *et al.*, 2019; Novoveská *et al.*, 2019).

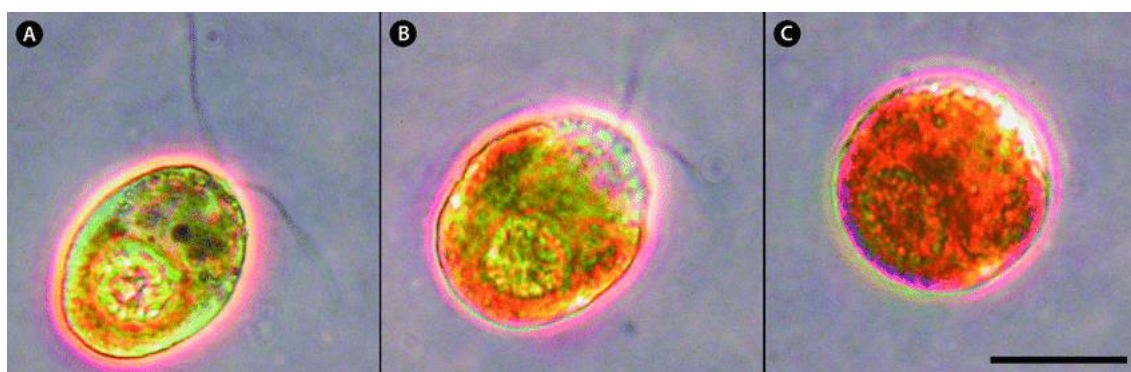
A inserção desse componente pode ser realizada a partir de diversos alimentos e os que possuem carotenoides com precursores de vitamina A, como: cenoura, abóbora e espinafre (Mesquita, Teixeira, Servulo, 2017). Entre os carotenoides, o β -caroteno é o de maior destaque por ser abundante e apresentar maior capacidade de síntese dessa vitamina (Uenojo *et al.*, 2007). Os carotenoides que não tem ação precursora de vitamina A, como o licopeno e a luteína, exercem atividades antioxidantes ou de corantes e apresentam ação protetora contra o câncer (Ambrósio; Campos; Faro, 2006).

O β -caroteno é um dos principais carotenoides provitamínicos A, junto com α -caroteno e β -criptoxantina, são essenciais para a saúde. A ingestão insuficiente de β -caroteno e outros carotenoides provitamínicos pode levar a diversos problemas de saúde, como cegueira noturna (nictalopia), xerofthalmia (olhos secos), ceratinização da conjuntiva e córnea, aumento da morbimortalidade por infecções (especialmente diarreia e sarampo), anemia, retardo no crescimento infantil e maior risco de mortalidade materna (Johnson, 2022). Portanto, é essencial garantir uma ingestão adequada de alimentos ricos em β -caroteno, como vegetais de

folhas verdes escuras, cenouras, abóboras e frutas como manga e mamão, para prevenir a deficiência de vitamina A e manter uma boa saúde geral (Ambrósio; Campos; Faro, 2006).

O gênero de microalgas *Dunaliella* pertence à Divisão *Chlorophyta* (algas verdes) e é formado por espécies eucarióticas fotossintetizantes de tamanho de célula entre 9 - 11 μm (Francavilla; Trotta; Luque, 2010) Por não apresentarem parede rígida, o formato da célula depende da salinidade do meio onde se encontram (Tinoco; Teixeira; Rezende, 2015). Sendo que sua sobrevivência a choques hiperosmóticos resulta na produção de glicerol e pigmentos para osmorregulação. A quantidade de glicerol intracelular e de pigmentos produzidos por essa microalga responde proporcionalmente à salinidade ambiental, o que confere alto grau de adaptação ambiental, como demonstrado na Figura 5 (Jahnke, White, 2003; Ben-Amotz, 2019).

Figura 5: Células de *Dunaliella salina* em diferentes condições de cultivo



Fonte: Ramos *et al.*, 2011. (A) Célula verde de uma cultura não estressada. (B) Célula estressada ficando laranja. (C) Célula laranja de uma cultura exposta ao estresse nutricional com acúmulo de β -caroteno. A barra de escala representa: 10 μm

Como são capazes de crescer em meios com ampla faixa de concentração salina, de 0 a 19% de saturação, e em condições extremas de temperatura, entre 5° a 40°C, os habitats naturais de *Dunaliella* incluem oceanos, lagos de água salgada e salina. Assim, são responsáveis pela maior parte da produção primária (ou formação de substâncias orgânicas ricas em energia a partir de material inorgânico) em ambientes hipersalinos de todo o mundo (Oren, 2005; Tinoco; Teixeira; Rezende, 2015).

As principais espécies desse gênero são aquelas com maior capacidade de produzir e acumular pigmentos, em especial carotenoides como α -caroteno, β -caroteno, violaxantina e luteína, tanto de forma natural quanto em condições de estresse. Dentre as diferentes espécies de *Dunaliella* reportadas, uma que se destaca é a espécie *Dunaliella salina* como principal fonte comercial dos carotenoides β -caroteno naturais no mundo (Tafreshi; Shariati, 2006; Einali *et al.*, 2017).

A *D. salina* pode apresentar até 10% de seu peso seco de β -caroteno, sendo considerada a maior concentração dessa substância na natureza. Vários estudos com o objetivo de viabilizar a produção dessa microalga em larga escala, podem ser encontrados empregando diferentes tipos e regimes de operações (Cezare-Gomes *et al.*, 2019). De acordo com Tinoco, Teixeira e Rezende (2015), *D. salina* pode produzir até 21 mg.g⁻¹ de β -caroteno, enquanto na cenoura essa quantidade é de apenas 0,058 mg.g⁻¹. O β -caroteno produzido por *Dunaliella* tem uma demanda crescente devido a ampla variedade de aplicações, como corante em alimentos industrializados, componente em produtos farmacêuticos e cosméticos, e em alimentos da indústria dietética.

Quanto à composição química, Fernandes (2022), realizou estudos de crescimento em dois métodos diferentes, que estão expostos na Tabela 4. Percebe-se que a *D. salina* é rica em diversos compostos como proteínas, que são essenciais para suplementação de massas sem farinha de trigo.

Tabela 4: Composição químico-energética e teores de compostos bioativos (em base seca) presentes na biomassa da *Dunaliella salina* em dois meios de cultivo

Constituintes	Meio Conway	Meio Salino
Umidade (%)	1,13	1,40
Proteínas (%)	60,43	55,36
Lipídios (%)	4,43	6,93
Fibras (%)	1,73	1,89
Açúcares (%)	7,95	8,09
Energia (kcal.100g ⁻¹)	387,3	385,5
Clorofila A (mg.L ⁻¹)	60,60	40,93
Carotenoides (mg.L ⁻¹)	28,56	34,73
Vitamina C (mg.L ⁻¹)	490,5	503,13
Polifenóis (mg.L ⁻¹)	70,96	81,00
Antocianinas (mg.L ⁻¹)	27,70	30,87
Flavonoides (mg.L ⁻¹)	41,40	45,30

Fonte: Adaptado de Fernandes (2022)

A aplicabilidade das microalgas em produtos alimentícios foi discutida em reuniões do Comitê Conjunto de Especialistas em Aditivos Alimentares (JECFA – Join FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) ligado a FAO. Na reunião de 2018, o Comitê estabeleceu uma IDA (Ingestão Diária Aceitável) “não especificada” para o extrato de *Spirulina*, baseado na não-toxicidade em estudos com animais. Portanto, não colocou mais os

limites que havia estabelecido anteriormente, que eram de 190 mg.kg⁻¹ de massa corpórea para adultos e 650 mg.kg⁻¹ para crianças. O comitê concluiu que essa exposição não apresenta problemas para a saúde do consumidor (FAO, 2017, 2018, 2019). Posteriormente foi discutido também a segurança de incorporação de extratos de betacarotenos de *D. salina*.

Babuskin *et al.* (2014) tiveram como objetivo desenvolver biscoitos e massas incorporando a microalga *Nannochloropsis oculata* como fonte de ácidos graxos poliinsaturados. Ao incorporar 1% (p/p) de *N. oculata*, os autores atingiram 98 e 63 mg.100g⁻¹ de ômega 3 em biscoitos e massas, respectivamente. Além disso, a firmeza dos biscoitos e macarrão melhorou com adição de microalgas, e as cores permaneceram estáveis por 2 meses de armazenamento. A avaliação sensorial registrou resultados interessantes para ambos os produtos, embora biscoitos sem incorporação da biomassa tenham sido os preferidos, biscoitos com 1 a 2% (p/p) de *N. oculata* foram apreciados e obteve classificação positiva. A adição de 3% (p/p) de microalgas resultou em gosto peixe que se refletiu em uma fraca apreciação geral do produto em relação à cor e sabor. Para massas, a mesma tendência foi observada, mas, também, apreciaram massas com incorporação de biomassa de microalgas até 3% (p/p).

Diversos trabalhos científicos, produtos alimentícios e suplementos no mercado, podem ser encontrados com a microalga *Spirulina platensis*, destacando seu potencial para incremento do valor nutricional e fonte de proteínas e compostos bioativos. Vale ressaltar que por apresentar coloração verde intensa, ocasiona relativa rejeição do ponto de vista sensorial em determinados grupos de consumidores não habituados (Los *et al.* 2018). Na pesquisa de Lemes *et al.* (2012), foi investigado o potencial de enriquecimento nutricional proporcionado com 5 e 10% de *S. platensis* em formulações de macarrão e observaram que a aceitação sensorial foi afetada de forma ligeiramente negativa em comparação ao padrão, sem a microalga.

Dessa forma, a microalga *Dunaliella salina*, que apresenta coloração amarelo-amarronzada, devido aos altos teores de carotenoides, emerge como uma possibilidade interessante para suplementação de produtos e não se encontram ainda muitas opções no mercado consumidor e meio científico.

A *D. salina* foi incorporada em massas produzidas com trigo nas proporções de 1, 2, e 3 % (p/p). A adição melhorou o valor nutricional, o teor de minerais, de biocompostos e de ácidos graxos insaturados. A avaliação sensorial foi satisfatória (El-Baz; Abdo; Hussein, 2017).

Esses estudos fortalecem a importância da iniciativa do uso da *D. salina* em massas alimentícias isentas de glúten, pois podem incrementar os teores de proteínas e biocompostos, com potencial de aceitação sensorial.

1.8 CONCLUSÃO

Com o aumento de casos de pessoas portadoras da doença celíaca e consumidores mais atentos à alimentos funcionais e *plant-based*, faz-se necessário encontrar alternativas de ingredientes que possam atender essa demanda, levando em conta os desafios tecnológicos e nutricionais.

As farinhas de sorgo e subprodutos do palmito e da mandioca, demonstraram ser fontes ricas em fibras, amidos e compostos bioativos, sendo boas alternativas ao trigo, porém não possuem a capacidade de dar estrutura aos produtos panificados. Os hidrocoloides e a fibra do *psyllium* podem ser alternativas viáveis para simular o efeito do glúten.

As massas alimentícias, por serem alimentos de alto consumo mundialmente, se tornam uma matriz ideal para testar a aplicação de diferentes farinhas, para incentivar o consumo de fibras e antioxidantes pela população. A incorporação da biomassa de microalgas, em especial a *D. salina*, que é rica em proteínas e compostos bioativos como os carotenoides, potencializa o enriquecimento nutricional e por fim, remete a tecnologia desenvolvida, um caráter sustentável.

REFERÊNCIAS

ABIMAPI - **Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias, Pães e Bolos Industrializados**. Estatísticas: Massas Alimentícias. Disponível em: <<https://www.abimapi.com.br/estatisticas-mercado/>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2024.

AGRAHAR-MURUGKAR, D.; ZAIDI, A.; DWIVEDI, S. Development of gluten free eggless cake using gluten free composite flours made from sprouted and malted ingredients and its physical, nutritional, textural, rheological and sensory properties evaluation. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 7, p. 2632–2641, 2018.

ALY, A. A. *et al.* Addition of Whole Barley Flour as a Partial Substitute of Wheat Flour to Enhance the Nutritional Value of Biscuits. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 14, n. 5, p. 103112, 2021.

ALTAMIRANO-FORTOUL, R. *et al.* Reduced-Gliadin Wheat Bread: An Alternative to the Gluten-Free Diet for Consumers Suffering Gluten-Related Pathologies. **PLOS one**, v. 9, n. 3, p. e90898 2014.

ALVAREZ-JUBETE, L.; ARENDT, E. K.; GALLAGHER, E. Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, n. 4, p. 240-257, 2009.

ALVES, R. N. B. *et al.* Rentabilidade e características da produção de tucupi e fécula derivados da mandioca. **EMBRAPA Amazônia Oriental** - Capítulo em livro científico, 2019.

AMBATI, R. R. *et al.* Industrial potential of carotenoid pigments from microalgae: Current trends and future prospects. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 12, p. 1880-1902, 2019.

AMBRÓSIO, C. L. B.; CAMPOS, F. A. C. S.; FARO, Z. P. Carotenoids as an alternative against hypovitaminosis A. **Revista de Nutrição**, v. 19, n.2, p. 233-243, 2006.

ANEFALOS, L. C. *et al.* Análise dos impactos econômicos dos investimentos nas pesquisas tecnológicas relativas ao cultivo da pupunheira para palmito no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, v. 47, n. 4, p. 19-30, 2017.

ARAYICI, M. E. *et al.* Soluble and insoluble dietary fiber consumption and colorectal cancer risk: a systematic review and meta-analysis. **Nutrition and Cancer**, v. 74, n. 7, p. 2412-2425, 2022.

ARANTES, M. S. T.; LIMA, E. A. Desempenho de um secador solar na secagem de resíduos da agroindústria de palmito pupunha. Colombo: **EMBRAPA Florestas**, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127329>. Acesso em: dezembro, 2023

ARAÚJO, H. M. C. *et al.* Doença celíaca, hábitos e práticas alimentares e qualidade de vida. **Revista de Nutrição**, v. 3, p. 23, 2010.

ARO, S. O. *et al.* Nutritional potentials of cassava tuber wastes: A case study of a cassava starch processing factory in south-western Nigeria. **Livestock Research for Rural Development**, v. 22, n. 11, p. 42-47, 2010.

BABUSKIN, S. *et al.* Functional foods enriched with marine microalga *Nannochloropsis oculata* as a source of ω -3 fatty acids. **Food Technology and Biotechnology**, v. 52, n. 3, p. 292-299, 2014.

BACHEGGA, G. **Subprodutos da indústria de alimentos: veja suas aplicações**. GEPEA - Grupo de Estudos e Projetos em Engenharia de Alimentos, 2020.

BARSANTI, L.; GUALTIERI, P. **Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology**. CRC press, 3rd Ed., 2022.

BARTABURU, X. Do grão ao pão: farinha de trigo: história da moagem no Brasil. São Paulo: **Editora Origem**, 2016.

BERNAUD, F. S. R.; RODRIGUES, T. C. Fibra alimentar: ingestão adequada e efeitos sobre a saúde do metabolismo. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 57, p. 397-405, 2013.

BERTONI, L. C. Clínica de Alergia Respiratória. **História Natural: Alergia ao Trigo (AT)**. Londrina - PR, 2016. Disponível em: <http://www.alergiarespiratoria.com.br/docs/203.pdf> Acesso em: novembro, 2022

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

BIGLIARDI, B; GALATI, F. Innovation trends in the food industry: The case of functional foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 31, n. 2, p. 118-129, 2013.

BOLANHO, B. C., DANESI, E. D. G.; BELEIA, A. P. Characterization of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) by-products flours as a new food ingredient. **Journal of Food and Nutrition Research**. v.53, p.51-59, 2014.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA. **Resolução nº 18, de 30 de abril de 1999**. Aprova Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos. Ministério da Saúde. Brasília, 1999.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA. **Resolução- RDC nº 711, de 1º de julho de 2022**. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Ministério da Saúde. Brasília, 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA. **Instrução Normativa - IN nº 75, de 8 de outubro de 2020**. Relatório de análise de impacto regulatório sobre rotulagem nutricional. Ministério da Saúde. Brasília; 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA. **Resolução-RDC Nº 711, de 1º de julho de 2022**. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. Ministério da Saúde. Brasília, p. 183, 2022.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -IBGE. **Produção de Palmito (cultivo)**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/palmito-cultivo/br> Acesso em: abril, 2024

BECKER, E. W. **Microalgae for aquaculture: nutritional aspects**. Handbook of microalgal culture: applied phycology and biotechnology, p. 671-691, 2013.

BEN-AMOTZ, A. Bioactive compounds: glycerol production, carotenoid production, fatty acids production. In: **The Alga *Dunaliella***. CRC Press, p. 189-208, 2019.

BERNAERTS, T. M. M. *et al.* The potential of microalgae and their biopolymers as structuring ingredients in food: A review. **Biotechnology Advances**, v. 37, n. 8, p. 107419, 2019.

BREWER, M. S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 10, n. 4, p. 221-247, 2011.

BRITES, L. T. G. F.; SCHMIELE, M.; STEEL, C. J. Gluten-Free Bakery and Pasta Products. In: **Alternative and Replacement Foods**. [s.l.], p. 385-410. 2018.

BULE, M. H. *et al.* Microalgae as a source of high-value bioactive compounds. **Frontiers in Bioscience**, v. 10, n. 2, p. 197-216, 2018.

BUYKEN, A. E. *et al.* Optimal dietary approaches for prevention of type 2 diabetes: a life-course perspective. **Diabetologia**, v. 53, p. 406-418, 2010.

CABANILLAS, B. Gluten-related disorders: Celiac disease, wheat allergy, and nonceliac gluten sensitivity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 60, n. 15, p. 2606-2621, 2020.

CAMPOS, B. V. P., ALMEIDA, E. L. Gluten-free pasta elaborated with taro flour (*Colocasia esculenta*): a study of the employ of egg white and transglutaminase on the technological properties. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 1, p. e52710111454, 2021.

CAYRES, C. A. *et al.* Consumers' acceptance of optimized gluten-free sorghum-based cakes and their drivers of liking and disliking. *Journal of Cereal Science*, v.93, p.102938, 2020.

CARDOSO, C. E. L. Restrições à melhoria da competitividade da cadeia agroindustrial de fécula de mandioca. Cruz das Almas, Ba: **EMBRAPA**, 2004.

CARVALHO, S. M. P., VASCONCELOS, W. M. Producing more with less: Strategies and novel technologies for plant-based food biofortification. *Food Research International*, v. 54, p. 961-971, 2013.

CEZARE-GOMES, E. A. *et al.* Potential of Microalgae Carotenoids for Industrial Application. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. v.188, p.602-634, 2019.

CHEN, C. *et al.* Beneficial effects of psyllium on the prevention and treatment of cardiometabolic diseases. *Food & Function*, v. 13, n. 14, p. 7473-7486, 2022.

CHRISTAKI, E.; FLOROU-PANERI, P.; BONOS, E. Microalgae: a novel ingredient in nutrition. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, v. 62, n. 8, p. 794-799, 2011.

CLEM, J.; BARTHEL, B. A look at plant-based diets. *Missouri Medicine*, v. 118, n. 3, p. 233, 2021.

CRUCINSKY, J; DAMIÃO, J. J.; CASTRO, I. R. R. Fragilidades no cuidado em saúde às pessoas com desordens relacionadas ao glúten. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 37, p. e00244219, 2021.

COMETTANT-RABANAL, R. *et al.* Extruded whole grain flours and sprout millet as functional ingredients for gluten-free bread. *LWT - Food Science and Technology*, v. 150, 2021.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Brasil deve produzir quase 4% a mais de sorgo na safra 2020/21. *Canal Rural*, 2021, Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/radar/brasil-deve-produzir-quase-4-mais-sorgo-na-safra-2020-21-diz-conab/> Acesso em: novembro, 2022.

CORREIA, I. *et al.* High-pressure treatments largely avoid/revert decrease of cooked sorghum protein digestibility when applied before/after cooking. *Food Science and Technology*, v.44, n. 4, p. 1245-1249, 2011.

CORREIA, V. T. V. *et al.* Avaliação sensorial de churros sem glúten com farinha de sorgo com e sem tanino. *Tecnologia de Alimentos e Nutrição*, Congresso nacional do milho e sorgo, 2016.

COURI, S., MATTA, V. M. Tecnologia de Alimentos: Alimentos funcionais. **EMBRAPA**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/qualidade/nutricional/alimentos-funcionais> Acesso em: janeiro, 2024

DAMODARAN, S., PARKIN, K. L., FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4a ed. Artmed: Porto Alegre, 2010.

DANESI, E. D. G. *et al.* Effects of industrial byproducts from orange, peach palm and soybean on the quality traits and antioxidant activity of flours: a response surface approach. **International Food Research Journal**, v. 25, n. 3, p. 219-227, 2018.

DAKHARA, S. L.; ANAJWALA, C. C.; SELOTE, V. S. Fibrous drugs for curing various common health problems. **Pharmacognosy Reviews**, v. 6, n. 11, p. 16, 2012.

DEY, S; RATHOD, V. K. Ultrasound assisted extraction of β -carotene from *Spirulina platensis*. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 20, n. 1, p. 271-276, 2013.

DERNER, R. B. *et al.* Microalgas, produtos e aplicações. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1959-1967, 2006.

DIKEMAN, C. L.; FAHEY JR, G. C. Viscosity as related to dietary fiber: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 46, n. 8, p. 649-663, 2006.

DONG, K. *et al.* Characterization of HMW glutenin subunits in bread and tetraploid wheats by reserved-phase high-performance liquid chromatography. **Cereal Research Communications**, v. 37, p. 65-72, 2009.

EICHOLZ, E. D. *et al.* Técnicas para o cultivo do milho e sorgo na região subtropical do Brasil: safras 2019/20 e 2020/21. **MISOSUL**, 2020.

EINALI, A. *et al.* Metabolic responses and β -carotene production by the unicellular green alga *Dunaliella salina* exposed to leaf extracts. **Acta Botanica Brasilica**, v. 31, p. 180-190, 2017.

EGEA, M. B. *et al.* Low cost cassava, peach palm and soy by-products for the nutritional enrichment of cookies: physical, chemical and sensorial characteristics. **International Food Research Journal**, v.25, n.3, p.1204-1212, 2018.

EL-BAZ, F. K.; ABDO, S. M.; HUSSEIN, A. M. S. Microalgae *Dunaliella salina* for use as food supplement to improve pasta quality. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research**, v. 46, n. 2, p. 45-51, 2017.

ELLEUCH, M. *et al.* Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterization, technological functionality and commercial applications: A review. **Food Chemistry**, v. 124, n. 2, p. 411-421, 2011.

FERNANDES, R. T. V. *et al.* Growth, bioactive compounds and chemical composition of marine microalga *Dunaliella salina* in batch cultures. **Revista Agraria Academica**, v. 5, n. 1, p. 77- 88, 2022.

FAGUNDES, M. B. *et al.* Insights in cyanobacteria lipidomics: A sterols characterization from *Phormidium autumnale* biomass in heterotrophic cultivation. **Food Research International**, v. 119, p. 777-784, 2019.

FAO. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 84th meeting, Beta carotene-rich extract from *Dunaliella salina*, Chemical and Technical Assessment (CTA), 2017.

FAO. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 87th meeting, **Toxicological and dietary exposure information and information on specifications**, 2019.

FERNANDES, R. O. C. *et al.* Development of cassava-based pasta (*Manihot esculenta* cranz): physico-chemical, microbiological and sensory evaluation. **International Journal of Development Research**, v. 7, p. 13792-13796, 2017.

FERRARI, L. *et al.* Animal and plant-based protein sources: a scoping review of human health outcomes and environmental impact. **Nutrients**, v. 14, n. 23, p. 5115, 2022.

FERREIRA, S. M. R. *et al.* Cookies sem glúten a partir da farinha de sorgo. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v.59, n.4, p.433-440, 2009.

FIORDA, F.A. *et al.* Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 4, p. 408-416, 2013.

FRANCAVILLA, M. TROTTA, P.; LUQUE, R. Phytosterols from *Dunaliella tertiolecta* and *Dunaliella salina*: a potentially novel industrial application. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 11, p. 4144-4150, 2010.

GALDINO, N. O; CLEMENTE, E. Palmito de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth.) composição mineral e cinética de enzimas oxidativas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.3 p. 540-544, 2008.

GARCIA, J. L.; VICENTE, M.; GALÁN, B. Microalgae, old sustainable food and fashion nutraceuticals. **Microbial Biotechnology**, v. 10, n. 5, p. 1017, 2017.

GARÓFALO, L. *et al.* Wheat flour non-starch polysaccharides and their effect on dough rheological properties. **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 2, p. 1327-1331, 2011.

GOUVEIA, L. *et al.* Functional biscuits with PUFA- ω 3 from *Isochrysis galbana*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 5, p. 891-896, 2008.

GRANATO, D. *et al.* Chemical perspective and criticism on selected analytical methods used to estimate the total content of phenolic compounds in food matrices. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 80, p. 266-279, 2016.

GUERREIRO, L. Dossiê Técnico: Massas alimentícias. Rio de Janeiro: **Redetec**, 39 p. 2006.

HALLIWELL, B; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free Radicals in Biology and Medicine**. Oxford University press, USA, 2015.

HAMACEK, F. R. *et al.* Valor nutricional e efeito do tratamento térmico sobre o potencial antioxidante em formulações de massa de macarrão sem glúten. **Alimentos e Nutrição**. v. 24, n. 2, p. 135-143, 2013.

HERDIANA, Y. Functional food in relation to gastroesophageal reflux disease (GERD). **Nutrients**, v. 15, n. 16, p. 3583, 2023.

HELM, C. V. *et al.* Palmito pupunha: produtos e subprodutos da agroindústria. **EMBRAPA Florestas**. p. 59-70, 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, 2022. Disponível em: ibge.gov.br Acesso em: janeiro, 2023

JAHNKE, L. S.; WHITE, A. L. Long-term hyposaline and hypersaline stresses produce distinct antioxidant responses in the marine alga *Dunaliella tertiolecta*. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, n. 10, p. 1193-1202, 2003.

JOHNSON, L. E. **Deficiência de vitamina A**. University of Arkansas for Medical Sciences, 2022.

KADAGAN, S.; ARSLAN, S. Effects of hydrocolloid combinations on physical, textural and sensory properties of kazandibi. **Latin American Applied Research**, v. 51, n. 2, p. 113-118, 2021.

KIRBAS, Z.; KUMCUOGLU, S.; TAVMAN, S. Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten- free batter rheology and cake properties. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 2, p. 914-926, 2019.

KUCEK, L. K.; VEENSTRA, L. D. A grounded guide to gluten: how modern genotypes and processing impact wheat sensitivity. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, p. 285-302, 2015.

KUMAR, M. *et al.* Algae as potential feedstock for the production of biofuels and value-added products: Opportunities and challenges. **Science of the Total Environment**, v. 716, p. 137116, 2020.

LAFARGA, T. *et al.* *Spirulina* for the food and functional food industries. **Food Research International**, v. 137, p. 109356, 2020.

LEGNAIOLI, S. *Plant-based: porque aderir a esse estilo de vida?* [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/plant-based/>. Acesso em: 25 abr. 2024.

LEMES, A. C. *et al.* Fresh pasta production enriched with *Spirulina platensis* biomass. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.55, p.740-750, 2012.

LIMA, D. G; SILVA, R. F; FURTADO, M. T. Composição química e aspectos microbiológicos de pães enriquecidos com polpa integral de pupunha desidratada. **Revista Geintec**, v. 10, n. 1, p. 5352-5366, 2020.

LOS, P. R. *et al.* Viability of byproduct of peach palm flour (*Bactris gasipaes* kunth), *Spirulina platensis* and spinach for enrichment of dehydrated soup. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 1260-1268, 2018.

MAHALAK, K. K. *et al.* Supplementation with soluble or insoluble rice-bran fibers increases short-chain fatty acid producing bacteria in the gut microbiota in vitro. **Frontiers in Nutrition**, v. 11, p. 1304045, 2024.

MALIK, K.; TOKKAS, J.; GOYAL, S. Microbial pigments: a review. **International Journal of Microbial Resource Technology**, v. 1, n. 4, p. 361-365, 2012.

MALTSEV, Y. *et al.* Influence of light conditions on microalgae growth and content of lipids, carotenoids, and fatty acid composition. **Biology**, v. 10, n. 10, p. 1060, 2021.

MANDARINO, J. M. G. **Componentes do trigo: características físico-químicas, funcionais e tecnológicas**. Londrina, PR - EMBRAPA, 1994.

MARGRAF, T. *et al.* Comparison between Folin-Ciocalteu and Prussian Blue assays to estimate the total phenolic content of juices and teas using 96-well microplates. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 11, p. 2397-2403, 2015.

MARIANI, M. *et al.* Elaboração e avaliação de biscoitos sem glúten a partir de farelo de arroz e de soja. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 1, p. 70-78, 2015.

- MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C.; PEÑAS, E.; HERNÁNDEZ-LEDESMA, B. Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. **Food and Chemical Toxicology**, v. 137, p. 111178, 2020.
- MATOS, Â. P.; NOVELLI, E.; TRIBUZI, G. Use of algae as food ingredient: sensory acceptance and commercial products. **Frontiers in Food Science and Technology**, v. 2, p. 989801, 2022.
- MELO, G. B. *et al.* Effects of by-products of peach palm and grape on nutritional, physico-chemical and sensory properties of extruded breakfast cereals. **Bioscience Journal**, v. 36, p. 317-329, 2020.
- MELO, G. B. de. *et al.* Extruded rice-based snack with *Spirulina platensis* and mixed flour of orange and peach palm by-products. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i5.15142.
- MENEZES, E. W. *et al.* Impact of dietary fiber energy on the calculation of food total energy value in the Brazilian Food Composition Database. **Food Chemistry**, v. 193, p. 128-133, 2016.
- MENEZES, B. A. D. *et al.* **Tecnologia para obtenção de biscoito adicionado de farinha de pupunha**. Belém: EMBRAPA/EAO, 2019. 8 p. (EMBRAPA/EAO. Comunicado Técnico, 307).
- MENEZES, M. *et al.* Update of the Brazilian floristic list of Algae and Cyanobacteria. **Rodriguésia**, v. 66, n. 4, p. 1047-1062, 2015.
- MESADRI, J; WAGNER, R; FAGUNDES, M. B. Potencial das microalgas na indústria farmacêutica. **Microalgas: potenciais aplicações e desafios**, p. 45-62, 2021.
- MESQUITA, S. S.; TEIXEIRA, C. M. L. L.; SERVULO, E. F. C. Carotenoides: propriedades, aplicações e mercado. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 2, p. 672-688, 2017.
- MILDE, L. B. *et al.* Incorporation of xanthan gum to gluten-free pasta with cassava starch. Physical, textural and sensory attributes. **LWT - Food Science and Technology**, v. 131, p. 109674, 2020.
- MIRA, G. S.; GRAF, H; CÂNDIDO, L. M. B. Visão retrospectiva em fibras alimentares com ênfase em beta-glucanas no tratamento do diabetes. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 45, p. 11-20, 2009.
- MUDGIL, D. The interaction between insoluble and soluble fiber. In: **Dietary fiber for the prevention of cardiovascular disease**. Academic press, p. 35-59, 2017.
- NAVACCHI, M. F. P. *et al.* Development of cassava cake enriched with its own bran and *Spirulina platensis*. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, n. 4, p. 465-472, 2012.
- NETHRAVATHY, M.U. *et al.* Recent advances in microalgal bioactives for food, feed, and healthcare products: commercial potential, market space, and sustainability. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 6, p. 1882-1897, 2019.
- NEVES, B. R. *et al.* Condicionamento fisiológico de sementes de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 3, p. 49- 59, 2020.

- NISAR, N. *et al.* Carotenoid metabolism in plants. **Molecular Plant**, v. 8, n. 1, p. 68-82, 2015.
- NOGUEIRA, A. D. S. *et al.* Socio-economic characterization of the cassava production system for family farmers in the Municipality of São Francisco do Pará. **Research, Society and Development**, v.10, p. 13, 2021.
- NOVOVESKÁ, L. *et al.* Microalgal carotenoids: A review of production, current markets, regulations, and future direction. **Marine Drugs**, v. 17, n. 11, p. 640, 2019.
- OLIVEIRA, J. A. R.; OLIVEIRA, L. S.; CASSIANO, K. S. Hidrólise enzimática da casca da pupunha para produção de etanol de segunda geração. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p.19317-19327, 2020.
- OLIVEIRA, I. M. *et al.* Utilização de farinhas alternativas em produtos de panificação: uma revisão literária. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-27, 2020.
- OLSEN, M. L.; OLSEN, K.; JENSEN, P. E. Consumer acceptance of microalgae as a novel food-Where are we now? And how to get further. **Physiologia Plantarum**, v. 176, n. 3, p. e14337, 2024.
- ONCEL, S. S. Microalgae for a macroenergy world. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 241-264, 2013.
- OREN, A. A hundred years of *Dunaliella* research: 1905-2005. **Saline Systems**, v. 1, p. 1-14, 2005.
- PAIVA, C. L., QUEIROZ, V. A. V., GARCIA, M. A. V. T. Technological, sensory and chemical characteristics of gluten-free pasta made from sorghum and corn flours. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. e201809, 2019.
- PAPAGIANNI, E. *et al.* Development of “clean label” gluten-free breads fortified with flaxseed slurry and sesame cake: Implications on batter rheology, bread quality and shelf life. **Food Hydrocolloids**, v.150, p. 109734, 2024.
- PANGESTUTI, R. *et al.* Photoprotective substances derived from marine algae. **Marine Drugs**, v. 16, n. 11, p. 399, 2018.
- PAYNE, P. I. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on breadmaking quality. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 38, p. 53-141, 1987.
- PEREIRA, E. N. *et al.* Aceitação sensorial de pão de forma a base de farinha de sorgo. **Innovative Science & Technology Journal**, v. 3, p. 49-55, 2017
- PICOLI, K. P. *et al.* Cassava starch factory residues in the diet of slow-growing broilers. **Tropical Animal Health and Production**, v. 46, n. 8, p. 1371-1381, 2014.
- PIETZAK, M. Celiac disease, wheat allergy, and gluten sensitivity: When gluten free is not a fad. **Journal of Parenteral and Enteral Nutrition**, v. 36, p. 68S-75S, 2012.
- PIMENTEL, C. V. M. B.; ELIAS, M. F.; PHILIPPI, S. T. **Alimentos funcionais e compostos bioativos**. Barueri: Manole. 2019.
- PLANT BASED NEWS. KFC beyond chicken sells out in 4 hours: Described as ‘Kentucky fried miracle’. Disponível em: <<https://www.plantbasednews.org/lifestyle/kfc-vegan-chicken-sells-out-5-hours>> Acesso em: 01 de mar. de 2024.

PONTALTI, E.; CULLERE, M.; DALLE ZOTTE, A. Meat Alternatives and Their Impact on Human Health: A Comprehensive Review. **Meat and Muscle Biology**, v. 8, n. 1, p. 1-19, 2024.

PRATESI, R.; GONDOLFI, L. Doença celíaca: a afecção com múltiplas faces. **Jornal de Pediatria**. v. 81, n. 357-358, 2005.

QUEIROZ, V.A.V. *et al.* Potencial Funcional e Tecnologia de Processamento do Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], para Alimentação Humana. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, n.3, p. 180-195, 2011.

RAGAE, S.; ABDEL-AAL, E. M.; NOAMAN, M. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. **Food Chemistry**, v. 98, n. 1, p. 32–38, 2006.

RAMOS, A. A. *et al.* The unicellular green alga *Dunaliella salina* Teod. as a model for abiotic stress tolerance: genetic advances and future perspectives. **Algae**, v. 26, n. 1, p. 3-20, 2011.

RANDHIR, A. *et al.* Microalgae: a potential sustainable commercial source of sterols. **Algal Research**, v. 46, p. 101772, 2020.

RATNAVATHI, C. V.; PATIL, J. V. Sorghum Utilization as Food. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2013.

REHMAN, M. *et al.* Impact of cultivation conditions on microalgae biomass productivity and lipid content. **Materials Today: Proceedings**, v. 56, p. 282-290, 2022.

RIBEIRO, M. N. O. *et al.* Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância a diferentes condições ambientais, **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 354-361, 2012.

ROBERFROID, M. *et al.* Prebiotic effects: metabolic and health benefits. **British Journal of Nutrition**, v.104, n. 2, p. S1–S63, 2010.

RODRIGUES, J. “De farinha, bendito seja Deus, estamos por agora muito bem”: uma história da mandioca em perspectiva Atlântica. **Revista Brasileira de História**, v. 37, p. 69-95, 2017. <https://doi.org/10.1590/1806-93472017v37n75-03>.

RONKO, L. Z. *et al.* Amido e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* C.): obtenção e caracterização de diferentes variedades. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 14, n. 1, p. 2962-2982, 2020.

SADAKA, S.; ATUNGULU, G. Grain sorghum drying kinetics under isothermal conditions using thermogravimetric analyzer. **Bio Resources**, v. 13, n. 1, p. 1534-1547, 2005.

SAIZ, P. **Palmito impulsiona desenvolvimento no litoral do Paraná**, Canal Rural, 2021. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/parana/palmito-impulsiona-desenvolvimento-no-litoral-do-parana/> Acesso em: fevereiro, 2023.

SALGADO, G. H. S. S.; FERRARI, S.; ENKE, D. B. S. Hastes maiores de pupunheira produzidas no Vale do Ribeira são mais Produtivas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 3, p. 278 -284, 2020.

SANTOS, L. N., BOLANHO; DANESI, E. D. G. Gestão ambiental e caracterização de resíduos sólidos de agroindústrias de palmito pupunha do estado do Paraná. **Revista Eletrônica e-xacta**, v.19, p.166-187, 2021.

- SANTOS, L. N. *et al.* Analysis of the environmental management of cassava starch industries: opportunities for a cleaner production. **RAMA - Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 17, n. 2, e11908, 2024.
- SCIARINI, L. S. *et al.* Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 4, p. 590-597, 2012.
- SCHMIELE, M. *et al.* Massa alimentícia sem glúten com elevado teor proteico obtida por processo convencional. **Ciência Rural**, v. 43, p. 908-914, 2013.
- SENGUPTA, S. JAYATI, B. Optimization of ingredient and processing parameter for the production of *Spirulina platensis* incorporated soy yogurt using response surface methodology. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 6, n. 4, p. 1081-1085, 2017.
- SHEWRY, P. What is gluten—why is it special?. **Frontiers in nutrition**, v. 6, p. 101, 2019.
- SILVA, D. W.; BOLINI, H. M. A.; CLERICI, M. T. P. S. Gluten-free rice & bean biscuit: characterization of a new food product. **Heliyon**, v. 7, n. 1, p. 1-14, 2021.
- SILVA, N. A. B. *et al.* Desenvolvimento e avaliação sensorial de massa de pizza sem glúten, fonte de fibras e adicionada de psyllium. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 11, p. 1-8, 2019.
- SINGH, B. Psyllium as therapeutic and drug delivery agent. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 334, n. 1-2, p. 1-14, 2007.
- SKERGET, M. *et al.* Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. **Food Chemistry**, v. 89, n. 2, p. 191-198, 2005.
- SPACKI, K. C. *et al.* Full Exploitation of Peach Palm (*Bactris gasipaes* Kunth): State of the Art and Perspectives, **Plants**, v.11, n.22, p.3175, 2022.
- SOUZA, C. M. M. *et al.* Microalgae *Schizochytrium* sp. as a source of docosahexaenoic acid (DHA): Effects on diet digestibility, oxidation and palatability and on immunity and inflammatory indices in dogs. **Animal Science Journal**, v. 90, n. 12, p. 1567-1574, 2019.
- SUCUPIRA, N. R. *et al.* Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **Journal of Health Sciences**, v. 14, n. 4, p. 236-239, 2012.
- SUN, Z. *et al.* Microalgae as a source of lutein: chemistry, biosynthesis, and carotenogenesis. **Microalgae Biotechnology**, p. 37-58, 2015.
- TBCA- Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 7.2. São Paulo, 2023. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>. Acesso em: março, 2023
- TALEON, V. *et al.* Effect of genotype and environment on flavonoid concentration and profile of black sorghum grains. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 470-475, 2012.
- TAFRESHI, A. H.; SHARIATI, M. Pilot culture of three strains of *Dunaliella salina* for β -carotene production in open ponds in the central region of Iran. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 22, p. 1003-1006, 2006.
- TAYLOR, J. R. N; EMMAMBUX, M. N. Developments in our understanding of sorghum polysaccharides and their health benefits. **Cereal Chemistry**, v. 87, n. 4, p. 263-271, 2010.

- TEIXEIRA, E. D. M. *et al.* Properties of thermoplastic starch from cassava bagasse and cassava starch and their blends with poly (lactic acid). **Industrial Crops and Products**, v. 37, n. 1, p. 61-68, 2012.
- THEUWISSEN, E; MENSINK, R. P. Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. **Physiology & Behavior**, v. 94, n. 2, p. 285-292, 2008.
- THIYAGARASAIYAR, K. *et al.* Algae metabolites in cosmeceutical: An overview of current applications and challenges. **Marine Drugs**, v. 18, n. 6, p. 323, 2020.
- TINOCO, N. A. B.; TEIXEIRA, C. M. L. L.; REZENDE, C. M. O Gênero *Dunaliella*: Biotecnologia e Aplicações. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1421-1440, 2015.
- TSUNECHIRO, A.; MIURA, M. Relações de preço sorgo/milho nos Estados de São Paulo, Goiás e Rio Grande do Sul, 2001-2009. **Informações Econômicas**, v. 41, p. 45-50, 2011.
- UENOJO, M. *et al.* Carotenoides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Química Nova**, v. 30, p. 616-622, 2007.
- VARELA, J. C. *et al.* Production of carotenoids by microalgae: achievements and challenges. **Photosynthesis Research**, v. 125, p. 423-436, 2015.
- VERONESE, N. *et al.* Dietary fiber and health outcomes: an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. **The American Journal of Clinical Nutrition**. v.107, p.436-444, 2018.
- VASEL, D. Dossiê Emulsificantes. **Food Ingredients Brasil**, n.7, p. 76-72, 2009. Disponível em: (https://revista-fi.com/upload_arquivos/201606/2016060621573001465583466.pdf). Acesso em: Abril, 2024
- VIDIGAL-FILHO, *et al.* **Mandioca: do plantio à colheita**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2022
- WITCZAK, M. *et al.* Starch and starch derivatives in gluten-free systems - A review. **Journal of Cereal Science**, v. 67, p. 46-57, 2016.
- YOUSIF, A.; NHEPERA, D.; JOHNSON, S. Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. **Food Chemistry**, v. 134, n. 2, p. 880-887, 2012.
- YU, L. *et al.* Enzymatic modification to improve the water-absorbing and gelling properties of psyllium. **Food Chemistry**, v. 82, n. 2, p. 243-248, 2003.
- ZANDONADI, R. P. **Psyllium como substituto de glúten**. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

CAPÍTULO 2

INVESTIGAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ISENTOS DE GLÚTEN

RESUMO

A Doença Celíaca (DC) e alergia ao glúten são provocadas pela ingestão de glúten em indivíduos geneticamente predispostos. O único tratamento é uma dieta isenta de glúten por toda a vida. Assim, investigar as características de farinhas de sorgo (FS), de subprodutos do processamento de palmito pupunha (FP) e de mandioca (FM), para potencial utilização em formulações de alimentos *gluten-free*, possibilitando enriquecimento nutricional a custo mais reduzido, é uma proposta que se reveste de importância. As matérias-primas foram obtidas a partir de doações de agroindústrias do Paraná, passaram pelo processo de higienização, secagem e moagem, para obtenção das farinhas. A seguir foram avaliadas quanto a composição proximal e mineral, compostos fenólicos, atividade antioxidante e carotenoides e quanto às características tecnológicas de Aw, índices de absorção e solubilidade em água e óleo, cor, propriedades de pasta e avaliação morfológica por MEV-FEG. A FS tem como principal componente o amido ($73,44 \text{ g.100g}^{-1}$), com teores de fibras e proteínas de $9,42$ e $6,19 \text{ g.100g}^{-1}$, respectivamente e se destacou no conteúdo de fósforo. A FP apresentou $49,47 \text{ g.100g}^{-1}$ de fibras, e teores mais elevados de açúcares e potássio, com baixas quantidades de amido. A FM tem níveis semelhantes de amido ($40,67 \text{ g.100g}^{-1}$) e fibras ($47,61 \text{ g.100g}^{-1}$), com mais cálcio que as demais farinhas. Quanto aos teores de carotenoides, a FP teve os maiores valores ($1393,24 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$) e FS apresentou a maior atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos de $3,07 \text{ mgTE.g}^{-1}$ e $136,25 \text{ mgGAE.100g}^{-1}$, respectivamente. Quanto às características tecnológicas das farinhas, a FP e FM, que possuem mais fibras, apresentaram maiores valores de IAA e IAO (índices de absorção de água e óleo). A FM apresentou maior viscosidade entre as farinhas, devido às propriedades do amido dessa matéria-prima. Foi possível observar pelo MEV-FEG o perfil das farinhas, que estão de acordo com a composição proximal das mesmas. As farinhas apresentaram propriedades que podem ser exploradas para formulação de produtos mais saudáveis isentos de glúten.

Palavras-chave: fibras alimentares, amido, antioxidantes, sorgo, mandioca, palmito pupunha.

2.1 INTRODUÇÃO

A Doença Celíaca (DC) é provocada pela ingestão de glúten em indivíduos geneticamente predispostos. O único tratamento é uma dieta isenta de glúten por toda a vida (Abdi *et al.*, 2023). A prevalência da DC é de 1% da população segundo a Federação Nacional das Associações de Celíacos do Brasil (FENACELBRA, 2023). O Brasil não tem estudos multicêntricos para determinação da prevalência da doença e não é de notificação obrigatória ao Ministério da Saúde.

Apesar de a oferta de produtos isentos de glúten vir crescendo, a maioria dos disponíveis são à base de amido, utilizando arroz ou milho. O preço é elevado e são carentes

de nutrientes como fibras, proteínas, vitaminas e minerais, com elevado conteúdo energético. Pesquisas visando explorar matérias-primas que possam contribuir com o enriquecimento nutricional, conferir características satisfatórias e preços acessíveis aos produtos, são muito importantes para a Segurança Alimentar da população que busca esse tipo de produto.

O sorgo é um cereal originário da África tropical e nesse continente, bem como na Índia, vem sendo intensivamente produzido, aonde chega a representar até 70% da ingestão calórica diária da população (Dicko *et al.*, 2006; Taylor; Schober; Bean, 2006). É uma planta conhecida por ser bem adaptável a diversos ambientes, tendo boa resistência à seca, a altas temperaturas e tolerância a fungos e micotoxinas (Sadaka; Atungulu, 2018). Seu consumo se dá tanto na forma de farinha para preparações como em grãos em substituição ao arroz. No Brasil sua produção é expressiva, destinada a alimentação animal, mas a exploração para uso humano pode ser interessante devido ao seu valor nutricional. A farinha de sorgo pode ser encontrada em comércio nacional apresentando elevados teores de amido, proteínas, fibras, além de alta concentração de ferro, zinco, vitamina E, antocianinas, ácidos fenólicos, taninos e amido resistente. A variedade de sorgo branco vem sendo produzida, e pode ser vantajosa para panificação, conferindo aparência mais atrativa aos produtos.

A sustentabilidade do setor agroindustrial pode ser estimulada com tecnologias que promovam utilização integral das matérias-primas seguindo o conceito de Economia Circular (Slorach *et al.* 2019). De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei 12.305/10), os subprodutos ou resíduos gerados nessas atividades devem ter destinação adequada (BRASIL, 2010).

No Brasil, grande parte da produção da mandioca é proveniente da agricultura familiar e de comunidades tradicionais, aproximadamente 87% da produção, tendo muita importância econômica, social e cultural (Rodrigues, 2017; Nogueira *et al.*, 2021). Para cada tonelada de mandioca processada são gerados em torno de 1.070 kg de farelo com elevado teor de umidade. A composição desse subproduto varia em função de aspectos agrônômicos e técnicas de processamento, apresentando elevados teores de fibras e amido (Fiorda *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2024).

O Brasil se destaca como grande produtor e exportador de palmito em conservas, sendo responsável por 95% do produto em termos mundiais. Das espécies exploradas, a pupunha (*Bactris gasipaes* Kunt), vem ganhando protagonismo por apresentar precocidade, capacidade de perfilhamento e não sofrer escurecimento enzimático acentuado (Spacki *et al.*, 2022). De cada haste colhida, estima-se que 84% do peso total sejam descartados por não apresentarem textura adequada. Este material pode ser usado como matéria-prima para obtenção de farinhas,

para desenvolver produtos de panificação e vem sendo investigado, pois em sua composição destacam-se fibras, vitaminas e minerais (Egea *et al.*, 2012; Santos; Danesi; Bolanho, 2021).

Neste contexto, este estudo visa investigar as características de farinhas de sorgo, de subprodutos do processamento de palmito pupunha e de mandioca, para potencial utilização em formulações de alimentos *gluten free* possibilitando enriquecimento nutricional, aceitação sensorial satisfatória a custos mais reduzidos.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo Geral

Obter e caracterizar as farinhas de sorgo e de subprodutos industriais de palmito pupunha e mandioca.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Processar as farinhas de sorgo, subprodutos de palmito pupunha e mandioca,
- Avaliar o teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante total das farinhas,
- Determinar a composição e as propriedades tecnológicas das farinhas.

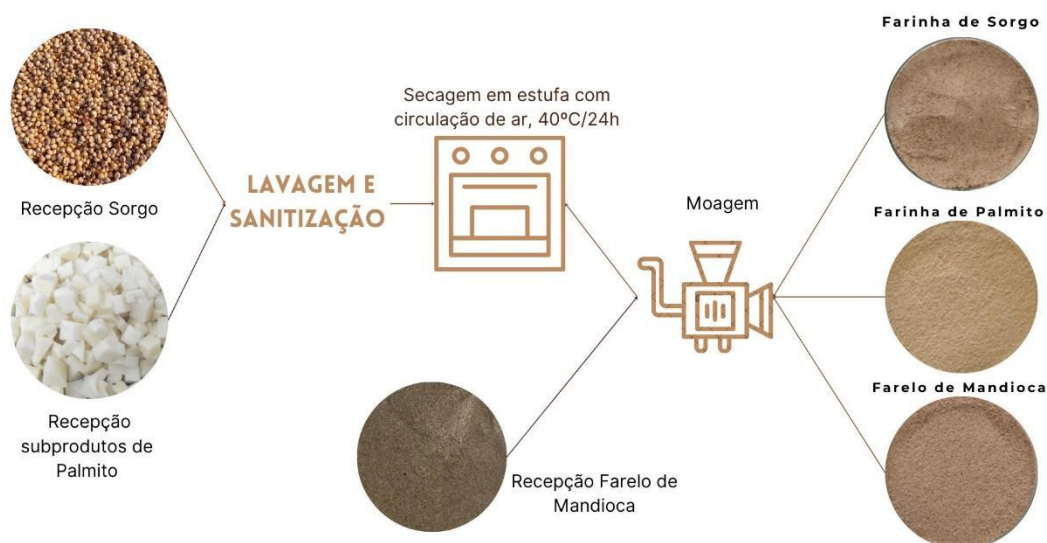
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

2.3.1 Obtenção das Farinhas de Sorgo e de Subprodutos de Mandioca e Palmito Pupunha

O fluxograma do processo de obtenção das farinhas está exposto na Figura 1. Os grãos de sorgo foram obtidos através da doação da AGR-8 Soluções em Agronegócio de Londrina/PR. No processamento da farinha do sorgo, foi realizada lavagem do cereal e retirada de matérias estranhas provenientes da colheita, foi realizada a desidratação em estufa de circulação forçada à temperatura de 40°C por 24 h (Queiroz *et al.*, 2020). Foi realizada moagem do cereal desidratado em moinho de rotor STAR-FT51®.

O farelo de mandioca foi doado pela indústria Lorenz localizada em Umuarama/PR. Sendo o resíduo sólido da etapa de extração do amido, foi triturado em moinho de facas tipo Willye (SL-031, SOLAB) para utilização (Navacchi *et al.*, 2012).

Figura 1: Fluxograma do processamento das farinhas de sorgo, subprodutos de palmito e mandioca



Fonte: A Autora, 2024.

Os subprodutos gerados no processamento de conservas e de minimamente processados de palmito pupunha foram doados pela Frateli, localizada em Guaraqueçaba/PR. A parte basal da haste foi picada, lavada e sanitizada, e seguiram para secagem em estufa de circulação forçada a 40°C por 24 h. Para obtenção da farinha, o subproduto desidratado passou por moagem em moedor STAR-FT51® (Danesi *et al.*, 2018).

2.3.2 Características Físico-Químicas das Farinhas de Sorgo e de Subprodutos de Palmito e Mandioca

A composição proximal das farinhas foi realizada por metodologias oficiais propostas pela AOAC (2005), que incluem umidade (método nº 925.09), cinzas (método nº 923.03) e lipídios (método nº 920.85). O cálculo do teor de proteínas usou 6,25 como fator de conversão (método nº 920.87). Os teores de fibras foram determinados pelo método enzimático-gravimétrico (Kit enzimático Sigma) (método nº 985.29).

A composição mineral foi determinada pela técnica de espectrometria por fluorescência de raios X, utilizando detector de comprimento de onda WDS, (WDS, modelo ZSX Primus II, Rigaku).

A determinação do teor de amido foi realizada conforme IAL (2008). A amostra foi tratada com éter e álcool e depois centrifugada (CELM, Combate, Barueri, São Paulo). O filtrado ou o sobrenadante foram usados para a determinação de açúcares redutores em glicose

e em açúcares não redutores em sacarose, e titulado com soluções de Fehling para determinação do amido total.

A determinação de açúcares redutores totais foi feita pelo método Somogyi-Nelson, onde a amostra foi diluída e hidrolisada previamente. Então 1 mL da amostra, junto com 2 mL de reagente Somogyi-Nelson-I foram ao banho em ebulição por 6 min e após resfriamento foi adicionado mais 2 mL de Somogyi-Nelson -II e completado para 25 mL com água destilada, após repouso de 5 min, o material foi lido em espectrofotômetro em 540 nm (Somogyi, 1937; Nelson, 1944).

As análises de pH foram feitas no pHmetro PHS-3E-ION e acidez pelo método de titulação adaptado do Manual do Instituto Adolfo Lutz (2008).

2.3.3 Compostos Fenólicos, Atividade Antioxidante e Carotenoides

Os carotenoides totais foram quantificados a partir da extração com acetona resfriada e maceração com celite por 5 min, seguido de filtração em papel filtro a vácuo. Então o líquido filtrado deve ser adicionado à um funil de separação com 10 mL de éter de petróleo, sendo realizada 3 lavagens com 10 mL de água destilada e recuperado em um balão de 10 mL a fase superior do funil, conforme descrito por Rodriguz-Amaya *et al.* (2008).

Para determinação dos compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante foram obtidos extratos a partir de 1 g de amostra com 20 mL de etanol 80%. Essa mistura foi submetida à agitação em banho ultrassom à temperatura ambiente durante 3 h. A seguir foram centrifugadas (CELM, Combate, Barueri, São Paulo) a 1000 xg por 20 min. O sobrenadante foi recolhido em um tubo e ao material foi adicionado 5 mL de etanol. Depois de centrifugar novamente esse material por 20 min, o sobrenadante foi adicionado ao anterior, realizando essa etapa duas vezes, segundo Bolanho *et al.* (2014) com modificações.

Os teores de compostos fenólicos foram determinados pelo reagente de Folin-Ciocalteu. Em um tubo de ensaio foi adicionado 0,5 mL do extrato, 2,5 mL do reagente folin 1N e 1 mL de Na₂CO₃ 5%. A leitura foi realizada por espectrofotômetro (UVmini-1240, SHIMADZU) a 725 nm, após 60 min no escuro, enquanto uma curva analítica foi construída com ácido gálico (0-100 mg de ácido gálico/ml), e os resultados expressos em mgEAG.100g⁻¹ (Singleton, Orthofer, Lamuela-Raventos, 1999).

A determinação da atividade antioxidante pelo método do radical DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) foi feita com uma incubação da amostra em solução etanólica de DPPH a 50 µmol/L. Leu-se absorbância a 517 nm em espectrofotômetro (UVmini-1240,

SHIMADZU). As amostras foram preparadas com 1 mL do extrato e 3 mL de DPPH, o branco foi feito substituindo o extrato por 1 mL de etanol 95% (Brand-Willians, Cuvelier, Berset, 1995). Os valores foram expressos em equivalente trolox por g de amostra (mgTE.g⁻¹), a partir da curva padrão de Trolox (0-240 µM/L).

A determinação da atividade antioxidante pelo método de redução do ferro, conhecido como FRAP, foi iniciado com a preparação das soluções de TPTZ (2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina) a 10 mM, de cloreto férrico (FeCl₃ - 20 mM) e solução tampão acetato a 0,3 M e pH de 3,6, essas soluções são a base do preparo da solução FRAP. Em tubos de ensaio cobertos com papel alumínio foram adicionados 90 µL dos extratos, ou da solução de Trolox padrão, ou branco (água destilada), mais 2,7 mL da solução FRAP e 270 µL de água destilada. A leitura foi realizada no comprimento de onda 595 nm e os valores foram expressos em mgTE.g⁻¹ (Benzie, Strain, 1996).

2.3.4 Características Tecnológicas das Farinhas de Sorgo e de Subprodutos de Palmito e Mandioca

Para a determinação dos índices de absorção em água (IAA), absorção em óleo (IAO) e de solubilidade em água (ISA) das farinhas, adaptaram-se os métodos utilizados por Santana, Oliveira Filho e Egea (2017). Foram calculados conforme descrito nas equações 1, 2 e 3 a seguir.

$$IAA = \frac{\text{água absorvida pela amostra (g)}}{\text{peso da amostra (g)}} \quad \text{Equação (1)}$$

$$IAO = \frac{\text{óleo absorvido pela amostra (g)}}{\text{amostra (g)}} \quad \text{Equação (2)}$$

$$ISA = \frac{\text{resíduo de evaporação (g)}}{\text{peso da amostra (g)}} \times 100 \quad \text{Equação (3)}$$

Os valores experimentais de atividade de água foram obtidos através de leitura direta em medidor eletrônico, método n° 978.18 AOAC (1990).

2.3.4.1 Análise Colorimétrica

A avaliação da coloração das farinhas foi realizada com colorímetro digital (Miniscan EZ, Hunterlab®, EUA), previamente calibrado. Foram avaliados três parâmetros: L^* - luminosidade ($L^* = 0$ - preto e $L^* = 100$ - branco) e a^* e b^* coordenadas cromáticas ($+a^*$ vermelho e $-a^*$ verde; $+b^*$ amarelo e $-b^*$ azul) (Bible, Singha, 1997).

2.3.4.2 Granulometria

A granulometria foi determinada com as peneiras da série de Taylor, com aberturas de 20, 28 35, 42, 80 e 150 mesh, em agitador mecânico, por 15 min em potência máxima. O diâmetro médio das partículas foi determinado pelo método apresentado por Gomide (1983), pelas frações mássicas do material retido nas peneiras.

2.3.4.3 Propriedades de Pasta (RVA)

O equipamento RVA-4 (Newport Scientific, Austrália) foi utilizado para avaliação das propriedades de pasta das farinhas. Para isso, uma dispersão de 8% (m/m) de farinha em base seca em 28 g de massa total foi preparada e submetida à um ciclo de aquecimento até 95°C e resfriamento controlado sob agitação circular constante. Os parâmetros utilizados são descritos a seguir: temperatura mantida à 50°C por 2 min, seguido de aquecimento até 95°C a uma razão de aquecimento de 6°C.min⁻¹, temperatura mantida à 95°C durante 5 min, seguido de arrefecimento a 50°C a 6°C.min⁻¹. Ao fim do ciclo a temperatura foi mantida por 2 min a 50°C (Lacerda *et al.*, 2014).

2.3.4.4 Microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo (MEV)

A avaliação morfológica (Microscopia Eletrônica MEV) das farinhas foi realizada em microscópio eletrônico de emissão de campo FEG-SEM (Mira 3, TESCAN®, Kohoutovice, República Tcheca) que produz imagem resultante da interação de um feixe de elétrons de 15 kv no canhão de emissão de campo, gerada por uma lâmpada com filamento de tungstênio, com a amostra. As amostras foram previamente preparadas, sendo pulverizadas sobre uma fita de carbono. Como o amido não é condutor de elétrons, todas as amostras foram submetidas à metalização com plasma de ouro a 20 mA, durante 150 s, para promover a passagem de elétrons (Bet *et al.*, 2016)

2.3.5 Análise Estatística

Os resultados das análises (triplicatas) foram apresentados com as médias e desvios padrão.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Composição das Farinhas Obtidas

A composição química de vegetais depende da variedade, da hibridização, localização geográfica e condições ambientais de cultivo. Na Tabela 1 a composição das farinhas de sorgo, dos subprodutos de palmito pupunha e mandioca obtidas nesse estudo podem ser observadas.

Tabela 1: Composição das farinhas de sorgo, de subprodutos de palmito e mandioca (média $\pm$ desvio padrão)

Análises (g.100g ⁻¹)	Farinha de subproduto de palmito pupunha (FP)	Farinha integral de sorgo (FS)	Farinha de subproduto de mandioca (FM)
Umidade	4,66 $\pm$ 0,14	7,44 $\pm$ 0,04	5,48 $\pm$ 0,42
Cinzas	3,97 $\pm$ 0,09	1,91 $\pm$ 0,05	1,20 $\pm$ 0,09
Proteínas	4,87 $\pm$ 0,26	6,19 $\pm$ 0,06	1,9 $\pm$ 0,03
Lipídios	1,35 $\pm$ 0,02	5,54 $\pm$ 0,16	0,32 $\pm$ 0,14
Amido	-	73,44	40,67
Fibras alimentares	49,97 $\pm$ 0,31	9,42 $\pm$ 0,93	47,11 $\pm$ 0,67
Açúcares	20,18 $\pm$ 0,17	0,81 $\pm$ 0,01	0,23 $\pm$ 0,01
pH	4,98 $\pm$ 0,03	6,64 $\pm$ 0,01	5,42 $\pm$ 0,01
Acidez *	1,66 $\pm$ 0,08	0,38 $\pm$ 0,02	1,91 $\pm$ 0,15

Fonte: A Autora, 2024

*acidez normal %.

O teor de água das farinhas deve ser controlado com eficácia, considerando que esse é o principal fator que influencia o crescimento microbiológico e velocidade de reações químicas. Assim a legislação brasileira, segundo a IN nº 8, de 2 de junho de 2005 (BRASIL, 2005), determina que a umidade de farinhas e farelos deve ser de no máximo 15%. Todos os resultados de umidade das farinhas estão dentro do estabelecido pela legislação, a farinha de sorgo apresentou os valores mais altos (7,44 g.100g⁻¹) e o palmito a mais baixa (4,66 g.100g⁻¹).

A farinha de subproduto de mandioca apresentou 5,48 g.100g⁻¹ de umidade, abaixo dos encontrados na literatura, que ficaram entre 12,4 (Ronko *et al.*, 2021) e 9,2 g.100g⁻¹ (Fiorda *et al.*, 2013). A farinha de subprodutos do palmito apresentou valores entre os encontrados por Bolanho e Danesi (2015) de 10,15 g.100g⁻¹ e por Helm *et al.* (2021), de 3,4 g.100g⁻¹.

Macedo *et al.* (2020), realizaram estudos empíricos no processo de secagem dos grãos de sorgo, e obtiveram resultados próximos de 6,74 g.100g⁻¹ de umidade na farinha produzida, após os grãos terem atingido o equilíbrio do teor de água, valores próximos do encontrado neste estudo de 7,44 g.100g⁻¹.

Com relação ao resíduo mineral fixo, a farinha de sorgo apresentou teor de 1,91 g.100g⁻¹ (Tabela 1). Observou-se que o resultado alcançado foi superior ao de Ferreira *et al.*, (2009), que foi de 1,44 g.100g⁻¹ para farinha de sorgo em base seca, e próximo do encontrado por Carvalho *et al.* (2014) que foi de 1,76 g.100g⁻¹.

Barbosa *et al.* (2011) também estudaram diferentes subprodutos para produção de farinhas sem glúten e encontraram valores muito próximos de cinzas para a farinha de palmito pupunha de 3,80 g.100g⁻¹ e de farinha de mandioca 1,20 g.100g⁻¹.

Quando comparadas com farinha de trigo, as farinhas de sorgo e subprodutos apresentaram quantidades de cinzas superiores ao encontrado por Lanza-rini (2020), entre 0,40 a 0,78 g.100g⁻¹, em farinhas de trigo branca produzidas em diferentes moinhos do estado do Paraná.

Quanto ao teor de proteínas e lipídios, as farinhas apresentaram valores coerentes quanto às suas matérias-primas. Em estudos similares, a farinha de subproduto do palmito para proteínas teve 4,4 - 6,3 g.100g⁻¹ e 1,0 g.100g⁻¹ de lipídios (Helm *et al.*, 2021). Assim como a farinha de subproduto de mandioca que foi de 1,42 - 1,82 g.100g⁻¹ para proteínas e de 0,31 - 0,43 g.100g⁻¹ de lipídios (Ronko *et al.*, 2021). Para a farinha de sorgo os teores de proteínas foram de 6,54 e 2,02 g.100g⁻¹ de lipídios (Ferreira *et al.*, 2009).

Com relação aos carboidratos, calculados baseado nos constituintes de amido, açúcares totais e fibras alimentares, a farinha de sorgo e mandioca apresentaram maiores valores de amido de 73,44 e 40,67 g.100g⁻¹, respectivamente, e baixos de açúcares (0,81 e 0,23 g.100g⁻¹), enquanto a farinha de palmito é constituída de 20,18 g.100g⁻¹ de açúcares totais, como descrito por Helm *et al.* (2021) que encontraram valores de 17,5 g.100g⁻¹, e não possui quantidades significativas de amido.

As farinhas de palmito e mandioca se destacaram pelo elevado conteúdo de fibras. Ao incorporá-las em formulações, é possível aumentar o seu conteúdo, incentivando uma maior

ingestão deste componente. Nesse contexto, a substituição da farinha de trigo por essas alternativas ricas em fibras em produtos de panificação emerge como uma opção viável. Pode-se explorar formulações que atinjam aceitação sensorial satisfatória, oferecendo uma abordagem positiva para contrabalançar a redução geral no consumo de fibras na dieta.

Entre as três farinhas, a de sorgo apresentou valores mais baixos de fibras, porém condizentes com a literatura. Ferreira *et al.* (2009) obteve valores de 7,46 g.100g⁻¹ de fibras alimentares. Palmito e mandioca tiveram resultados próximos. Helm *et al.*, (2021) encontraram valores de fibras alimentares na farinha de subproduto de palmito de 55,4 g.100g⁻¹ e Ronko *et al.* (2019) de 47,25 g.100g⁻¹ para o bagaço de mandioca industrial.

Em relação ao pH, o índice de 6,64 para a farinha de sorgo foi próximo da neutralidade e similar ao registrado por Ferreira *et al.* (2009) de 6,28. A acidez titulável foi de 0,38 g de ácido equivalente.100g⁻¹, abaixo dos valores encontrados em outros estudos de 1,45 g de ácido equivalente g.100g⁻¹ registrados em farinha de sorgo branco. A farinha de subproduto de mandioca apresentou pH mais ácido de 5,42 e a maior teor de acidez titulável 1,91 g de ácido equivalente.100g⁻¹, valores mais altos do que o encontrado por Rocha (2005), de 4,58 para o pH e 0,26 g de ácido equivalente.100g⁻¹ de acidez. Para a farinha de palmito pupunha, o índice de pH encontrado na literatura de 5,74, está acima de 4,98 deste estudo (Souza *et al.*, 2022). Como não é estipulado valor máximo tolerável de acidez para as farinhas, foi utilizado o referencial de 3,0 g de ácido equivalente.100g⁻¹ de acidez recomendado para a farinha de trigo comum. A baixa acidez encontrada para as farinhas sugere condições ótimas de processamento e armazenamento, indicando que não houve deterioração do produto.

Na Tabela 2 estão representados os valores da composição mineral das farinhas de palmito, sorgo e mandioca. A RDC n°75 da ANVISA (BRASIL, 2020) descreve que para um alimento ser considerado fonte de algum mineral, este deve ter no mínimo 15% da ingestão diária recomendada (IDR) por porção. As recomendações de IDR para os minerais potássio, magnésio, fósforo, cálcio e ferro são de 3500, 420, 700, 1000 e 14 mg respectivamente.

A farinha de sorgo se destacou pelo alto teor de fósforo (547 mg.100g⁻¹) entre as farinhas e valores significativos de Mg (285 mg.100g⁻¹) e K (578 mg.100g⁻¹). Resultados superiores aos encontrados por Carvalho *et al.* (2014) em farinhas de sorgo integral.

Tabela 2: Composição mineral das farinhas de sorgo, subprodutos de palmito e mandioca

Componente (mg.100g⁻¹)	Farinha de subproduto de palmito pupunha	Farinha integral de sorgo	Farinha de subproduto de mandioca
Magnésio (Mg)	311	285	200
Fósforo (P)	345	547	20,7
Enxofre (S)	215	119	26,1
Potássio (K)	1850	578	299
Cálcio (Ca)	208	39,7	686
Ferro (Fe)	14,7	9,3	3,8

Fonte: A Autora, 2024.

Quanto à farinha de palmito, se sobressaiu quanto aos teores de magnésio (331 mg.100g⁻¹), potássio (1850 mg.100g⁻¹) e ferro (14,7 mg.100g⁻¹), quando comparado com as outras farinhas de sorgo e mandioca. Na literatura foram encontrados valores abaixo deste estudo, de 262, 1176 e 9,7 mg.100g⁻¹, respectivamente dos minerais citados acima (Bolanho; Danesi; Beléia, 2014).

2.4.2 Carotenoides, Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante

Os compostos fenólicos, classificados como metabólitos secundários, são conhecidos por serem biossintetizados em plantas. O grão de sorgo possui muitos ácidos fenólicos e flavonoides, onde os flavonoides podem ser divididos em flavononas, flavonois, antocianinas e taninos condensados, conhecidos como proantocianidinas (Xu; Wang; Zhao, 2021). A farinha de sorgo apresentou os maiores resultados para compostos fenólicos (Tabela 3), de 136,25 mgEAG.100g⁻¹, próximos aos encontrados por Rao *et al.* (2018) que foi de 24 - 358 mgEAG.100g⁻¹, ao compararem variedades de sorgo com diferentes colorações de pericarpos, branco, vermelho e marrom. A farinha de palmito teve valores próximos à de sorgo e ao encontrado na literatura de 233 mg EAG.g⁻¹ (Bolanho *et al.*, 2014).

Carotenoides são pigmentos amplamente distribuídos na natureza sendo importantes pela sua atividade pró-vitamina A (Rodriguez-Amaya *et al.*, 2008). Dentre as amostras, a farinha de palmito pupunha foi a que apresentou melhores resultados, de 1,39 µg.g⁻¹ valor superior ao encontrado por Bolanho *et al.* (2014) de 0,96 µg.g⁻¹.

Tabela 3: Composição de compostos bioativos das farinhas de sorgo, de subprodutos de palmito e mandioca

Análises (unidades)	Farinha de subproduto de palmito pupunha	Farinha integral de sorgo	Farinha de subproduto de mandioca
Carotenoides ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	$1,39 \pm 0,07$	$0,56 \pm 0,02$	$0,29 \pm 0,03$
Compostos fenólicos totais ($\text{mgEAG}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	$117,57 \pm 2,03$	$136,25 \pm 3,74$	$35,78 \pm 0,96$
Atividade antioxidante por DPPH ($\text{mgET}\cdot\text{g}^{-1}$)	$1,34 \pm 0,04$	$1,84 \pm 0,01$	$0,55 \pm 0,00$
Atividade antioxidante por FRAP ($\text{mgET}\cdot\text{g}^{-1}$)	$2,83 \pm 0,02$	$3,07 \pm 0,06$	$0,36 \pm 0,01$

Fonte: A autora, 2024

A superprodução de espécies reativas de oxigênio no corpo humano pode potencialmente resultar em estresse oxidativo, o qual está associado ao aumento do risco de muitas doenças crônicas, como inflamação, diabetes, aterosclerose e doenças cardiovasculares. Antioxidantes provenientes de polifenóis dietéticos podem neutralizar os radicais livres para prevenir doenças crônicas (Zhang *et al.*, 2015). A farinha de sorgo apresentou os maiores resultados com relação a esses componentes. Bolanho *et al.* (2014), apresentaram para a farinha de subproduto do palmito pupunha valores próximos de atividade antioxidante, de $3,74 \text{ mgET}\cdot\text{g}^{-1}$ por DPPH e $2,14 \text{ mgET}\cdot\text{g}^{-1}$ por FRAP.

Na farinha de sorgo foram encontrados resultados de atividade antioxidante de $1,84 \text{ mgET}\cdot\text{g}^{-1}$ por DPPH e $3,04 \text{ mgET}\cdot\text{g}^{-1}$ por FRAP, valores superiores aos encontrados por Rao *et al.* (2018), que analisaram diferentes variedades de sorgo, que foram de $0,33$ e $2,31 \text{ mgET}\cdot\text{g}^{-1}$ no sorgo branco.

2.4.3 Características Tecnológicas das Farinhas

Além da composição, aspectos de funcionalidade são importantes para avaliar o comportamento de farinhas para aplicação em produtos alimentícios. Dessa forma, na Tabela 4 as características das farinhas estudadas podem ser verificadas.

A atividade de água mais elevada, foi de $0,56$ para a farinha de sorgo, dentro do limite ideal para a conservação, levando em consideração que o valor mínimo capaz de permitir o desenvolvimento de microrganismos é $0,60$, evidenciado pelo fato de alimentos desidratados serem considerados estáveis do ponto de vista microbiológico (Chisté *et al.*, 2006).

Tabela 4: Características tecnológicas das farinhas de sorgo, de subprodutos de palmito e mandioca

Análises	Farinha de subproduto de palmito	Farinha integral de sorgo	Farinha de subproduto de mandioca
Aw	0,39 ± 0,01	0,56 ± 0,00	0,38 ± 0,01
ISA	11,53 ± 1,17	4,75 ± 1,75	2,63 ± 0,44
IAA	7,94 ± 0,43	2,68 ± 0,09	4,95 ± 0,08
IAO	3,59 ± 0,26	2,20 ± 0,06	3,40 ± 0,19
Granulometria (mm)	0,27	0,51	0,72
Cor			
L	87,43 ± 0,54	76,31 ± 1,75	79,68 ± 0,51
a	0,23 ± 0,14	3,79 ± 0,19	3,51 ± 0,07
b	21,06 ± 0,52	13,23 ± 0,20	15,13 ± 0,19

Aw = atividade de água, ISA = índice de solubilidade em água, IAA = índice de absorção de água, IAO = índice de absorção de óleo.

A atividade de água mais elevada, foi de 0,56 para a farinha de sorgo, dentro do limite ideal para a conservação, levando em consideração que o valor mínimo capaz de permitir o desenvolvimento de microrganismos é 0,60, evidenciado pelo fato de alimentos desidratados serem considerados estáveis do ponto de vista microbiológico (Chisté *et al.*, 2006).

Entre as farinhas estudadas, observa-se que a de palmito pupunha apresentou maiores índices de solubilidade e absorção de água. A absorção de água está ligada com a capacidade de hidratação de amostra, e é estimada quanto a quantidade de água retida na matriz. Este índice depende da conformação molecular, tamanho das partículas e números de sítios de ligação das moléculas (Barbosa *et al.*, 2011). Assim, as amostras que contém mais fibras na sua composição apresentaram maiores valores de IAA, pois este componente apresenta como principal característica físico-química a propriedade de hidratação, pela presença de componentes insolúveis, como celulose, hemicelulose e lignina, que são materiais hidrofílicos.

Os resultados obtidos de IAA e IAO para as farinhas de palmito e mandioca foram superiores aos encontrados por Barbosa *et al.* (2011). Para a farinha de sorgo foram encontrados valores próximos dos obtidos por Silva (2019) que foram de 2,59 para IAA e 2,20 para IAO. A absorção de óleo é atribuída principalmente à combinação da gordura aos grupos apolares das proteínas ou a disponibilidade de grupos lipofílicos, e não houve diferença entre as amostras.

Os índices de solubilidade e absorção de água desempenham papel crucial na produção de panificados. Influenciam diretamente a formação da massa durante a panificação, afetando sua coesão e elasticidade. Além disso, esses parâmetros têm impacto significativo na textura

final do produto, contribuindo para características como maciez e crocância. A absorção adequada de água é vital para a estabilidade e durabilidade do produto, evitando sua deterioração rápida ou ressecamento. Além disso, a compreensão e ajuste desses parâmetros são essenciais para otimizar a eficiência e padronizar a qualidade dos panificados, garantindo consistência nas características sensoriais e físicas (Awuchi; Igwe; Echeta, 2019).

Quanto ao ISA, pode estar ligado a granulometria das amostras, onde as farinhas com maior granulometria apresentaram valores mais baixos de solubilidade em água, devido a diminuição da área superficial para difusão da água (Almeida *et al.*, 2017). O tamanho das partículas das farinhas é um fator crucial na preparação de massas, pães e outros derivados. Uma granulometria mais uniforme possibilita a elaboração de um produto com melhor qualidade sensorial, especialmente em termos de textura, sabor e aparência, isso ocorre porque os alimentos absorvem a água de maneira homogênea, resultando em um cozimento uniforme da massa (Peres; Waszczynskyj, 2010).

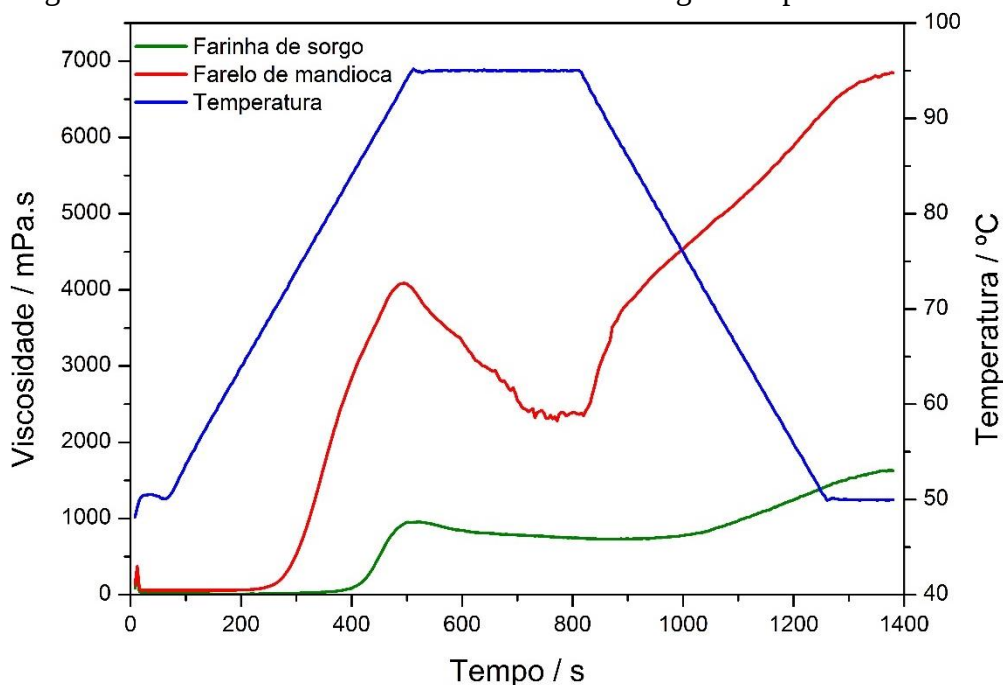
Os valores médios dos parâmetros de cor estão apresentados na Tabela 4, o parâmetro L indica a luminosidade da amostra, está associado ao aumento da área de superfície que reflete mais luz (Savlak *et al.*, 2016). Enquanto os parâmetros *a* e *b* representam as cores *a* + vermelho, *a* - verde, *b* + amarelo e *b* - azul. Pelos valores obtidos, pode-se notar que todas as farinhas se encontram no mesmo quadrante do círculo cromático, sendo farinhas claras, com tons de vermelho e amarelo. A farinha de palmito é a mais clara e mais amarela que as outras, enquanto a de sorgo é a mais escura e com mais tons de vermelho, resultados próximos ao encontrado em farinha de sorgo integral secas à 40°C, que foram de L: 70,52, *a*: 7,44 e *b*: 12,84, representando uma farinha mais escura e vermelha, devido aos compostos fenólicos presentes na amostra (Silva, 2019).

Compreender as propriedades de pasta das matérias-primas amiláceas é essencial para desenvolver processos tecnológicos específicos e criar uma variedade de produtos. Essas propriedades ajudam a entender como o amido se comporta em diferentes condições de processamento, permitindo a otimização dos processos industriais e garantindo a qualidade dos produtos, podendo direcionar a aplicação dessas matérias-primas como gelificantes, espessantes, aglutinantes ou estabilizantes (Ovando-Martínez *et al.*, 2011).

O *rapid analyser viscosimeter* (RVA) mede o comportamento do amido durante a gelatinização por meio do controle da resistência ao torque de uma mistura de farinha e água, durante o aquecimento e o resfriamento. A viscosidade máxima revela o pico de inchamento dos grânulos de amido, sendo importante para a avaliação da fluidez da pasta e varia de acordo

com a estrutura dos grânulos de amido e da proporção de amilose e amilopectina. A Figura 2 apresenta o perfil de viscoamilográfico das farinhas de sorgo e mandioca.

Figura 2: Curvas de viscosidade das farinhas de sorgo e subprodutos de mandioca



Fonte: A Autora, 2024

De acordo com Zortéa *et al.* (2011), o gráfico obtido demonstrando o perfil viscoamilográfico da amostra, é estruturado e dividido em três curvas de tempo, refletindo o comportamento de pasta do amido, que se manifesta em três fases distintas: empastamento, cozimento e retrogradação. Na fase 1 (50 a 95°C), ocorre uma absorção significativa de água pelos grânulos de amido, resultando no aumento da viscosidade da suspensão. A fase 2, mantida a 95°C, envolve a gelatinização com agitação mecânica, rompendo parcialmente alguns grânulos e liberando polissacarídeos, o que causa variações na estabilidade durante o cozimento. Na fase 3, a viscosidade aumenta novamente durante o resfriamento (de 95 para 50°C), sinalizando a retrogradação.

As farinhas de sorgo e de subproduto de mandioca apresentaram diferentes perfis em termos de propriedades viscoelásticas, como pode ser observado na Figura 2. Os valores que definem o início e o término das três etapas, variam devido às características distintas dos amidos originários de diferentes fontes botânicas.

A farinha de sorgo, apresentou a menor viscosidade, possivelmente devido ao teor de fibras e proteínas, que dificultam o inchamento dos grânulos de amido durante o aquecimento (Chao *et al.*, 2024). Shewayrga *et al.* (2012) ao analisar diferentes variedades de sorgo

observaram que as de pericarpo branco, que foram classificados como opacas, apresentaram o pico da viscosidade máxima de 736 mPa.s, e a viscosidade final 1613 mPa.s, valores abaixo do encontrado nesse estudo que foram de 955 e 1628 mPa.s, respectivamente, porém com curva semelhante à encontrada neste estudo.

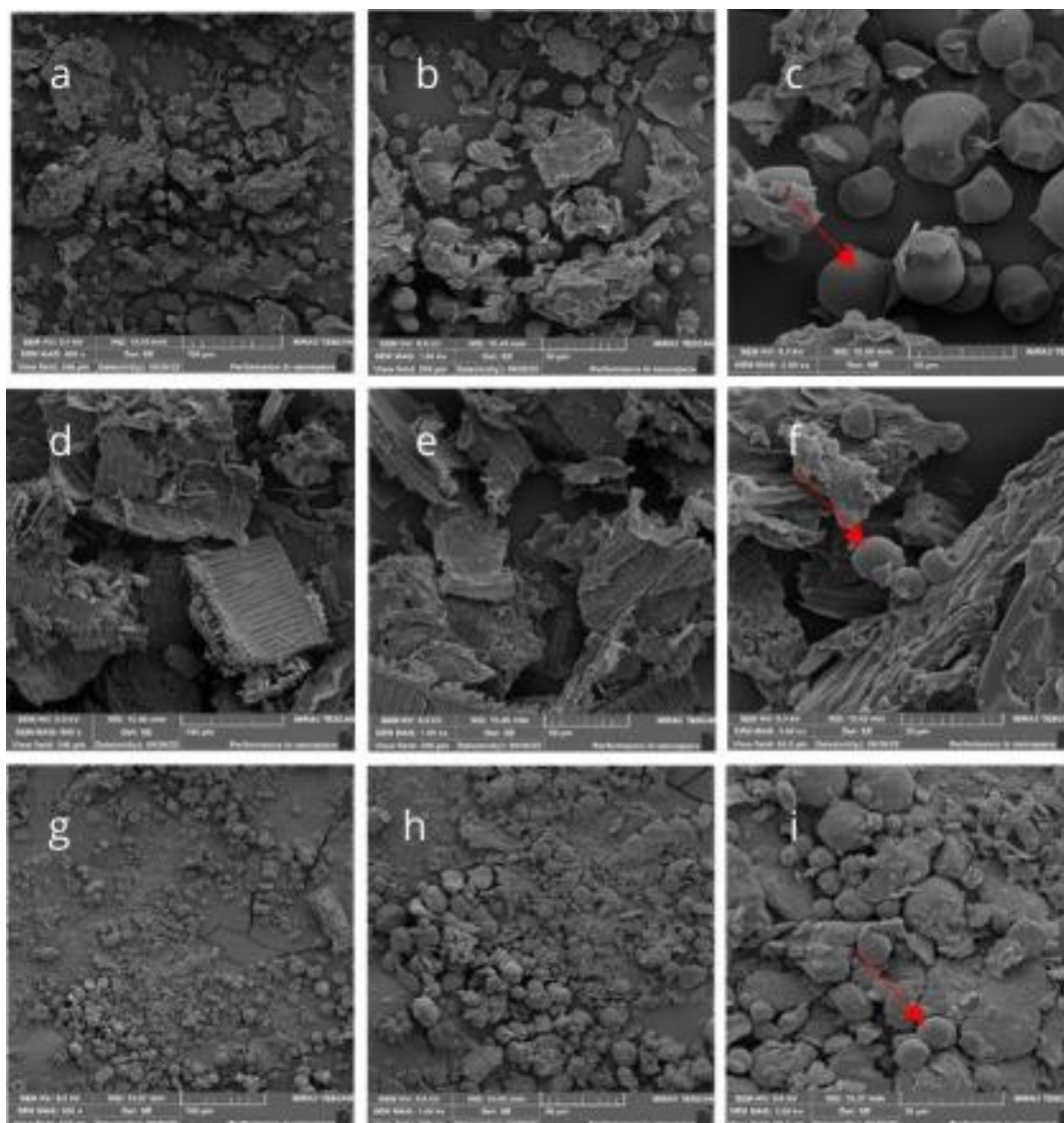
Amidos nativos de tuberosas, como a mandioca, exibem um padrão viscoamilográfico típico, com um aumento da viscosidade até um máximo seguida de uma queda sob agitação e aquecimento (Rocha; Carneiro; Franco, 2010). A viscosidade aumenta inicialmente pelo inchamento dos grânulos, várias vezes seu tamanho original, uma vez que o amido vai absorvendo a água e perde a ordem cristalina. Depois de atingir o pico de viscosidade, a ruptura e fragmentação dos grânulos de amido (*breakdown*) ocasiona a redução na viscosidade. A quebra, resultado da diferença entre a viscosidade máxima e mínima da pasta, possibilita avaliar a estabilidade do amido a altas temperaturas, onde seus grânulos se rompem sob agitação mecânica (Figuerola, 2013).

Na Figura 3 encontram-se as imagens obtidas pelo MEG-FEG, das farinhas de sorgo, subprodutos do palmito pupunha e mandioca. Na farinha de subproduto da mandioca (imagem (a), (b) e (c)) foi observada a presença de grânulos de amido e fibras, com predominância dos grânulos no aumento de 3000x (imagem c). Em estudos similares, foi possível observar o mesmo comportamento para a farinha de subprodutos da mandioca (Ronko *et al.*, 2019). Na imagem b é possível visualizar o perfil da farinha, grânulos de amido na mesma proporção de materiais fibrosos, e na imagem c o formato dos grânulos de amido se apresentam com um formato irregular, indicados pela seta vermelha.

As imagens das micrografias da farinha de subproduto de palmito pupunha ((d), (e) e (f)) descritas, apresentam elementos fibrosos típicos da parte caulinar da planta. Em Bolanho e Danesi (2015), alguns elementos são descritos como resíduos de tecidos de parênquima e esclerênquima. No aumento de 3000x observam-se alguns grânulos de amido isolados de formato irregular, indicado pela seta vermelha, com grande predominância das fibras.

A eletromicrografia da farinha integral de sorgo demonstra a predominância de grânulos de amido nas estruturas visualizadas, com a presença de corpos proteicos localizados entre os grânulos, também verificada na determinação físico-química, demonstrando propriedades para seu uso na panificação de produtos sem glúten. O formato dos grânulos de amido pode ser descrito como ovais e esféricos, de acordo com o descrito por Silva (2019) e Ai *et al.* (2011), e estão destacados na imagem i, pela seta vermelha.

Figura 3: Eletromicrografias de farinha dos subprodutos da mandioca (a) 600x, (b) 1000x e (c) 3000x, do palmito pupunha (d) 600x, (e) 1000x e (f) 3000x e do sorgo (g) 500x, (h) 1000x e (i) 3000x



Fonte: A Autora, 2024

2.5 CONCLUSÃO

As farinhas produzidas com sorgo e subprodutos do palmito pupunha e mandioca apresentaram propriedades nutricionais e tecnológicas que demonstram potencial de aplicação para desenvolvimento de formulações de produtos saudáveis e isentos de glúten. A FS tem como principal componente o amido ($73,44 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$), com teores de fibras e proteínas de $9,42$ e $6,19 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$, respectivamente e se destacou no conteúdo de fósforo. A FP apresentou $49,47 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de fibras, e teores mais elevados de açúcares e potássio, com baixas quantidades de amido. A FM apresentou níveis semelhantes de amido ($40,67 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) e fibras ($47,61 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$), com mais cálcio que as demais farinhas. Quanto aos teores de carotenoides, a FP teve os

maiores valores ($1,39 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e FS a maior atividade antioxidante e de compostos fenólicos de $3,07 \text{ mgTE}\cdot\text{g}^{-1}$ e $136,25 \text{ mgGAE}\cdot 100\text{g}^{-1}$, respectivamente. Quanto às características tecnológicas das farinhas, a FP e FM, que possuem mais fibras, demonstraram maiores valores de IAA e IAO. Com relação ao perfil amilográfico, a farinha de mandioca apresentou maior viscosidade de pico e final do que a farinha de sorgo, devido à diferença botânica entre elas. Foi possível observar pelo MEV-FEG o perfil morfológico das farinhas, evidenciando estruturas de amido e fibras em conformidade com a composição química de cada uma delas.

REFERÊNCIAS

- ABDI, F. *et al.* Nutritional considerations in celiac disease and non-celiac gluten/wheat sensitivity. **Nutrients**, v. 15, n. 6, p. 1475, 2023.
- Ai, Y. *et al.* Starch characterization and ethanol production of sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 7385-7392, 2011.
- ALMEIDA, R. L. J. *et al.* Análise de granulometria e umidade de farinhas de milho flocada comercializadas na cidade de Campina Grande-PB. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 2, p. 185-189, 2017.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 2005. (18th ed). Gaithersburg: AOAC International.
- AWUCHI, C. G.; IGWE, V. S., ECHETA, C. K. The functional properties of foods and flours. **International Journal of Advanced Academic Research**, v. 5, n. 11, p. 139-160, 2019.
- BARBOSA, J. R. *et al.* Avaliação da composição e dos parâmetros tecnológicos de farinhas produzidas a partir de subprodutos agroindustriais. **Revista Tecnológica**. Edição especial V Simpósio de Engenharia. Ciência e Tecnologia de Alimentos, p. 8-21, 2011.
- BENZIE, F. F., STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay, **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70-76, ISSN 0003-2697, 1996.
- BET, C. D. *et al.* Common vetch (*Vicia sativa*) as a new starch source: its thermal, rheological and structural properties after acid hydrolysis. **Food Biophysics**, v. 11, p. 275-282, 2016.
- BIBLE, B. B.; SINGHA, S. Canopy position influences CIELAB coordinates of peach color. **HortScience**, v. 28, n. 10, p. 992-993, 1993.
- BOLANHO, B. C., DANESI, E. D. G., BELEIA, A. Characterization of flours made from peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) by-products as a new food ingredient. **Journal of Food and Nutrition Research**. v.53. p. 51-59. 2014.

BOLANHO, B. C.; DANESI, E. D. G. **Pupunheira e os subprodutos da produção de conservas de palmito: Caracterização da planta e das farinhas produzidas a partir dos subprodutos**. Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 97p. 2015.

BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.E. AND BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **LWT - Food Science and Technology**, n.28, p.25-30. 1995.

BRASIL, **Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa IN nº 75, de 8 de outubro de 2020**. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Diário Oficial da União, Poder Executivo, DF, Brasília, de 9 de outubro de 2020.

CARVALHO, C. W. P. *et al.* Elaboração de Farinhas Instantâneas à Base de Sorgo Integral Cultivar BRS310. Comunicado Técnico 203, **EMBRAPA**, v. 1, n. 1, p. 1–3, 2014.

CHAO, C. *et al.* New Insight into the Effects of Endogenous Protein and Lipids on the Enzymatic Digestion of Starch in Sorghum Flour. **Foods**, v. 13, n. 5, p. 663, 2024.

CHISTÉ, R. C. *et al.* Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca. **LWT - Food Science and Technology**, v. 26, p. 861-864, 2006.

CIACCI, C. *et al.* Celiac disease: In vitro and in vivo safety and palatability of wheat-free sorghum food products. **Clinical Nutrition**, v. 26, n. 6, p. 799-805, 2007.

DANESI, E. D. G. *et al.* Effects of industrial by-products from orange, peach palm and soybean on the quality traits and antioxidant activity of flours: a response surface approach. **International Food Research Journal**, v. 25, n. 3, p. 1219-1227, 2018.

DICKO, M. H. *et al.* Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 5, p. 384-395, 2006.

DINU, M.; ABBATE, R.; GENSINI, G. F.; CASINI, A.; SOFI, F. Vegetarian, vegan diets and multiple health outcomes: a systematic review with meta-analysis of observational studies. **Critical Reviews Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 17, p. 3640-3649, 2017.

EGEA, M. B. *et al.* Incentivo à cadeia produtiva do palmito pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) através do aproveitamento integral da matéria-prima. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.6, n.2, p.781-795, 2012.

FENACELBRA. Sobre a doença celíaca. Disponível em: <https://www.fenacelbra.com.br/dadosestatisticos/> Acesso em: 22 abr. 2024.

FERREIRA, S. M. R. *et al.* Gluten free cookies prepared with sorghum flour. **Archivos Latino americanos de Nutrición**, v. 59, n. 4, p. 433-440, 2009.

FIGUEROA, A. M. **Caracterização físico-química e estudo das propriedades de**

- amido nativo de mandioca, polvilho azedo e amidos modificados.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. 2013.
- FIORDA, F. A. *et al.* Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n.4, p. 408-416, 2013^a.
- FIORDA, F. A. *et al.* Microstructure, texture and color of gluten-free pasta made with amaranth flour, cassava starch and cassava bagasse. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n. 1, p. 132-138, 2013b.
- GOMIDE, R. **Operações Unitárias** - Operações com sistemas sólidos granulares. São Paulo. v.1, p. 187-215. 1983.
- HELM, C. V. *et al.* Palmito pupunha: produtos e subprodutos da agroindústria. **EMBRAPA Florestas**. p. 59-70., 2021.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.
- LACERDA, L. G. *et al.* Thermal, structural and rheological properties of starch from avocado seeds (*Persea americana*, Miller) modified with standard sodium hypochlorite solutions. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115, p. 1893-1899, 2014.
- LANZARINI, D. P. *et al.* Controle de qualidade aplicado a farinha de trigo panificável produzida em moinhos do estado do Paraná. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 16919-16929, 2020.
- MACEDO, A. D. B. *et al.* Cinética de secagem de sementes de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) e avaliação física e química da farinha. **O Empoderamento Científico e seus Aspectos Inovadores**, 1^a Ed., Belo Horizonte, p. 57-66, 2020.
- NAVACCHI, M. F. P. *et al.* Development of cassava cake enriched with its own bran and *Spirulina platensis*. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, n. 4, p. 465-472, 2012.
- NELSON, N. A photometric adaptation of Somogyi method for determination of glucose. **Journal of Biologic Chemistry**, v. 153, n. 2, p. 375-380, 1944.
- NOGUEIRA, M. M. B. *et al.* Composição físico-química de silagem da parte aérea e resíduos do processamento da mandioca. **Revista Conexão na Amazônia**, v. 2, n. 2, p. 142-155, 2021.
- OVANDO-MARTÍNEZ, M. *et al.* Effect of the cooking on physicochemical and starch digestibility properties of two varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different water regimes. **Food Chemistry**, v. 129, n. 2, p. 358-365, 2011.
- PERES, A. P.; WASZCZYNSKYJ, N. Farinha de casca de ovo: determinação do teor de cálcio biodisponível. **Visão Acadêmica**, v. 11, n. 1, 2010.
- QUEIROZ, V. A. V. *et al.* Sorgo: cereal ancestral bem atual: coletânea de receitas sem glúten com sorgo integral. **EMBRAPA**, 2020.

RAO, S. *et al.* Characterization of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Sorghum Grains. **Journal Cereal Science**. v.84, p.103-111, 2018.

ROCHA, A. de S. Caracterização e aproveitamento do farelo residual do processamento de fécula de mandioca na elaboração de biscoitos. **EMBRAPA**, 2005.

ROCHA, T. S.; CARNEIRO, A. P. A.; FRANCO, C. M. L. Effect of enzymatic hydrolysis on some physicochemical properties of different granular starches. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 2, p.544-551, 2010.

RODRIGUES, J. “De farinha, bendito seja Deus, estamos por agora muito bem”: uma história da mandioca em perspectiva atlântica. **Revista Brasileira de História**, v. 37, p. 69-95, 2017.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. *et al.* Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, p. 445-463, 2008.

RONKO, L. Z. *et al.* Amido e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* C.): obtenção e caracterização de diferentes variedades. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 14, n. 1, p. 2962-2982, 2020.

SANTANA, G. S.; OLIVEIRA-FILHO, J. G.; EGEA, M. B. Características tecnológicas de farinhas vegetais comerciais. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 88-95, 2017.

SANTOS, L. N. *et al.* Analysis of the environmental management of cassava starch industries: opportunities for a cleaner production. **RAMA - Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, *in press*, 2024.

SANTOS, L. N.; BOLANHO, B. C.; DANESI, E. D. G. Gestão ambiental e caracterização de resíduos sólidos de agroindústrias de palmito pupunha do estado do Paraná. **Revista Eletrônica e-xacta**, v.19, p.166-187, 2021.

SAVLAK, N. *et al.* Effects of particle size distribution on some physical, chemical and functional properties of unripe banana flour. **Food Chemistry**, v. 213, p. 180-186, 2016.

SHEWAYRGA, H. *et al.* Characterisation of grain quality in diverse sorghum germplasm using a Rapid Visco-Analyzer and near infrared reflectance spectroscopy. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, p. 1402-1410, 2012.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.4714>

SILVA, L. C. M. *et al.* Liquid diffusion during drying of sorghum grains under different conditions. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p. 737-743, 2019.

SINGLETON V. L., ORTHOFER R., LAMUELA-RAVENTÓS R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, v.299, p.152-179, 1999.

SLORACH, P. C. *et al.* Environmental and economic implications of recovering resources from food waste in a circular economy. **Science of the Total Environment**, v.693, p.133-516, 2019.

SOMOGYI, M. A reagent for the copper-iodometric determination of very small amounts of sugar. **Journal of Biological Chemistry**, v. 117, n. 2, p. 771-776, 1937.

SPACKI, K.C., *et al.* Full Exploitation of Peach Palm (*Bactris gasipaes* Kunth): State of the Art and Perspectives, **Plants**, v.11, n.22, p.3175, 2022.

TAYLOR, J. R. N.; SCHOBBER, T. J.; BEAN, S. R. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 3, p. 252–271, 2006.

TORBICA, A; BELOVIĆ, M; TOMIĆ, J. Novel breads of non-wheat flours. **Food Chemistry**, v. 282, p. 134-140, 2019.

SADAKA, S.; ATUNGULU, G. Grain sorghum drying kinetics under isothermal conditions using thermogravimetric analyzer. **Bioresources**, v. 13, n. 1, p. 1534-1547, 2018.

SOUZA, P. G. *et al.* Physicochemical evaluation of peach palm flour (*Bactris gasipaes* Kunth) for food use. **Brazilian Journal of Science**, v.1, n.2, p. 65-74. 2022.

ZHANG, Y. J. *et al.* Antioxidant phytochemicals for the prevention and treatment of chronic diseases. **Molecules**, v. 20, p.21138-21156, 2015.

CAPÍTULO 3

DESENVOLVIMENTO DE MASSA ALIMENTÍCIA ISENTA DE GLÚTEN COM FARINHAS DE SORGO E ARROZ E DE SUBPRODUTOS DE PALMITO PUPUNHA E MANDIOCA

RESUMO

O macarrão faz parte da alimentação da população no mundo todo. No entanto, uma parcela de pessoas, com sensibilidade ao glúten, não pode consumi-lo. A maioria dos produtos isentos de glúten disponíveis são de baixo valor nutricional e elevado custo. O sorgo, cereal livre de glúten, e os subprodutos de palmito pupunha e de mandioca podem ser usados para obtenção de produtos nutritivos, pois aumentam o aporte de nutrientes como fibras, vitaminas e compostos bioativos e não possuem glúten, podendo diminuir o custo das matérias-primas. Sendo assim, buscou-se com este estudo, o desenvolvimento de macarrão isento de glúten com esses componentes, a partir de delineamento experimental 2³. Avaliou-se os efeitos das proporções de farinhas de sorgo (FS = x₂), subprodutos do palmito (FP = x₁) e da mandioca (FM = x₃) nas características físico-químicas e tecnológicas de formulações de macarrão, com base de farinha de arroz. Utilizando a metodologia de superfície de resposta, foram gerados gráficos e equações que mostram os efeitos das variáveis FP, FS e FM nas características das massas. As superfícies de resposta demonstraram que o teor de fibras, compostos fenólicos, antioxidantes e perda de sólidos das formulações, apresentaram aumento significativo com maiores porcentagens das farinhas dos subprodutos utilizados. A análise estatística, indicou que todos os fatores do estudo apresentaram efeito significativo ($p \leq 0,05$), em seus termos lineares, em pelo menos uma das respostas analisadas. As formulações com maiores quantidades de subprodutos acarretaram em teores mais elevados de fibras (24,32 g.100g⁻¹), lipídios (5,32 g.100g⁻¹), cinzas (2,91 g.100g⁻¹), compostos fenólicos (211,56 mgEAG.100g⁻¹) e atividade antioxidante por FRAP (3,42 mgTE.g⁻¹). As massas com FS e FM ficaram mais claras, enquanto aquelas com mais FS apresentaram menor luminosidade, todas com tons de amarelo. Tecnicamente, massas com mais fibras apresentaram menores índices de absorção de água (IA) e dureza, mas maiores perdas de sólidos. Assim, as massas desenvolvidas apresentaram enriquecimento nutricional e características de firmeza satisfatórias, com potencial funcional com matérias-primas de custos mais baixos, mostrando a viabilidade da tecnologia proposta.

Palavras-chave: fibras alimentares, dureza, atividade antioxidante, perda de sólidos.

3.1 INTRODUÇÃO

O macarrão é um dos produtos mais consumidos pela população em geral, e no Brasil, segundo dados da ABIMAPI em 2023 foi comercializado 13,8 bilhões de reais em massas alimentícias industrializadas, 1,2 milhões de toneladas de produto (ABIMAPI, 2023).

Considerando o alto consumo e a importância do macarrão, destaca-se a necessidade de alternativas que atendam a demanda crescente por alimentos para fins especiais, saudáveis, práticos e sustentáveis. Principalmente para portadores de intolerância ao glúten, que precisam de alimentos com seu melhor valor nutricional, mas com características tecnológicas e aceitação sensorial satisfatórios (Schmiele *et al.*, 2013).

Contudo, a substituição do trigo é um grande desafio, devido às propriedades reológicas que proporciona às massas. Assim, a substituição vem sendo estudada, com a utilização de diferentes farinhas que não contenham glúten, mas que possam acarretar propriedades sensoriais e tecnológicas apropriadas para os produtos elaborados.

A farinha de arroz é comumente utilizada como matéria-prima em produtos isentos de glúten, devido ao seu sabor suave, baixo custo, alta digestibilidade e propriedades hipoalergênicas (Rosell, Marco, 2008). A aplicação de farinha de arroz produz macarrão com baixa qualidade tecnológica, nutricional e sensorial, devido ao baixo teor de fibras e à fraca rede desenvolvida pelas proteínas do arroz (Hager *et al.*, 2011).

O sorgo é um cereal originário da África tropical e da Índia, onde é intensivamente produzido e representa até 70% da ingestão calórica diária da população. É uma planta adaptável a diversos ambientes, resistente à seca, altas temperaturas, fungos e micotoxinas. O sorgo é consumido em forma de farinha e grãos, substituindo o arroz. No Brasil, é principalmente utilizado na alimentação animal, mas seu uso para consumo humano é promissor, devido ao seu valor nutricional. A farinha de sorgo vermelho disponível no mercado nacional contém altos níveis de amido, proteínas, fibras, ferro, zinco, vitamina E, antocianinas, ácidos fenólicos, taninos e amido resistente (Dicko *et al.*, 2006; Taylor, Schober, Bean, 2006; Sadaka, Atungulu, 2018).

O palmito da pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunt) destaca-se pela sua precocidade, capacidade de perfilhamento e resistência ao escurecimento enzimático. No entanto, 84% do peso total das hastes colhidas são descartados devido à textura inadequada para conservas, tornando-se um passivo ambiental. Esses resíduos podem ser convertidos em farinhas ricas em fibras, vitaminas e minerais, potencialmente úteis para produtos de panificação (Helm *et al.*, 2014; Danesi *et al.*, 2018). O Brasil é um grande produtor e exportador de palmito em conservas, responsável por 95% do produto mundial

A mandioca é uma planta nativa da América do Sul, e faz parte da alimentação humana, principalmente em países subdesenvolvidos, devido ao valor energético elevado e a capacidade de cultivo em situações adversas (Ribeiro, 2012). No processamento do amido de mandioca, o material fibroso e o amido que não foram extraídos na prensagem, material

conhecido por farelo de mandioca, pode ser utilizado para alimentação humana, apresentando amido e fibras majoritariamente em sua composição (Navacchi *et al.*, 2012; Ronko *et al.*, 2020).

A incorporação de fibras em formulações de macarrão isento de glúten é positiva, pois contribuem para a preservação da microestrutura da massa e retém os grânulos de amido, melhorando suas propriedades tecnológicas (Mercier *et al.*, 2016). O uso de *psyllium* nas massas traz benefícios nutricionais e diversos estudos o usam como um construtor de estrutura que imita a matriz do glúten nos panificados (Ziemichód, Wójcik, Różyło, 2019). Os hidrocoloides são outra alternativa para melhorar a qualidade de massas sem glúten, em especial a goma xantana, que tem a capacidade de modificar a gelatinização do amido (Silva *et al.*, 2013).

Dessa forma, esse estudo visou desenvolver macarrão isento de glúten a base de arroz, *psyllium* e goma xantana, verificando o efeito de diferentes proporções de farinhas de sorgo, subprodutos de palmito pupunha e mandioca na estrutura e valor nutricional dos produtos.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver macarrão *plant-based*, isento de glúten a partir de farinhas de sorgo e de subprodutos do processamento de palmito pupunha e mandioca.

3.2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar diferentes formulações de massas variando as proporções das farinhas utilizando metodologia de superfície de resposta.
- Determinar a composição proximal e avaliar as propriedades tecnológicas das massas.
- Avaliar o teor de carotenoides, compostos fenólicos e atividade antioxidante total das massas.
- Definir a formulação ótima da massa, com base no valor nutricional e nas propriedades tecnológicas.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1 Materiais

O farelo de mandioca, subproduto seco de fecularias, foi doado pela indústria Lorenz (Umuarama/PR) e foi triturado em moinho de facas Willye (SL-031, SOLAB) (Navacchi *et al.*, 2012). Os grãos de sorgo foram doados pela AGR-8 Soluções em Agronegócio de Londrina/PR. No processamento da farinha, foi realizada lavagem e retirada de matérias estranhas, desidratação em estufa de circulação forçada (MA035; Marconi, Piracicaba) à temperatura de 40°C por 24 h e moagem moinho STAR-FT51® (Queiroz *et al.*, 2020). Os subprodutos gerados no processamento de palmito pupunha foram doados pela Frateli (Guaraqueçaba/PR). A parte basal da haste foi picada, lavada e sanitizada, desidratada em estufa de circulação forçada a 40°C por 24 h. Para obtenção da farinha, passou por moagem em moedor STAR-FT51® (Danesi *et al.*, 2018). Outros produtos foram adquiridos em comércio local em Ponta Grossa/PR. Os reagentes foram de pureza garantida pelos fabricantes.

3.3.2 Produção Das Massas

Foram realizados testes preliminares a fim de definir as proporções das matérias-primas, insumos e/ou parâmetros de processo a serem utilizados na elaboração de massas alimentícias.

A base escolhida da massa foi a farinha de arroz (FA), que já é utilizada com frequência. A quantidade de FA e de água foram adaptáveis de acordo com o ensaio, a farinha de arroz foi utilizada para perfazer 100% das farinhas, em conjunto com as farinhas de sorgo, subprodutos de palmito pupunha e mandioca. Outros ingredientes como óleo de soja (3%), sal (1%), goma xantana (1%) e *psyllium* (5%) permaneceram constantes nas formulações. Não foram usados insumos que possam conter glúten e nem de origem animal. Para a produção dos macarrões, foi realizado um planejamento fatorial 2³ com duplicata no ponto central (Tabela 1), variando a proporção das farinhas utilizadas.

Tabela 1: Planejamento experimental valores reais (valores codificados) das quantidades testadas de cada farinha para elaboração de massas alimentícias isentas de glúten

Ensaio	FP (%) x_1	FS (%) x_2	FM (%) x_3	Farinha de Arroz (%)
1	(-1) 5	(-1) 30	(-1) 5	50
2	(+1) 15	(-1) 30	(-1) 5	40
3	(-1) 5	(+1) 60	(-1) 5	20
4	(+1) 15	(+1) 60	(-1) 5	10
5	(-1) 5	(-1) 30	(+1) 15	40
6	(+1) 15	(-1) 30	(+1) 15	30
7	(-1) 5	(+1) 60	(+1) 15	10
8	(+1) 15	(+1) 60	(+1) 15	0
9	(0) 10	(0) 45	(0) 10	25
10	(0) 10	(0) 45	(0) 10	25

FP - Farinha de Subproduto do Palmito; FS - Farinha de Sorgo; FM - Farinha de subproduto de Mandioca
Fonte: A Autora, 2024.

O macarrão foi processado a partir da mistura e homogeneização dos materiais secos em uma batedeira planetária (KitchenAid-K45SS), com a adição da água e mistura até a formação da liga e consistência desejada. Foram processados em máquina de extrusão e modelagem, em formato *fettuccine* em ninhos. As massas foram secas em estufa com circulação de ar a 40°C por 12 h, e armazenadas em sacos plásticos ao abrigo da luz e do ar, como apresentado na Figura 1.

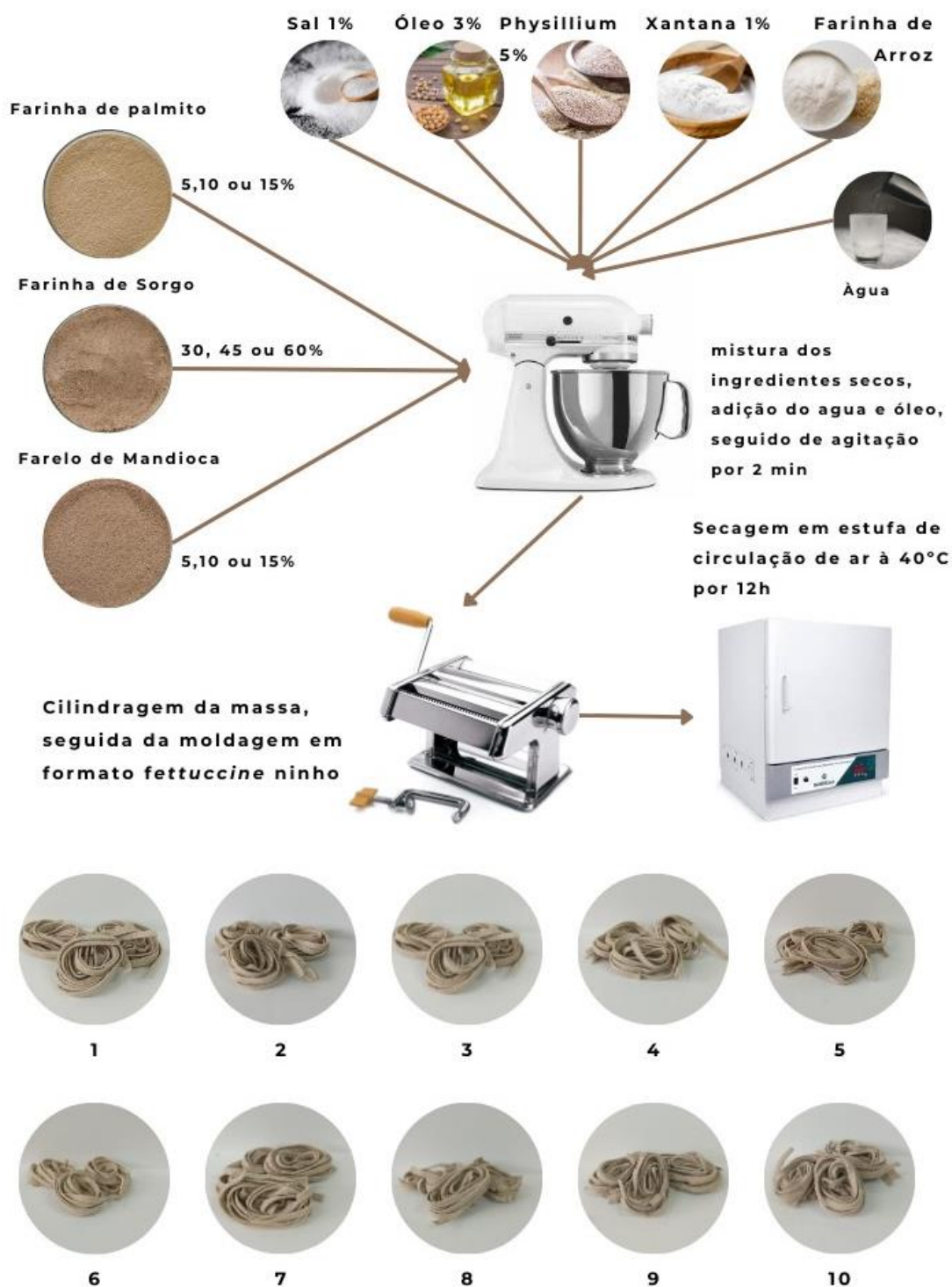
As superfícies de resposta para o planejamento experimental, realizadas com os valores codificados (x_1 , x_2 e x_3), das variáveis independentes (FP, FS e FM) foram avaliadas quanto às características de qualidade físicas e nutricionais das massas.

3.3.3 Composição Proximal

A composição proximal das massas foi determinada por metodologias oficiais propostas pela AOAC (2005), que incluem umidade (método nº 925.09), cinzas (método nº 923.03) e lipídios (método nº 920.85). Para o cálculo do teor de proteínas usou-se 4,38 como fator de conversão (método nº 920,87). Os teores de fibras alimentares foram determinados pelo método enzimático-gravimétrico com o kit da Merk (Sigma-Aldrich, Alemanha) (método

nº 985.29). Os carboidratos foram calculados por diferença dos outros componentes e o valor calórico foi obtido pelo cálculo das quantidades dos componentes por seus respectivos teores calóricos segundo Melo *et al.* (2021).

Figura 1: Fluxograma do processamento de massa alimentícias



Fonte: A Autora, 2023.

3.3.4 Extração e Dosagem de Antioxidantes e Fenóis Totais

3.3.4.1 Extração dos compostos

Para determinação dos compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante foram obtidos extratos a partir de 1 g de amostra com 20 mL de etanol 80%. Essa mistura foi submetida à agitação em banho ultrassom à temperatura ambiente durante 3 h. A seguir foram centrifugadas (CELM, Combate, Barueri, São Paulo) a 1000 xg por 20 min. O sobrenadante foi recolhido em um tubo e ao material foi adicionado 5 mL de etanol. Depois de centrifugar novamente esse material por 20 min, o sobrenadante foi adicionado ao anterior, realizando essa etapa duas vezes, segundo Bolanho, Danesi e Beléia (2014) com modificações.

3.3.4.2 Compostos Fenólicos totais

Os teores de compostos fenólicos foram determinados pelo reagente de Folin-Ciocalteu. Em um tubo de ensaio foi adicionado 0,5 mL do extrato, 2,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu 1N e 1 mL de Na_2CO_3 5%. A leitura foi realizada por espectrofotômetro (UVmini-1240, SHIMADZU) a 725 nm, após 60 min no escuro, enquanto uma curva analítica foi construída com ácido gálico e os resultados expressos em $\text{mgEAG} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (Singleton, Orthofer, Lamuela-Raventos, 1999).

3.3.4.3 Atividade Antioxidante pelo método DPPH

A determinação da atividade antioxidante pelo método do radical DPPH foi feita com uma incubação em solução etanólica de DPPH. Leu-se absorbância a 517 nm em espectrofotômetro (UVmini-1240, SHIMADZU). As amostras foram feitas com 1 mL do extrato e 3 mL de DPPH, o branco foi feito substituindo o extrato por 1 mL de etanol 95% (Brand-Williams, Cuvelier; Berset, 1995). Os resultados foram expressos em $\text{mgTE} \cdot \text{g}^{-1}$, após produção da curva padrão com trolox.

3.3.4.4 Atividade Antioxidante pelo método ABTS

A análise de ABTS (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) foi realizada de acordo com a metodologia de RE *et al.* (1999), onde uma alíquota de 30 μL de extrato foi adicionada em um tubo de ensaio com 3 mL da solução de ABTS. A solução foi preparada a partir de 10 mL de uma solução de estoque de ABTS a 7 Mm e 0,176 mL de uma solução de persulfato

de potássio a 140 Mm. Trolox foi utilizado como antioxidante padrão de cálculo e os resultados apresentados em mgTE.g⁻¹. A leitura foi realizada a 734 nm em espectrofotômetro (UVmini-1240, SHIMADZU).

3.3.4.5 Atividade Antioxidante pelo método FRAP

A determinação da atividade antioxidante pelo método de redução do ferro, conhecido como FRAP, foi iniciado com a preparação das soluções de TPTZ (2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina) a 10 mM, de cloreto férrico (FeCl₃ - 20 mM) e solução tampão acetato a 0,3 M e pH de 3,6, essas soluções são a base do preparo da solução FRAP. Em tubos de ensaio cobertos com papel alumínio foram adicionados 90 µL dos extratos, ou da solução de trolox, ou branco (água destilada), mais 2,7 mL da solução FRAP e 270 µL de água destilada. A leitura foi realizada no comprimento de onda 595 nm e os valores apresentados em mgTE.g⁻¹ (Benzie, Strain, 1996).

3.3.5 Análises Tecnológicas

Os testes de cozimento servem como parâmetros de qualidade tecnológica de massas. Foram realizados testes de absorção de água, tempo de cozimento e perda de sólidos.

3.3.5.1 Tempo de Cozimento

Uma quantidade conhecida de amostra, 10 g, foi colocada em 400 mL de água em ebulição, a cada 30 s retirou-se uma parte da amostra para avaliar o desaparecimento do núcleo branco, quando há total gelatinização do amido, indicando o tempo de cozimento (AACC, 2000).

3.3.5.2 Absorção de água

10 g de amostra foram colocadas em 400 mL de água fervente pelo tempo ótimo de cozimento, então será drenada, a água reservada para uso em outras análises, e pesada. O rendimento do cozimento é calculado a partir da relação entre os pesos iniciais e finais do macarrão (Niu *et al.*, 2014).

3.3.5.3 Perda de sólidos

A partir da água reservada do cozimento, uma alíquota de 10 mL foi levada à estufa em uma placa de petri, já preparada, 105°C até peso constante. A perda de sólidos solúveis foi dada pela porcentagem de sólidos solúveis presentes na água de cozimento e foi calculada como uma porcentagem do material de partida (calculado por base seca).

3.3.6 Análise Colorimétrica

A avaliação da coloração das massas foi realizada com colorímetro digital ((modelo Miniscan EZ, Hunterlab®, EUA), previamente calibrado. Sendo avaliados três parâmetros: L* - luminosidade (L* = 0 - preto e L* = 100 - branco) e a* e b* são coordenadas cromáticas (+a* vermelho e -a* verde; +b* amarelo e -b* azul), a cromaticidade (croma C) e ângulo de tonalidade (°H), foram calculados de acordo com as equações 1 e 2, respectivamente (Bible, Singha, 1997).

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{Equação (1)}$$

$$^{\circ}H = \tan^{-1} \frac{b}{a} \quad \text{Equação (2)}$$

3.3.7 Propriedades Mecânicas

O perfil de textura foi feito utilizando texturômetro (Modelo TA-XTplus, Stable Micro System, UK) equipado com um Probe P36-R, previamente calibrado. As configurações do instrumento foram: modo de compressão com força pré-ajustada, velocidade de teste e pós-teste de 2 mm.s⁻¹ e deformação de 75%. As massas foram cozinhadas pelo tempo ótimo de cozimento, reservadas à temperatura ambiente por um minuto antes de serem analisadas.

Os parâmetros medidos foram: dureza (força máxima positiva), adesividade (área negativa), elasticidade (capacidade da massa de voltar à posição original), coesividade (compressão máxima que uma amostra suporta antes de romper), e mastigabilidade (energia necessária para mastigar um alimento sólido até o estado de deglutição), esses parâmetros foram determinados diretamente pelo sistema do texturômetro (Arribas *et al.*, 2020; El-Sohaimy *et al.*, 2020).

3.3.8 Análise Estatística

Os resultados das análises (triplicatas) foram apresentados com as médias e desvios padrões. Foi realizada análise estatística de variância (ANOVA) seguida do teste de Fisher para identificar as diferenças significativas entre as médias, considerando $p < 0,05$. A análise de superfície de resposta foi realizada no programa *Statistica* 5.0 (Statsoft, USA), a partir de regressão multivariada, considerando efeito significativo dos fatores quando os correspondentes níveis descritivos (p) forem menores que 0,05 ($p < 0,05$).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Coeficientes de Regressão e Análise Estatística

Os coeficientes de regressão e análise de variância para as respostas avaliadas nas amostras formuladas são mostrados na Tabela 2. As variáveis dependentes foram ajustadas a um modelo de primeira ordem. Os valores dos níveis descritivos das regressões apresentaram valores menores ou iguais a 0,5 (regressões referentes às variáveis dependentes Fibras, CF = compostos fenólicos e AA = atividade antioxidante). Adicionalmente, os valores de R^2 das regressões foram de 0,702 - 0,811, indicando que um modelo linear pode representar a relação entre os efeitos e as respostas, como encontrado por Vasconcelos *et al.* (2023), que foi de 0,780.

Tabela 2: Coeficientes de regressão dos modelos, níveis descritivos (p), análise de variância para as massas isentas de glúten elaboradas com farinhas de subprodutos da mandioca (FM) e palmito (FP) e farinha de sorgo (FS)

	Fibras	CF	AA*	PS	Dureza
Intercepto	19,007	10,427	3,324	9,946	45,104
x_1	2,365 (0,017)	1,060 (0,003)	0,263 (0,008)	1,40 (0,104)	0,463 (0,822)
x_2	1,135 (0,168)	0,760 (0,099)	0,121 (0,124)	2,020 (0,032)	4,538 (0,021)
x_3	1,290 (0,125)	0,675 (0,134)	0,186 (0,033)	0,360 (0,640)	2,271 (0,294)
R^2	0,731	0,702	0,811	0,810	0,722
p	0,038	0,05	0,013	0,075	0,147

* x_1 , x_2 e x_3 = correspondem aos valores codificados de FP, FS e FM, respectivamente. CF = compostos fenólicos; AA = Atividade antioxidante por DPPH; PS = perda de sólidos. Números entre parênteses indicam valores de p , resultados em vermelho são significativos ($p < 0,05$)

Fonte: A autora, 2024.

A análise estatística (Tabela 2), indicou que todos os fatores do estudo apresentaram efeito significativo ($p \leq 0,05$), em seus termos lineares, em pelo menos uma das respostas

analisadas. Assim, a variável FP apresentou efeito significativo ($p \leq 0,05$) sobre as respostas Fibras, CF e AA. A variável FS mostrou impacto significativo ($p \leq 0,05$) nas respostas PS e Dureza, e a variável FM apresentou efeito significativo ($p \leq 0,05$) na resposta AA. Também pode observado que todos os coeficientes de regressão correspondentes a estes fatores foram positivos, indicando que o aumento da concentração das farinhas utilizadas neste estudo (FP, FS e FM), acarretou em aumento das variáveis dependentes avaliadas.

3.4.2 Composição Proximal das Massas

Na Tabela 3 a composição proximal (umidade, proteínas, fibras alimentares, lipídios, cinzas, carboidratos totais e valor energético) das massas produzidas pode ser observada.

Tabela 3: Composição proximal das massas secas obtidas nos ensaios realizados

Ensaio	Umidade (g.100g ⁻¹)	Proteínas (g.100g ⁻¹)	Fibras (g.100g ⁻¹)	Lipídios (g.100g ⁻¹)	Cinzas (g.100g ⁻¹)	Carboidrato (g.100g ⁻¹)	Valor Energ. (kcal.100g ⁻¹)
1	10,44 ^{AB} ±0,03	8,05 ^A ±0,01	15,42 ^D ±0,41	3,87 ^B ±0,09	1,91 ^F ±0,01	60,28 ^A ±0,11	310,01 ^A ±1,35
2	10,98 ^A ±0,06	7,44 ^A ±0,09	17,44 ^C ±0,07	4,07 ^B ±0,21	2,46 ^C ±0,01	57,58 ^B ±0,09	296,76 ^B ±2,52
3	10,12 ^{AB} ±0,06	8,10 ^A ±0,16	15,00 ^D ±0,39	4,72 ^B ±0,08	2,14 ^E ±0,03	59,92 ^A ±0,15	314,59 ^A ±1,93
4	10,04 ^B ±0,19	8,29 ^A ±0,02	20,34 ^B ±0,09	5,32 ^A ±0,05	2,69 ^B ±0,01	53,30 ^C ±0,08	294,29 ^B ±1,14
5	10,01 ^B ±0,22	7,46 ^A ±0,09	15,24 ^D ±0,04	3,83 ^C ±0,05	2,32 ^D ±0,01	61,12 ^A ±0,10	308,93 ^A ±2,13
6	11,33 ^A ±0,75	7,18 ^A ±0,35	20,72 ^B ±0,11	4,08 ^B ±0,01	2,66 ^B ±0,02	54,06 ^C ±0,25	281,73 ^C ±2,58
7	10,23 ^{AB} ±0,01	7,22 ^A ±0,05	18,24 ^C ±0,22	4,55 ^B ±0,18	2,35 ^D ±0,04	57,36 ^B ±0,08	299,27 ^B ±0,93
8	10,34 ^{AB} ±0,38	6,94 ^A ±1,02	24,32 ^A ±0,90	5,24 ^A ±0,16	2,91 ^A ±0,01	50,23 ^D ±0,49	275,83 ^D ±4,71
9	10,49 ^{AB} ±0,06	7,98 ^A ±0,17	21,37 ^B ±0,01	5,25 ^A ±0,01	2,71 ^B ±0,01	52,34 ^{CD} ±0,05	288,59 ^C ±0,92
10	10,49 ^{AB} ±0,52	7,99 ^A ±0,06	21,98 ^B ±0,75	5,29 ^A ±0,04	2,78 ^{AB} ±0,02	51,47 ^{CD} ±0,28	285,35 ^C ±1,69

Letras maiúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si ($p > 0,05$). (FP x₁, FS x₂, FM x₃) - 1 (5, 30, 5); 2 (5, 30, 15); 3 (5, 60, 5); 4 (5, 60, 15); 5 (15, 30, 5); 6 (15, 30, 15); 7 (15, 60, 5); 8 (15, 60, 15); 9 (10, 45, 10); 10 (10, 45, 10).

Fonte: A Autora, 2024.

O teor de umidade é um importante parâmetro, pois pode indicar a estabilidade do produto durante o armazenamento. Bolarinwa e Oyesiji (2021), em massas com *mix* de farinhas de arroz, soja e amido de mandioca, obtiveram valores entre 10,02 a 11,34% para umidade.

Os valores de lipídios variaram entre 3,83 - 5,32 g.100g⁻¹, havendo diferença estatística ($p < 0,05$), onde massas com teores mais altos de farinhas de subprodutos apresentaram maiores resultados, devido à composição dessas farinhas. Resultados semelhantes aos encontrados em outros estudos, Ferreira *et al.* (2016) que relataram 4,41 -

4,86 g.100g⁻¹ em massas secas elaboradas com diferentes proporções de farinhas de sorgo, milho, arroz e batata.

O teor de proteínas não teve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras que ficaram entre 6,94 - 8,29 g.100g⁻¹. Os autores Paiva, Queiroz e Garcia (2019) encontraram valores próximos em massas sem glúten produzidas com farinha de milho de 6,22 g.100g⁻¹ e 9,57 g.100g⁻¹ em massas produzidas com milho e sorgo.

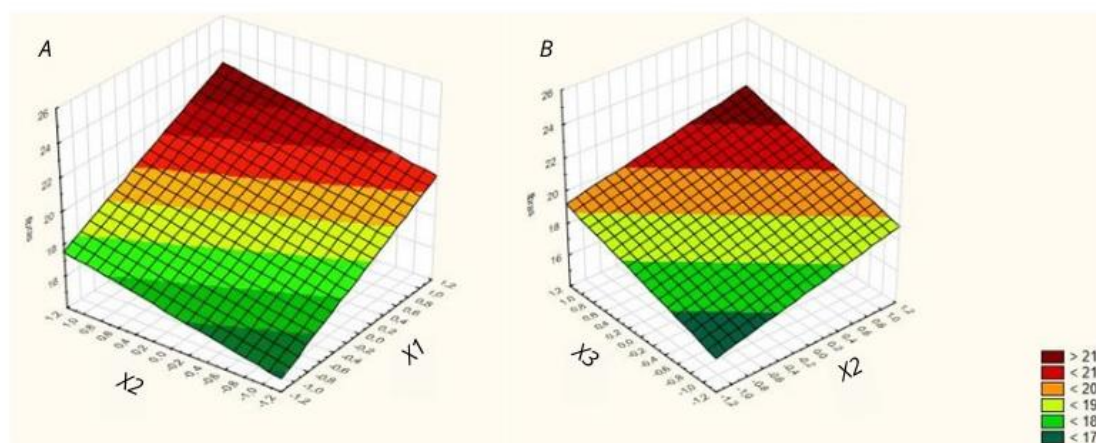
Os níveis de carboidratos e valores energéticos demonstraram correlação positiva com o teor de farinha de arroz, havendo diferença estatística entre as amostras, atribuída aos elevados índices de carboidratos presentes nessa farinha, cerca de 80% (Qin *et al.*, 2021).

A variação nos teores das farinhas proporcionou aumento significativo nas fibras, alcançando o valor máximo com a maior proporção de farinhas de palmito e mandioca em conjunto com a maior proporção de farinha de sorgo (24,32 g.100g⁻¹), ensaio 8. De um modo geral, médias dos teores de fibras nas massas superiores a 20% foram conseguidas com soma da porcentagem das farinhas maiores ou iguais a 60% na formulação, com quantidades maiores ou iguais a 10% de farinha de subproduto de palmito, o que evidencia a maior influência desta variável nos teores de fibras das massas, detectada na regressão multivariada (Tabela 2). Os teores de fibras alimentares obtidos superaram as descobertas de outros estudos, como 1,32 g.100g⁻¹ em massas enriquecidas com farinha de soja (Bolarinwa, Oyesiji, 2021) e 8,20 g.100g⁻¹ em massas compostas por 100% de farinha de sorgo (Paiva, Queiroz, Garcia, 2019). Khatri *et al.* (2023) conseguiram aumentar os níveis de fibras de 7,56 g.100g⁻¹ para 18,0 g.100g⁻¹ mediante a adição de farinha de quinoa.

Na Figura 2, estão apresentados os gráficos de superfície de resposta, o efeito da farinha de palmito (FP) e sorgo (FS) nas fibras com a farinha de mandioca fixa (FM) no ponto central, é mostrado na Figura 2a. Pode ser observado que os maiores valores de fibras (>24 g.100g⁻¹) foram obtidos com teores elevados de FS (+1) e FP (+1). O efeito das FM e FS (FP = fixa) nas fibras é mostrado na Figura 2b. Pode ser visto que os maiores valores de fibras foram obtidos em altas concentrações de FM e FP. Esse comportamento pode ser devido ao alto teor de fibras presentes nas farinhas de palmito de 65,8 g.100g⁻¹ (Danesi *et al.*, 2018). De fato, como se observa na Equação 3, o maior coeficiente da regressão multivariada está associado à variável farinha de subproduto de palmito pupunha.

$$\text{Fibras} = 19,007 + 2,365 x_1 + 1,15 x_2 + 1,29 x_3 \quad \text{Equação (3)}$$

Figura 2: Efeito das farinhas de sorgo (x_2), de subproduto do palmito (x_1) (a) e de mandioca (x_3) e sorgo (x_2) (b) no teor de fibras de massas isentas de glúten



Fonte: A Autora, 2024.

Os teores de cinzas nas massas seguiram o mesmo comportamento das fibras, de modo que fica evidenciado o efeito da farinha de subproduto de palmito nesta variável dependente. Igualmente, o maior valor numérico encontrado para a média de cinzas foi no ensaio 8, onde foram empregadas as maiores proporções das três farinhas (Tabela 3).

3.4.3 Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante das Massas Elaboradas

Os resultados de compostos fenólicos e atividade antioxidante estão apresentados na Tabela 4. Os maiores valores foram obtidos nas massas com maior concentração de farinhas de sorgo, palmito e de mandioca.

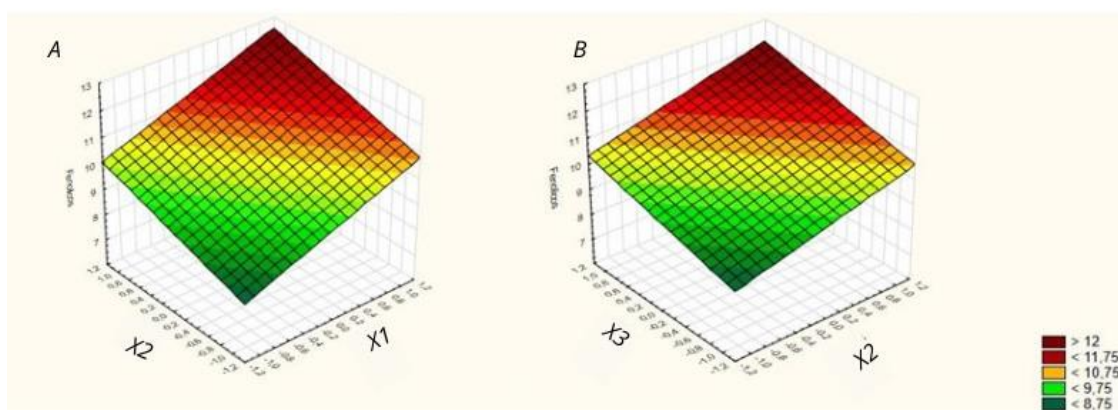
Tabela 4: Compostos fenólicos e atividade antioxidante por DPPH, ABTS e FRAP nas massas elaboradas

Ensaio	Compostos Fenólicos (mgEAG.100g ⁻¹)	AA DPPH (mgET.g ⁻¹)	AA ABTS (mgET.g ⁻¹)	AA FRAP (mgET.g ⁻¹)
1	122,54 ^E ±2,51	0,63 ^E ±0,01	2,18 ^D ±0,19	1,89 ^E ±0,04
2	162,29 ^{CD} ±1,51	0,82 ^{BCD} ±0,02	2,46 ^D ±0,05	2,31 ^{CD} ±0,03
3	157,15 ^D ±0,25	0,80 ^{CD} ±0,03	2,99 ^C ±0,08	2,32 ^{CD} ±0,10
4	198,49 ^{AB} ±4,52	0,85 ^{BCD} ±0,02	3,40 ^A ±0,05	2,50 ^{ABC} ±0,08
5	162,82 ^{CD} ±3,26	0,78 ^D ±0,01	3,01 ^C ±0,15	2,08 ^{DE} ±0,01
6	186,96 ^B ±2,28	0,93 ^A ±0,03	3,32 ^{AB} ±0,05	2,67 ^{AB} ±0,09
7	171,52 ^C ±1,51	0,81 ^{BCD} ±0,03	3,17 ^{BC} ±0,07	2,45 ^{BC} ±0,06
8	211,56 ^A ±1,04	0,94 ^A ±0,01	3,42 ^A ±0,05	2,77 ^A ±0,07
9	205,23 ^A ±3,52	0,88 ^{AB} ±0,03	3,10 ^C ±0,07	2,47 ^{BC} ±0,10
10	206,48 ^A ±2,76	0,87 ^{ABC} ±0,01	3,12 ^C ±0,06	2,52 ^{ABC} ±0,01

Letras maiúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si ($p>0,05$). (FP x_1 , FS x_2 , FM x_3) - 1 (5, 30, 5); 2 (5, 30, 15); 3 (5, 60, 5); 4 (5, 60, 15); 5 (15, 30, 5); 6 (15, 30, 15); 7 (15, 60, 5); 8 (15, 60, 15); 9 (10, 45, 10); 10 (10, 45, 10). Fonte: A Autora, 2024.

A Figura 3a mostra o efeito da farinha de sorgo (FS) e de palmito (FP) no teor de compostos fenólicos totais (CF) de massas isentas de glúten com farinha de mandioca constante (FM = 10%). Pode-se observar que os maiores valores de CF (211,56 mgEAG.100g⁻¹) foram encontrados combinando maiores FS (+1) e FP (+1). Os CF apresentaram alta correlação positiva com o fator FP (coeficiente de regressão correspondente a $x_1 = 1,06$). Esse comportamento pode ser devido ao alto teor de CF do subproduto do palmito, de 2,33 mgEAG.g⁻¹ (Bolanho *et al.* 2014).

Figura 3: Efeito das farinhas de sorgo (x_2), de subproduto do palmito (x_1) (a) e de mandioca (x_3) e sorgo (x_2) (b) no teor de CF de massas isentas de glúten



Fonte: A Autora, 2024.

O mesmo ocorre quando se observa o efeito da FS e FM no teor de CF das massas, na Figura 3b, onde os efeitos foram similares, (coeficientes de regressão correspondentes a $x_2 = 0,76$ e a $x_3 = 0,675$), representados pela Equação 4. A correlação positiva indica que quanto maior a incremento das farinhas, maiores os valores de compostos fenólicos. Os resultados obtidos variaram entre 122 a 211,56 mgEAG.100g⁻¹, valores próximos ao encontrado em massas multigrãos de 178,27 mgEAG.100g⁻¹ (Kamble *et al.*, 2021) e de 181 mg EAG.100g⁻¹ em massas sem glúten com farinha de palma (Castro-Montoya *et al.*, 2024).

$$CF = 10,427 + 1,06 x_1 + 0,76 x_2 + 0,675 x_3 \quad \text{Equação (4)}$$

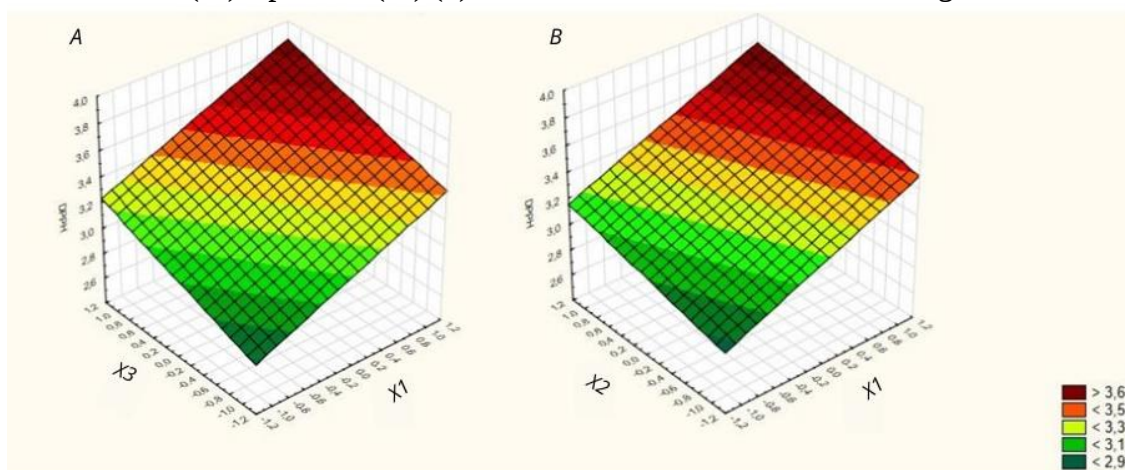
A Atividade antioxidante (AA) foi determinada por 3 metodologias diferentes. As massas com maiores teores das farinhas de mandioca e palmito apresentaram maiores valores de AA, sendo por ABTS os maiores resultados, seguidos por FRAP e DPPH. O mesmo padrão foi observado por Szydłowska-Tutaj *et al.* (2023), em massas fortificadas com cogumelos, com valores entre 0,68 - 0,90 mgTE.g⁻¹ nos extratos alcoólicos por ABTS e 0,04 - 0,43 mgTE.g⁻¹ por DPPH. Em massas com adição de diferentes frações de alfarroba a AA por FRAP

foi mais elevada, de 2,05 a 6,78 mgTE.g⁻¹ do que por ABTS de 0,25 a 1,61 mgTE.g⁻¹ (Sęczyk *et al.*, 2015).

Quanto aos efeitos das farinhas nas massas, a Equação 5 apresenta os coeficientes de regressão dos fatores para a resposta de AA por DPPH. Na Figura 4 os efeitos podem ser visualizados graficamente. Com FP e FM (Figura 4a), que foram dois fatores significativos (Tabela 2), demonstram a correlação positiva com a proporção dessas farinhas. A Figura 4b com o efeito da FP e FS, a farinha de sorgo não apresentou significância para essa resposta ($p>0,05$) mas também apresentou correlação positiva.

$$AA = 3,34 + 0,26 x_1 + 0,121 x_2 + 0,186 x_3 \quad \text{Equação (5)}$$

Figura 4: Efeito das farinhas de mandioca (x_3), de subproduto do palmito (x_1) (a) e de sorgo (x_2) e palmito (x_1) (b) no teor de AA de massas isentas de glúten



Fonte: A Autora, 2024.

3.4.4 Análise Colorimétrica

A cor é um parâmetro fundamental para a aceitação de um produto, como é o caso de massas secas e cozidas. A cor dos alimentos, sem aditivos, depende principalmente da composição dos materiais utilizados na elaboração, como proteínas, fibras alimentares, fenóis, entre outros (Arribas *et al.*, 2020).

Os parâmetros de cor L*, a*, b*, croma e ângulo de matiz (Hue) são elementos fundamentais do espaço de cor CIELAB, utilizados na descrição objetiva das características de cor em alimentos. L* representa a luminosidade, a* e b* indicam as posições ao longo dos eixos vermelho-verde e amarelo-azul, respectivamente. O croma reflete a saturação da cor, enquanto o ângulo de matiz expressa a tonalidade dominante em graus, e são calculados a partir dos parâmetros a* e b* (Pathare; Opala; Al-Said, 2013).

Os resultados colorimétricos estão apresentados na Tabela 5. É possível observar que houve diferença significativa entre algumas amostras ($p>0,05$), as massas com mais farinhas de subprodutos de palmito e mandioca (ensaios 2, 5 e 6) foram as mais claras e as com maiores teores de sorgo (ensaios 3, 7 e 8) apresentaram luminosidade mais baixa.

Tabela 5: Parâmetros de cor L*, a*, b*, croma e ângulo de matiz (Hue) das massas produzidas

Ensaio	L	A	b	Croma	°H
1	74,01 ^{BC} ±1,60	3,72 ^{BC} ±0,17	16,46 ^{AB} ±0,58	16,88 ^{CD} ±0,60	77,26 ^{BC} ±0,27
2	78,66 ^A ±0,37	3,23 ^D ±0,09	18,21 ^A ±0,04	18,49 ^A ±0,04	79,93 ^A ±0,28
3	74,38 ^{BC} ±0,81	4,02 ^{AB} ±0,07	17,07 ^{AB} ±0,04	17,53 ^{BC} ±0,05	76,76 ^{BC} ±0,19
4	75,00 ^B ±0,85	4,12 ^{AB} ±0,11	17,93 ^A ±0,28	17,91 ^{AB} ±0,30	76,87 ^{BC} ±0,18
5	77,93 ^A ±1,06	3,41 ^{CD} ±0,19	17,47 ^A ±0,32	18,07 ^{AB} ±0,35	77,06 ^{AB} ±0,37
6	78,56 ^A ±1,44	3,46 ^{CD} ±0,25	18,39 ^A ±0,54	18,72 ^A ±0,58	79,35 ^A ±0,44
7	74,23 ^{BC} ±0,36	4,22 ^A ±0,04	18,90 ^A ±0,17	18,07 ^{AB} ±0,17	76,87 ^{BC} ±0,06
8	72,74 ^C ±0,28	4,32 ^A ±0,05	17,70 ^B ±0,16	18,22 ^{AB} ±0,17	76,29 ^C ±0,11
9	75,54 ^B ±1,26	4,13 ^{AB} ±0,50	16,19 ^{AB} ±0,43	16,17 ^D ±0,53	75,71 ^C ±1,30
10	75,19 ^B ±0,84	4,04 ^{AB} ±0,42	16,99 ^{AB} ±0,41	16,46 ^D ±0,49	76,64 ^C ±1,07

Letras maiúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si ($p>0,05$). (FP x₁, FS x₂, FM x₃) - 1 (5, 30, 5); 2 (5, 30, 15); 3 (5, 60, 5); 4 (5, 60, 15); 5 (15, 30, 5); 6 (15, 30, 15); 7 (15, 60, 5); 8 (15, 60, 15); 9 (10, 45, 10); 10 (10, 45, 10).

Fonte: A Autora, 2024.

Devido a adição de três farinhas distintas, cada uma influenciou o padrão de cores das massas, a FS aumentou o valor do parâmetro a*, enquanto a FP e FM contribuíram no aumento de tons amarelos na massa e na luminosidade.

Pelo ângulo de matiz (°H) pode-se avaliar a coloração das massas, com valores baixos de croma, que apontam à uma baixa saturação de cor.

Assim como os parâmetros a* e b* podem variar conforme o insumo que é adicionado nas massas, em macarrões com substituição parcial da farinha de trigo por farinha de palma houve uma redução dos parâmetros a* e b* (Rodrigues *et al.*, 2023) e em massas com feijão mungo o valor de a* aumentou em comparação com o controle (Le *et al.*, 2024).

3.4.5 Análises Tecnológicas das Massas

As propriedades tecnológicas das massas alimentícias podem ser determinadas pelos parâmetros de tempo ótimo de cozimento (min), índice de absorção de água (%) e perda de sólidos (%), e podem ser observados na Tabela 6. Elevados tempos de cozimento e perdas de sólidos são indesejáveis, pois tempo de cozimento elevado é uma indicação de maior gasto de

energia para cozinhar, enquanto alta perda de cozimento indica alta solubilidade do amido, resultando em perda de estrutura e rendimento mais baixo (Bolarinwa, Oyesiji, 2021).

Tabela 6: Propriedades tecnológicas das massas alimentícias

Ensaio	Tempo ótimo (min)	Índice de Absorção (%)	Perda de Sólidos (%)
1	5,0 ^C ±0,0	98,43 ^{AB} ±1,09	5,54 ^E ±1,59
2	6,25 ^{BC} ±0,32	111,71 ^A ±1,37	7,77 ^{DE} ±0,46
3	7,0 ^{AB} ±0,11	102,11 ^{AB} ±5,57	9,93 ^{BC} ±0,34
4	7,2 ^{AB} ±0,28	100,13 ^{AB} ±4,50	11,93 ^B ±1,63
5	6,72 ^{AB} ±0,81	105,33 ^{AB} ±2,58	8,10 ^{CDE} ±1,15
6	6,3 ^{ABC} ±1,14	107,09 ^{AB} ±2,50	9,12 ^{BCD} ±0,67
7	6,8 ^{AB} ±0,71	109,51 ^A ±3,64	7,44 ^{DE} ±1,10
8	7,65 ^A ±0,50	93,05 ^B ±1,08	15,39 ^A ±1,83
9	7,15 ^{AB} ±0,21	94,52 ^B ±1,78	11,50 ^B ±1,17
10	7,15 ^{AB} ±0,21	94,01 ^B ±2,64	10,74 ^{BC} ±0,12

Letras maiúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si ($p>0,05$). N (FP x₁, FS x₂, FM x₃) - 1 (5, 30, 5); 2 (5, 30, 15); 3 (5, 60, 5); 4 (5, 60, 15); 5 (15, 30, 5); 6 (15, 30, 15); 7 (15, 60, 5); 8 (15, 60, 15); 9 (10, 45, 10); 10 (10, 45, 10).

Fonte: A Autora, 2024.

O tempo ótimo de cozimento da massa é o necessário para obter uma gelatinização completa do amido (Sissons *et al.*, 2022). Nas massas produzidas, o tempo aumentou com maior incorporação das farinhas de sorgo e subprodutos do palmito e da mandioca. Os resultados ficaram entre 5,0 e 7,65 min, valores abaixo do encontrado por Espinosa-Solis *et al.* (2019), em massas com semolina fortificadas com farinha de aveia e maçã que ficaram entre 7,10 e 8,50 min, sendo menor valor da massa com semolina de trigo. Assim, demonstrase que as massas produzidas com FS, FP e FM, não foram afetadas negativamente no tempo de cozimento.

O ganho de peso ou o índice de absorção de água estão associados ao elevado conteúdo de polissacarídeos não amiláceos na composição. São também influenciados pela estrutura dos grânulos de amido, pela existência de regiões mais amorfas e pela desintegração da matriz proteica durante o processo de cozimento, além das características geométricas da massa alimentícia (Alamprese, Casiraghi, Pagani, 2007; Lucisano *et al.*, 2012). Os resultados das amostras 2 e 7 apresentaram diferença significativa das amostras 8, 9 e 10, variando de 93,05 a 111,09%, valores superiores aos encontrados em massas com diferentes frações de farinha de arroz e sorgo que foram de 70,7 - 75,7% (Marengo *et al.*, 2015). Ao longo da cocção, a absorção de água deve ocorrer de forma que o peso da massa cozida não atinja mais que o

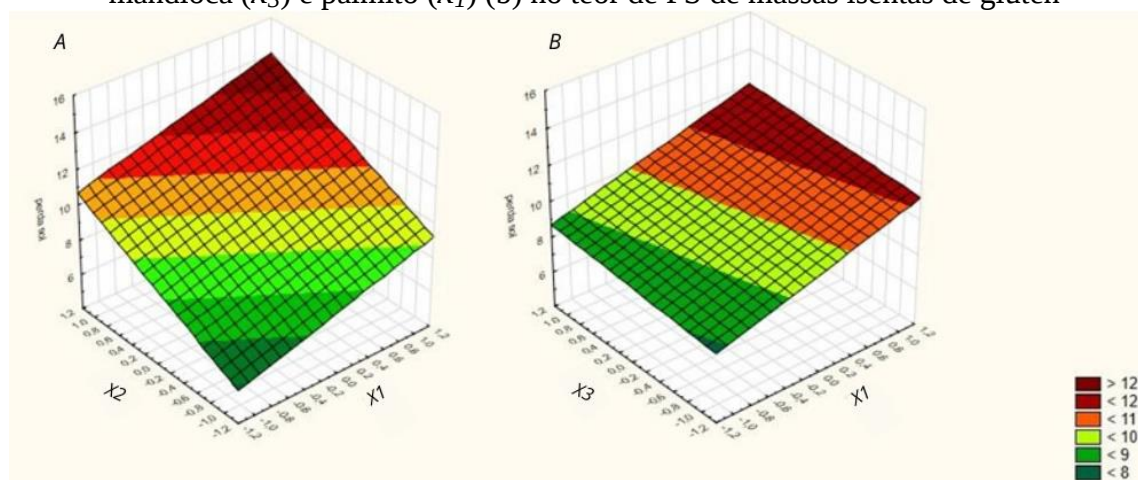
dobro do produto cru, enquanto a perda de sólidos não pode ser superior a 6%, (Brites, Schmiele, Steel, 2018).

A perda de sólidos é determinada pela quantidade de sólidos liberados pela massa na água durante o processo de cozimento (AACC, 2000). Uma perda por cozimento reduzida indica a melhor qualidade da massa, evidenciando a eficácia em reter os grânulos de amido e compostos bioativos durante os estágios de cozimento (Nilusha *et al.*, 2019). Usualmente massas com fibras apresentam perda de sólidos maiores quando comparadas com massas produzidas com trigo (Bianchi *et al.*, 2021). Esse comportamento foi observado, massas com maiores teores de fibras apresentaram maiores perdas de sólidos variando de 5,54 a 15,49%. Comportamento semelhante ocorreu no estudo de Khatri *et al.* (2023) que relataram perdas mais altas em massas fortificadas com farinhas de quinoa e chia (8,72 a 14,34%) do que a massa controle com semolina de trigo (7,34%).

O efeito de FS e FP na perda de sólidos (PS) das massas com FM = 10% é mostrado na Figura 5a. Os maiores valores de PS (> 15,39%) foram atingidos em FP alto (>15%) combinado com FS alto (>60%). Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de que há maior proporção de fibras na FP, que está relacionado à liberação de compostos solúveis de dentro da estrutura da massa. Rodrigues *et al.* (2023) relataram um comportamento semelhante em macarrão com glúten com farinha de palma (5, 10 e 15%), reportando valores de PS de 4,0, 7,6 e 9,1%, respectivamente. A Equação 6, representa os efeitos das farinhas nas massas.

$$PS = 9,96 + 1,40x_1 + 2,02x_2 + 0,36x_3 \quad \text{Equação (6)}$$

Figura 5: Efeito das farinhas de sorgo (x_2) e de subproduto do palmito (x_1) (a) e de mandioca (x_3) e palmito (x_1) (b) no teor de PS de massas isentas de glúten



Fonte: A Autora, 2024.

Por outro lado, o efeito de FP e FM (FS = 45%) na PS dos macarrões é mostrado na Figura 5b. Pode ser observado que os maiores valores de PS foram com FS alta, seja com baixa ou alta FM. De fato, essa constatação é corroborada tanto pelo baixo valor do coeficiente de regressão correspondente a FM (0,36 - Tabela 2 e Equação 4) quanto pelo seu maior nível descritivo na regressão multivariada ($p = 0,640$ - Tabela 2). Assim, a farinha de mandioca (FM) não apresentou grande influência na perda de sólidos, devido suas características de composição.

3.4.6 Propriedades Mecânicas

Pela Tabela 7 observa-se que as massas isentas de glúten elaboradas com farinhas de sorgo, subprodutos de palmito e mandioca mostraram maior dureza à medida que a porcentagem das farinhas aumentaram nas formulações, correspondendo à maior dureza de 52,78 N no ponto central do experimento.

Tabela 7: Propriedades mecânicas das massas alimentícias

Ensaio	Dureza (N)	Adesividade (N.s)	Elasticidade	Coesividade	Mastigabilidade (N)
1	31,75 ^D ± 2,84	-0,452 ^A ± 0,205	0,541 ^A ± 0,149	0,397 ^A ± 0,095	6,66 ^D ± 1,18
2	36,33 ^{CD} ± 3,36	-0,884 ^A ± 0,171	0,738 ^A ± 0,258	0,355 ^A ± 0,93	7,27 ^{CD} ± 3,03
3	46,50 ^{AB} ± 1,78	-1,130 ^A ± 0,268	0,636 ^A ± 0,128	0,332 ^A ± 0,021	9,03 ^{BCD} ± 1,40
4	46,67 ^{AB} ± 3,51	-0,766 ^A ± 0,241	0,507 ^A ± 0,123	0,350 ^A ± 0,075	7,76 ^{BCD} ± 1,85
5	42,75 ^{BC} ± 2,06	-0,941 ^A ± 0,183	0,702 ^A ± 0,065	0,317 ^A ± 0,032	11,07 ^{AB} ± 1,79
6	42,50 ^{BC} ± 5,29	-0,841 ^A ± 0,303	0,642 ^A ± 0,193	0,331 ^A ± 0,012	8,76 ^{BC} ± 3,14
7	48,02 ^{AB} ± 3,08	-1,013 ^A ± 0,224	0,620 ^A ± 0,023	0,317 ^A ± 0,005	8,42 ^{CD} ± 0,55
8	48,68 ^{AB} ± 1,61	0,935 ^A ± 0,266	0,530 ^A ± 0,059	0,333 ^A ± 0,013	8,34 ^{CD} ± 0,262
9	52,78 ^A ± 2,08	-1,010 ^A ± 0,23	0,641 ^A ± 0,030	0,323 ^A ± 0,005	11,01 ^{AB} ± 0,62
10	52,89 ^A ± 1,72	-1,047 ^A ± 0,353	0,623 ^A ± 0,096	0,343 ^A ± 0,027	11,62 ^A ± 1,19

Letras maiúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si ($p > 0,05$). (FP x₁, FS x₂, FM x₃) - 1 (5, 30, 5); 2 (5, 30, 15); 3 (5, 60, 5); 4 (5, 60, 15); 5 (15, 30, 5); 6 (15, 30, 15); 7 (15, 60, 5); 8 (15, 60, 15); 9 (10, 45, 10); 10 (10, 45, 10). N: Newton

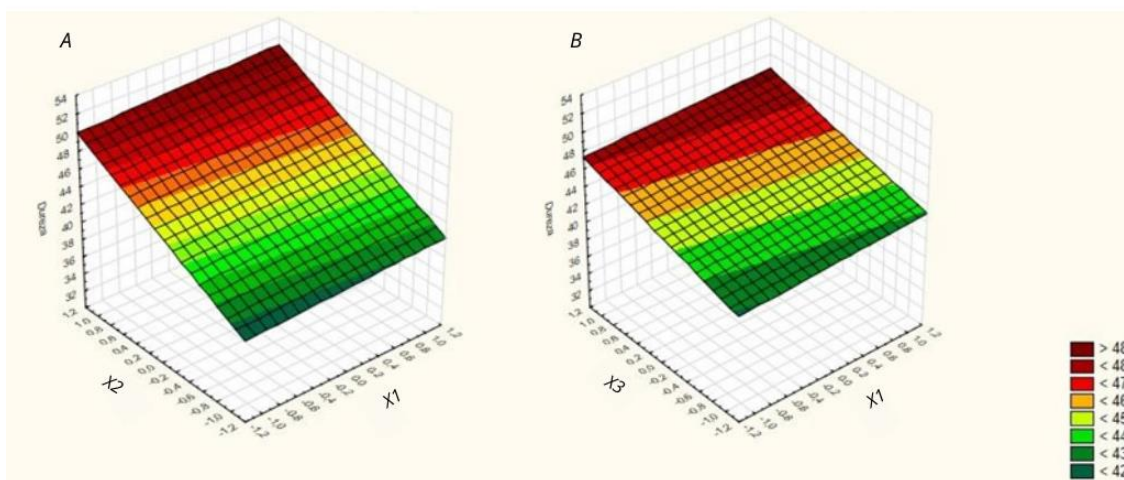
Fonte: A Autora, 2024.

O efeito das farinhas de sorgo e palmito podem ser observados na Figura 6a, com FM fixada no ponto central, onde é possível observar que os maiores valores de dureza foram encontrados em altos teores de FS, independentemente dos teores de FP. Os efeitos de FM com FP podem ser visualizados na Figura 6b, sendo que FM teve correlação positiva com a dureza, mas numa intensidade menor que a FS. A Equação 7 apresenta os coeficientes de regressão dos fatores FP, FS e FM na resposta dureza.

$$\text{Dureza} = 45,10 + 0,437x_1 + 4,454x_2 + 2,27 x_3 \quad \text{Equação (7)}$$

De acordo com os dados da Tabela 7, observa-se diferença significativa de dureza entre as amostras, variando entre 31,75 a 52,89 N, valores próximos dos encontrados em massas com diferentes frações de farinha de arroz e feijão, com valores de 35,28 a 70,36 N, em massas de 100% arroz e 100% feijão, respectivamente e de 31,26 em massa comercial (Arribas *et al.*, 2020).

Figura 6: Efeito das farinhas de sorgo (x_2) e de subproduto do palmito (x_1) (a) e de mandioca (x_3) e palmito (x_1) (b) na dureza de massas isentas de glúten



Fonte: A Autora, 2024.

A elasticidade e adesividade também não apresentaram diferença estatística ($p > 0,05$) entre as amostras. Arribas *et al.* (2020) encontraram valores negativos de até -0,45 N.s para a adesividade, força que mede a resistência da massa com sua superfície de contato. A massa não apresentou bons resultados de elasticidade, ficando abaixo do encontrado em *spaghettis* de trigo (1,10) e com adição de farinhas de maçã e aveia, 1,24 e 1,16 N.s, respectivamente (Espinosa-Solis *et al.*, 2019).

Assim como a mastigabilidade (energia necessária para mastigar um alimento sólido até o estado de deglutição), que apresentou valores de 6,66 a 11,62 N, próximo do valor médio encontrado de 8,74 por Palavecino *et al.* (2017) em massas isentas de glúten com sorgo.

3.5 CONCLUSÃO

Por meio da metodologia de superfície de resposta, foi obtido gráficos e equações que representam os efeitos das variáveis nas características das massas alimentícias elaboradas. A variável FP (x_1) apresentou efeito significativo nas fibras, CF e AA, a variável FS (x_2) na PS

e dureza e a variável FM (x_3) na AA. O conteúdo de proteínas não variou significativamente entre as amostras, atingindo valores de 6,94 a 8,29 g.100g⁻¹, mas as massas com maior quantidade de subprodutos apresentaram maiores teores de fibras (24,32 g.100g⁻¹), lipídios (5,32 g.100g⁻¹), cinzas (2,91 g.100g⁻¹), compostos fenólicos (211,56 mgEAG.100g⁻¹) e atividade antioxidante por FRAP (3,42 mgTE.g⁻¹). Quanto à coloração as massas, com FS e FM foram as mais claras e as que continham maiores teores de FS apresentaram luminosidade mais baixa, e todas se enquadraram no primeiro quadrante, com tons de amarelo. As avaliações tecnológicas demonstraram que as massas com maiores teores de fibras apresentaram menores ganhos de peso e maiores perdas de sólidos e tempo de cozimento. Assim, foi possível determinar que a amostra 8, que não contém farinha de arroz, foi a massa com características mais desejáveis, pois apresentou maior enriquecimento nutricional e teores de compostos bioativos e menores ganhos de peso.

REFERÊNCIAS

AACC International. (2000). Approved methods of analysis AACC Approved methods 10th ed. St. Paul, Minnesota, USA: AACC International, Inc.

ABIMAPI. Estatísticas de Mercado. 2022. Disponível em: <https://www.abimapi.com.br/publicacoes-estatisticas.php> Acesso em: novembro, 2023

ALAMPRESE, C., CASIRAGHI, E., PAGANI, M. Development of gluten-free fresh egg pasta analogues containing buckwheat. **European Food Research and Technology**, v. 225, n.2, p. 205-213, 2007.

ANVISA. RESOLUÇÃO-RDC Nº 93, DE 31 DE OUTUBRO DE 2000. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Massa Alimentícia. 2000.

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. 2005. (18th ed). Gaithersburg: AOAC International.

ARRIBAS, C. *et al.* Cooking Effect on the Bioactive Compounds, Texture, and Color Properties of Cold-Extruded Rice/Bean-Based Pasta Supplemented with Whole Carob Fruit. **Foods**, v. 9, n. 415, 2020.

BENZIE, F. F., STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay, **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70-76, ISSN 0003-2697, 1996.

BIANCHI, F. *et al.* Technological, nutritional and sensory properties of pasta fortified with agro-industrial by-products: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 9, p. 4356-4366, 2021.

BIBLE, B. B.; SINGHA, S. Canopy position influences CIELAB coordinates of peach color. **HortScience**, v. 28, n. 10, p. 992-993, 1993.

BOLANHO, B. C.; DANESI, E. D. G.; BELÉIA, A. P. Characterization of flours made from peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) by-products as a new food ingredient. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 53, n. 1, p. 51–59, 2014.

BOLARINWA, I. F.; OYESIJI, O. O. Gluten free rice-soy pasta: proximate composition, textural properties and sensory attributes. **Heliyon**, v. 7, n. 1, 2021.

BRAND-WILLIAMS. W.; CUVELIER M. E.; BERSET C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v.28, p. 25-30, 1995.

CASTRO-MONTOYA, Y. *et al.* Effect of the extrusion process on phytochemical, antioxidant, and cooking properties of gluten-free pasta made from broken rice and nopal. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**. v. 23, p.1-15, 2024.

DANESI, E. D. G. *et al.* Effects of industrial by-products from orange, peach palm and soybean on the quality traits and antioxidant activity of flours: a response surface approach. **International Food Research Journal**, v. 25, n. 3, p. 1219-1227, 2018.

EL-SOHAIFY, S. A. *et al.* Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. **Annals of Agricultural Science**, v. 66, n. 1, p. 93-93, 2021.

ESPINOSA-SOLIS, V. *et al.* Evaluation of cooking quality, nutritional and texture characteristics of pasta added with oat bran and apple flour. **Foods**, v. 8, n. 8, p. 299, 2019.

FERREIRA, S. M. R. *et al.* Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. **Food Chemistry**, v. 191, p. 147-151, 2016.

GIMÉNEZ, M. A. *et al.* Effect of extrusion conditions on physicochemical and sensorial properties of cornbroad beans (*Vicia faba*) spaghetti type pasta. **Food Chemistry**. v. 136, p. 538–545, 2013.

HAGER, A. *et al.* Influence of the soluble fibres inulin and oat beta-glucan on quality of dough and bread. **European Food Research and Technology**, v.232, 405-413. 2011.

HELM, C. V. *et al.* Palmito pupunha: produtos e subprodutos da agroindústria. **EMBRAPA Florestas**. p. 59-70, 2021.

KAMBLE, D. B. *et al.* Evaluation of structural, chemical and digestibility properties of multigrain pasta. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, p.1014-1026, 2021.

KHATRI, M. *et al.* Optimization and evaluation of quinoa and chia-based gluten free pasta formulation. **Food and Humanity**, v. 1, p. 174-179, 2023.

LE, T. *et al.* Use of different ratios of by-product from mung bean dry-dehulling in pasta making: nutritional quality, textural and cooking attributes, overall acceptability and in-vitro antioxidant release from the pasta. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 58, n. 6, p. 3135-3143, 2023.

LUCISANO, M. *et al.* Characterization of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the cooking behavior. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n3, p. 667-675, 2012.

MARENGO, M. *et al.* Molecular features of fermented and sprouted sorghum flours relate to their suitability as components of enriched gluten-free pasta. **LWT - Food Science and Technology**, v. 63, n.1, p. 511-518, 2015.

MELO, G. B., *et al.* Snack extrusado a base de arroz com *Spirulina platensis* e farinha mista de subprodutos de laranja e palmito pupunha. **Research, Society and Development**. v.10, p.e41310515142, 2021.

MERCIER, S. *et al.* A meta-analysis of enriched pasta: What are the effects of enrichment and process specifications on the quality attributes of pasta? **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, p. 685-704, 2016.

NAVACCHI, M. F. P. *et al.* Development of cassava cake enriched with its own bran and *Spirulina platensis*. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, n. 4, p. 465-472, 2012.

NILUSHA, R. A. T. *et al.* Development of pasta products with nonconventional ingredients and their effect on selected quality characteristics: A brief overview. **International Journal of Food Science**, v. 2019, n. 1, p. 6750726, 2019.

NIU, M. *et al.* Effects of superfine grinding on the quality characteristics of whole-wheat flour and its raw noodle product. **Journal of Cereal Science**, v. 60, p. 382-388. 2014.

OLIVEIRA, I. M. *et al.* Utilização de farinhas alternativas em produtos de panificação: uma revisão literária. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-27, 2020.

PAIVA, C. L., QUEIROZ, V. A. V., GARCIA, M. A. V. T. Technological, sensory and chemical characteristics of gluten-free pasta made from sorghum and corn flours. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. e201809, 2019.

PALAVECINO, P. *et al.* Effect of Ingredients on the Quality of Gluten-Free Sorghum Pasta: Gluten-free sorghum flour pasta. **Journal of Food Science**. v. 82, n. 9, p. 2085-2093, 2017.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 36-60, 2013.

QIN, W. *et al.* Influence of particle size on the properties of rice flour and quality of gluten-free rice bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 151, p. 112236, 2021.

QUEIROZ, V. A. V. *et al.* Sorgo: Cereal ancestral bem atual: coletânea de receitas sem glúten com sorgo integral. Brasília, DF: **EMBRAPA**, 2020.

RE, R. *et al.*, Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**. v. 26, p. 1231-1237, 1999.

- RIBEIRO, M. N. O. *et al.* Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância a diferentes condições ambientais, **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 354-361, 2012.
- RODRIGUES, D. S. *et al.* Partial Substitution of Wheat Flour with Palm Flour in Pasta Preparation. **Applied Sciences**, v. 13, n. 22, p. 12123, 2023.
- RONKO, L. Z. *et al.* Amido e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* C.): obtenção e caracterização de diferentes variedades. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 14, n. 1, p. 2962-2982, 2020.
- ROSELL, C. M.; MARCO, C. **Rice in Gluten Free Cereal Products and Beverages**; Arendt, E.K., Dal Bello, F., Eds.; Academic Press: London, UK, p. 81-100, 2008;
- ROSENTHAL, A. J. Texture profile analysis—how important are the parameters? **Journal of Texture Studies**, v. 41, n. 5, p. 672-684, 2010.
- SCHMIELE, M. *et al.* Massa alimentícia sem glúten com elevado teor proteico obtida por processo convencional. **Ciência Rural**, v. 43, p. 908-914, 2013.
- SĘCZYK, Ł. *et al.* Effect of fortification with parsley (*Petroselinum crispum* Mill.) leaves on the nutraceutical and nutritional quality of wheat pasta. **Food Chemistry**, v. 190, p. 419-428, 2016.
- SILVA, E. *et al.* Controlling rheology and structure of sweet potato starch noodles with high broccoli powder content by hydrocolloids. **Food Hydrocolloids**, v.30, p.42-52, 2013.
- SINGLETON, V. L., ORTHOFER, R., LAMUELA-RAVENTÓS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, v.299, p.152-179, 1999.
- SISSONS, M. *et al.* Influence of some spaghetti processing variables on technological attributes and the in vitro digestion of starch. **Foods** v. 11, n. 3650, 2022.
- SZYDŁOWSKA-TUTAJ, M. *et al.* The Addition of Reishi and Lion's Mane Mushroom Powder to Pasta Influences the Content of Bioactive Compounds and the Antioxidant, Potential Anti-Inflammatory, and Anticancer Properties of Pasta. **Antioxidants**, v. 12, n. 3, p. 738, 2023.
- VASCONCELOS, J. C. B. *et al.* Avaliação do rendimento da extração de pectina da farinha da casca de banana verde tipo cavendish utilizando um planejamento fatorial. In: Temas emergentes na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos. 1ed. Curitiba: **EDITORA CRV**, v. 1, p. 1-158, 2023.
- ZIEMICHÓD A., WÓJCIK M., RÓŻYŁO R. Seeds of *Plantago psyllium* and *Plantago ovata*: Mineral composition, grinding, and use for gluten-free bread as substitutes for hydrocolloids. **Journal of Food Process Engineering**, v.42, e12931, 2019.

CAPÍTULO 4

ENRIQUECIMENTO DE MASSA ALIMENTÍCIA COM *Dunaliella salina*

RESUMO

O macarrão faz parte da alimentação da população no mundo todo. No entanto, uma parcela de pessoas com sensibilidade ao glúten, não pode consumi-los. A maioria dos produtos comerciais são de baixo valor nutricional, elevado valor calórico e de preço elevado. O sorgo e os subprodutos do processamento de palmito pupunha e de mandioca podem representar matérias-primas para desenvolvimento de produtos isentos de glúten, proporcionando enriquecimento, aumentando o aporte de nutrientes como fibras, vitaminas e compostos bioativos a custos mais reduzidos. O emprego de microalgas em alimentos é uma alternativa interessante, pois são consideradas fontes de vários nutrientes e componentes benéficos à saúde, e para sua produção são requeridos menos recursos que fontes convencionais de proteínas. Dentre elas, a *Dunaliella salina* (DS) se destaca como rica em carotenoides. Sendo assim, buscou-se com este estudo, o desenvolvimento de macarrão isento de glúten, com farinhas de sorgo, subprodutos de palmito pupunha e mandioca e adição de DS, em duas concentrações 2% (M2) e 5% (M5) e uma amostra controle sem DS (M0). Nas massas elaboradas e na microalga, determinou-se a composição proximal, cor, teor de compostos fenólicos, antioxidantes e carotenoides. As massas também foram caracterizadas com relação aos perfis tecnológicos e texturais. Em se verificando segurança microbiológica para consumo, foram submetidas à análise sensorial. A DS apresentou 28 g.100g⁻¹ de proteínas, demonstrando elevada capacidade antioxidante, com altos teores de compostos fenólicos. Os carotenoides conferiram à biomassa uma coloração vermelha amarronzada e está presente em altas concentrações (2167 µg.g⁻¹). A incorporação nas massas de *D. salina*, resultou em aumento de proteínas (de 6,94 para 7,61 g.100g⁻¹) e de compostos bioativos, carotenoides e atividade antioxidante. Esse enriquecimento acarretou em aumento do teor de proteínas e dos compostos antioxidantes, além de alterarem positivamente a cor das massas para tons alaranjados, o teor de carotenoides subiu de 3,41 (M0) para 168 (M2) e 266 µg.g⁻¹ (M5). A incorporação da microalga não acarretou em diferença na perda de sólidos e no perfil textural das massas ($p>0,05$), e os antioxidantes por DPPH, mais que dobraram de valor com a incorporação, de 0,28 (M0) para 0,68 mgET.g⁻¹ (M5). Na análise sensorial, as formulações foram bem avaliadas em termos de impressão global, aparência, cor e odor, com médias acima de 6 pontos e sem diferença entre as massas M0 e M2. A *D. salina* não acarretou em diferença significativa na percepção sensorial, comprovando que foi positiva na produção de macarrão com potencial funcional isento de glúten.

Palavras-chave: carotenoides, proteínas, compostos fenólicos, dureza, perda de sólidos, aceitação sensorial.

4.1 INTRODUÇÃO

As massas alimentícias são alimentos básicos em muitos países, principalmente devido à conveniência, palatabilidade, valor nutricional, estabilidade no armazenamento e custo acessível (El-Hameed *et al.*, 2018). Dessa forma, configuram-se num produto interessante para ser fortificado, servindo de aporte de nutrientes importantes para grande parte da população, como vitaminas, minerais e fitoquímicos (Rakhesh; Fellows; Sissons, 2015; Kaur *et al.*, 2017).

Observa-se por parte dos consumidores, crescente demanda por alimentos naturais e estão mais conscientes da relação entre a dieta e saudabilidade (Caporgno, Mathys, 2018). A farinha integral de sorgo, cereal sem glúten, é uma alternativa para as pessoas com intolerância ou alergia ao trigo, pois é um cereal nutritivo, ideal para desenvolvimento de alimentos funcionais (Mariani *et al.*, 2015).

As farinhas provenientes de subprodutos agroindustriais são matérias-primas que apresentam potencial promissor, devido a composição química que podem acarretar em enriquecimento nutricional e caráter funcional aos alimentos que forem incorporadas (Oliveira *et al.*, 2020; Comettant-Rabanal *et al.*, 2021). Agroindústrias estão entre os setores que mais geram subprodutos e descartes, cerca de 50% da matéria-prima utilizada é desperdiçada. Esse fato ocorre devido à falta de informação quanto a esses materiais que, muitas vezes, ainda são ricos em nutrientes e devem ser reaproveitados na produção de outros alimentos (Bachegga, 2020).

Um desses subprodutos que podem ser utilizados, é proveniente do processamento de conservas do palmito pupunha, pois da parte significativa que é descartada por não apresentar textura adequada, é possível obter uma farinha com fibras e nutrientes, além de baixo valor calórico (Helm *et al.*, 2014; Danesi *et al.*, 2018).

O mesmo ocorre na produção do amido de mandioca, onde o material fibroso e o amido que não foram extraídos na prensagem, material conhecido por farelo de mandioca, pode ser utilizado para alimentação humana. Sua composição é de amido e fibras e a proporção varia com a tecnologia adotada no processamento (Navacchi *et al.*, 2012; Ronko *et al.*, 2020).

As microalgas podem incrementar o valor nutricional dos alimentos convencionais e, devido à sua composição química única, têm impacto positivo na saúde humana (El-Baz; Abdo; Hussein, 2017). As microalgas podem variar em termos como cor e conteúdo de nutrientes, em função das espécies e condições de cultivo. As diferentes composições bioquímicas das microalgas podem influenciar os aspectos físicos e sensoriais da biomassa e

de produtos à base de microalgas, como géis alimentares, biscoitos, bolachas e massas (Fradinho *et al.*, 2020). A cor verde e sabor típico das microalgas mais conhecidas, que apresentam elevado aporte de nutrientes, notadamente a *Spirulina* e *Chlorella*, é um obstáculo a sua aplicação em alimentos (Becker, 2007). Lemes *et al.*, (2012) desenvolveram massas frescas com e sem a *S. platensis* (5 e 10% de adição) e verificaram que a amostra controle, sem a microalga, atingiu maiores médias na avaliação sensorial.

Portanto, a investigação do uso da microalga *Dunaliella salina*, rica em carotenoides, apresentando coloração que vai do alaranjado ao marrom, pode ser interessante para aumentar a aceitabilidade. Entre os pigmentos intracelulares da *D. salina*, os principais são os carotenoides e a clorofila (Hosseini *et al.*, 2017). Seu alto conteúdo de ácidos graxos, proteínas e pigmentos torna essa microalga uma opção atraente para as indústrias de alimentos e rações (Morowvat; Ghasemi, 2016; Khadim *et al.* 2018).

Os carotenoides são um grupo de pigmentos naturais conhecidos por seus inúmeros benefícios à saúde, atuando como antioxidantes e provitamina A (Stahl; Sies, 2003). Dietas ricas em carotenoides podem melhorar a saúde humana e reduzir o risco de doenças relacionadas ao envelhecimento, como certos cânceres, doenças cardiovasculares, problemas ósseos, de pele e de visão. Também são benéficas para a saúde mental e metabólica, especialmente durante a gravidez e a infância. Como são essenciais no combate à deficiência de vitamina A, são importantes particularmente em áreas com baixo consumo de alimentos de origem animal (Meléndez-Martínez *et al.*, 2022).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da adição de *D. salina* em massas alimentícias, quanto às características nutricionais, tecnológicas e potencial funcional.

4.2 OBJETIVOS

4.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver massa alimentícia *plant-based*, isenta de glúten a partir de farinhas de sorgo e de subprodutos do processamento de palmito pupunha e mandioca com *Dunaliella salina*.

4.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a composição nutricional da biomassa de *D. salina*.
- Incorporar em formulações de massas, diferentes proporções de *D. salina*.

- Realizar análises da composição nutricional e avaliar as propriedades tecnológicas das massas.
- Aferir os níveis de carotenoides, compostos fenólicos e a atividade antioxidante total das massas.
- Identificar a formulação ideal da massa com base em critérios nutricionais e propriedades tecnológicas.
- Realizar a análise microbiológica e sensorial das massas alimentícias.

4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

4.3.1 Materiais

O farelo de mandioca foi doado pela indústria Lorenz (Umuarama/PR) e foi triturado em moinho de facas Willye (SL-031, SOLAB) (Navacchi *et al.*, 2012). Os grãos de sorgo foram obtidos por doação da AGR-8 Soluções em Agronegócio de Londrina/PR. No processamento da farinha, foi realizada lavagem e retirada de matérias estranhas, desidratação em estufa de circulação forçada (MA035; Marconi, Piracicaba) à temperatura de 40°C por 24 h e moagem em moinho STAR-FT51® (Queiroz *et al.*, 2020). Os subprodutos de palmito pupunha foram doados pela Fratelli (Guaraqueçaba/PR). A parte basal da haste, que apresenta textura imprópria para processamento em conservas, foi picada, lavada e sanitizada, desidratada em estufa de circulação forçada a 40°C por 24 h. Para obtenção da farinha, passou por moagem em moedor STAR-FT51® (Danesi *et al.*, 2018). A biomassa em pó da *Dunaliella salina* foi adquirida da empresa *Alfa Chemistry*, com padrões de qualidade dentro das especificações fornecidas. Outros produtos foram adquiridos em comércio local em Ponta Grossa/PR. Os reagentes foram de purezas comprovadas pelos fabricantes.

4.3.2 Produção das Massas

Foram conduzidos experimentos iniciais para determinar as proporções ideais das matérias-primas, insumos e/ou parâmetros de processo a serem empregados na produção de massas alimentícias. O Fluxograma de processamento está apresentado na Figura 1.

Assim, como é possível verificar na Figura 1, a farinha de sorgo foi utilizada como base (60%), com adição das farinhas de subprodutos de mandioca e palmito pupunha (15%), outros produtos como a *psyllium* (5%), óleo de soja (3%), goma xantana (1%) e sal (1%) foram utilizados para dar consistência e sabor às massas. Enquanto a *D. salina* foi incorporada em duas proporções, 2 e 5%, também foi produzida uma massa controle, sem adição da microalga.

Figura 1: Fluxograma do processamento de massa alimentícias



MO = massa sem *D. salina*; M2 = massa com 2% de *D. salina* e M5 = massa com 5% de *D. salina*
 Fonte: A Autora, 2024.

O macarrão foi preparado homogeneizando os ingredientes secos em uma batedeira planetária (modelo KitchenAid-K45SS), seguido pela adição de água e mistura até alcançar a consistência ideal. A massa foi processada em uma máquina de extrusão e modelagem, moldando-a no formato de *fettuccine* em ninhos. Posteriormente, as massas foram secas em uma estufa com circulação de ar a 40°C por 12 h e armazenadas em sacos plásticos protegidos da luz e do ar

4.3.3 Composição Proximal

A composição proximal das massas foi determinada por metodologias oficiais propostas pela AOAC (2005), que incluem umidade (método nº 925.09), cinzas (método nº 923.03) e lipídios (método nº 920.85). O cálculo do teor de proteínas usou 6,25 como fator de conversão (método nº 920,87). Os teores de fibras alimentares foram determinados pelo método enzimático-gravimétrico com o kit da Merk (Sigma-Aldrich, Alemanha) (método nº 985.29). Os carboidratos foram calculados por diferença dos outros componentes e o valor calórico foi obtido pelo cálculo das quantidades dos componentes por seus respectivos teores calóricos segundo Melo *et al.* (2021).

4.3.4 Extração e Análise de Antioxidantes e Fenóis Totais

4.3.4.1 Extração dos compostos

Para determinação dos compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante foram obtidos extratos a partir de 1 g de amostra com 20 mL de etanol 80%. Essa mistura foi submetida à agitação em banho ultrassom à temperatura ambiente durante 3 h. A seguir foram centrifugadas (CELM, Combate, Barueri, São Paulo) a 1000 xg por 20 min. O sobrenadante foi recolhido em um tubo e ao material foi adicionado 5 mL de etanol. Depois de centrifugar novamente esse material por 20 min, o sobrenadante foi adicionado ao anterior, realizando essa etapa duas vezes. O mesmo procedimento foi realizado tendo como solvente a água pura, para análise de compostos fenólicos, segundo Bolanho, Danesi e Beléia (2014) com modificações.

4.3.4.2 Compostos Fenólicos totais

Os teores de compostos fenólicos foram determinados pelo reagente de Folin-Ciocalteu. Em um tubo de ensaio foi adicionado 0,5 mL do extrato, 2,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu 1N e 1 mL de Na₂CO₃ 5%. A leitura foi realizada por espectrofotômetro (UVmini-1240, SHIMADZU) a 725 nm, após 60 min no escuro, enquanto uma curva analítica foi construída com ácido gálico e os resultados expressos em mgEAG.100g⁻¹ (Singleton, Orthofer, Lamuela-Raventos, 1999).

4.3.4.3 Atividade Antioxidante pelo método DPPH

A determinação da atividade antioxidante pelo método do radical DPPH foi feita com uma incubação em solução etanólica de DPPH. Leu-se absorbância a 517 nm em espectrofotômetro (UVmini-1240, SHIMADZU). As amostras foram feitas com 1 mL do extrato e 3 mL de DPPH, o branco foi feito substituindo o extrato por 1 mL de etanol 95% (Brand-Williams, Cuvelier; Berset, 1995). Os resultados foram expressos em mgTE.g⁻¹, após produção da curva padrão com Trolox.

4.3.4.4 Atividade Antioxidante pelo método FRAP

A determinação da atividade antioxidante pelo método de redução do ferro, conhecido como FRAP, foi iniciado com a preparação das soluções de TPTZ (2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina) a 10 mM, de cloreto férrico (FeCl₃ - 20 mM) e solução tampão acetato a 0,3 M e pH de 3,6, essas soluções são a base do preparo da solução FRAP. Em tubos de ensaio cobertos com papel alumínio foram adicionados 90 µL dos extratos, ou da solução de Trolox (padrão 160 - 1600 µmol.L⁻¹), ou branco (água destilada), mais 2,7 mL da solução FRAP e 270 µL de água destilada. A leitura foi realizada no comprimento de onda 595 nm (Benzie e Strain, 1996).

4.3.5 Carotenoides Totais

Os carotenoides totais da biomassa de *D. salina* e das amostras secas e cozidas de massas elaboradas, foram quantificados a partir da extração com acetona resfriada e maceração com celite por 5 min, seguido de filtração em papel filtro a vácuo. Então o líquido filtrado deve ser adicionado à um funil de separação com 10 mL de éter de petróleo, sendo realizado 3 lavagens com 10 mL de água destilada e recuperado em um balão de 10 mL a fase superior do funil, conforme descrito por Rodriguez-Amaya *et al.* (2008).

4.3.6 Análise Colorimétrica

A avaliação da coloração das massas foi realizada com colorímetro digital (Miniscan EZ, Hunterlab®, EUA), previamente calibrado, assim como a água do cozimento, que foi homogeneizada em um colorímetro digital para líquidos (Konica Minotta, CM-5, Japão). Sendo avaliados três parâmetros: L* - luminosidade (L* = 0 - preto e L* = 100 - branco) e a*

e b^* são coordenadas cromáticas ($+a^*$ vermelho e $-a^*$ verde; $+b^*$ amarelo e $-b^*$ azul) (Bible, Singha, 1997).

4.3.7 Análises Tecnológicas

Os testes de cozimento servem como parâmetros de qualidade tecnológica de massas. Foram realizados testes de absorção de água, tempo de cozimento e perda de sólidos.

4.3.7.1 Tempo de Cozimento

Uma quantidade conhecida de amostra, 10 g, foi colocada em 400 mL de água em ebulição, a cada 30 s retira-se uma parte da amostra para avaliar o desaparecimento do núcleo branco, quando há total gelatinização do amido, indicando o tempo de cozimento (AACC, 2000).

4.3.7.2 Absorção de água

10 g de amostra foram colocadas em 400 mL de água fervente pelo tempo ótimo de cozimento, então foi drenada, a água reservada para uso em outras análises, e pesada. O rendimento do cozimento foi calculado a partir da relação entre os pesos iniciais e finais do macarrão (Niu *et al.*, 2014).

4.3.7.3 Perda de sólidos

A partir da água reservada do cozimento, uma alíquota de 10 mL foi levada à estufa em uma placa de petri, já preparada, 105°C até peso constante. A perda de sólidos solúveis foi dada pela porcentagem de sólidos solúveis presentes na água de cozimento e calculada como uma porcentagem do material de partida (calculado por base seca).

4.3.8 Propriedades Mecânicas

O perfil de textura foi feito utilizando o texturômetro (Modelo TA-XTplus, Stable Micro System, UK) equipado com um Probe P36-R, previamente calibrado. As configurações do instrumento foram: modo de compressão com força pré-ajustada, velocidade de teste e pós-teste de 2 mm.s⁻¹ e deformação de 75%, a força aplicada foi de 5 g por 5 s. As massas foram cozinhadas pelo tempo ótimo de cozimento, reservadas à temperatura ambiente por 1 min, antes de serem analisadas.

Os parâmetros medidos foram: dureza (força máxima positiva), adesividade (área negativa), elasticidade (capacidade da massa de voltar à posição original), coesividade (compressão máxima que uma amostra suporta antes de romper), gomosidade (relação entre coesividade e dureza), mastigabilidade (energia necessária para mastigar um alimento sólido até o estado de deglutição), esses parâmetros foram determinadas diretamente pelo sistema do texturômetro (Arribas *et al.*, 2020; El-Sohaimy *et al.*, 2020).

4.3.9 Avaliação Microbiológica das Massas

As análises microbiológicas foram realizadas de acordo com a IN nº 161 de 1º de julho de 2022, que lista os padrões microbiológicos da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Para *Salmonella* sp. a avaliação foi realizada seguindo o método da *Bacteriological Analytical Manual da Food and Drug Administration* (BAM/FDA) de 2016. Para *Bacillus cereus* presuntivo foi utilizado o método de plaqueamento APHA 31.61.2015. O método NMP APHA 9.2015 foi realizado para determinação de *Escherichia coli*.

4.3.10 Análise Sensorial

O painel de julgadores para o teste foi composto por indivíduos não treinados, na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), selecionados em razão da disponibilidade e do interesse na participação mediante a assinatura no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) aprovado pelo Comitê de Ética da UEPG (CAAE: 56533322.7.0000.0105). A análise sensorial contou com 66 avaliadores e foi realizada com a entrega de duas amostras codificadas contendo o macarrão M0 e M2 servido com molho de tomate comercial (Pomarola sabor tradicional).

Os dados foram coletados em forma de questionário via *Google Docs*. Foram realizadas perguntas avaliando o perfil de consumo do avaliador, avaliação de atributos e impressão global por escala hedônica de 9 pontos. Além disso, foi feita uma avaliação de todos os atributos percebidos nas amostras. Nessa abordagem, o foco residiu na mensuração e quantificação de opiniões e informações, convertendo-as em dados numéricos para posterior classificação e análise estatística (Meilgaard, Civille, Carr, 2006).

4.3.11 Análise Estatística

Os resultados das análises (triplicatas) foram apresentados com as médias e desvios padrões. Foi realizada análise estatística de variância (ANOVA) seguida do teste de Fisher para identificar as diferenças significativas entre as médias, considerando $p < 0,05$.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Composição Proximal da *D. Salina* e das Massas

Os resultados da composição proximal estão apresentados na Tabela 1. A *D. salina* (DS) apresentou uma baixa umidade de $4,13 \text{ g.100g}^{-1}$, dentro dos padrões do fabricante ($<8,0\%$) e do encontrado em outros estudos (El-Baz, Abdo e Hussein, 2017; Konar *et al.*, 2023). Entre as massas não houve diferença significativa de umidade ($p > 0,05$) e atendem à classificação de massas secas da RDC nº93 da Anvisa (Brasil, 2000).

Tabela 1: Composição proximal da biomassa de *D. salina* e das massas secas elaboradas com sorgo e subprodutos de palmito pupunha, mandioca e *D. salina*

	Umidade (g.100g ⁻¹)	Proteínas (g.100g ⁻¹)	Fibras (g.100g ⁻¹)	Lipídios (g.100g ⁻¹)	Cinzas (g.100g ⁻¹)	Carb. (g.100g ⁻¹)	Valor Energ. (kcal.100g ⁻¹)
DS	$4,13^B \pm 0,48$	$28,86^A \pm 0,44$	-	$3,86^B \pm 0,03$	$5,02^A \pm 0,16$	58,13	382,7
MO	$7,52^A \pm 0,68$	$6,94^C \pm 1,02$	$24,32^A \pm 0,90$	$5,24^A \pm 0,16$	$2,91^B \pm 0,01$	53,62	335,84
M2	$7,15^A \pm 0,38$	$7,19^{BC} \pm 0,39$	$23,05^A \pm 1,06$	$5,39^A \pm 0,17$	$2,79^B \pm 0,11$	54,43	341,09
M5	$7,40^A \pm 0,41$	$7,61^B \pm 0,27$	$22,71^A \pm 0,22$	$5,71^A \pm 0,26$	$2,77^B \pm 0,11$	53,8	342,45

Letras maiúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística ($p > 0,05$) entre si. M0 = sem *D. salina*; M2 = com 2% de *D. salina*; M5 = com 5% de *D. salina*; DS = *D. salina*.

Fonte: A Autora, 2024.

Embora as proteínas tenham menor valor econômico em comparação com alguns compostos bioativos produzidos pelas microalgas, representam grandes frações nas biomassas secas. O conteúdo total de proteínas varia conforme a espécie e condições de cultivo, e as microalgas estão entre as principais fontes (González-Lopez *et al.*, 2013). Lemes *et al.* (2012) em cultivos de *S. platensis* em diferentes fontes de nitrogênio, verificaram que a ureia, notadamente mais barata que KNO_3 , influenciou de forma positiva o teor proteico da biomassa obtida em cultivos descontínuos alimentados.

Cabe destacar a crescente demanda por proteínas não convencionais e com elevado valor biológico, aumentando a relevância dessas biomassas. Ademais, são fontes proteicas consideradas mais sustentáveis que as proteínas animais, devido às condições de cultivo

(Konar *et al.*, 2023). As proteínas da *D. salina* utilizadas nesse trabalho, atingiu 28,86 g.100g⁻¹, outros autores relatam valores de 19,1 - 38,3 g.100g⁻¹ de proteínas (Colusse *et al.*, 2020).

O conteúdo proteico da biomassa (28,86 g.100g⁻¹), incrementou de forma significativa o valor nutricional das massas, com adição de 5% (M5), em comparação com a massa sem microalga (M0). Fradinho *et al.* (2020) encontraram o mesmo efeito em massas sem glúten e adição de *A. platensis*, com aumento de 3,9 para 8,9 g.100g⁻¹. Enquanto as massas de El-Baz, Abdo e Hussein (2017) que foram suplementadas com 1, 2 e 3% de biomassa de *D. salina* não houve diferença para a massa controle (13,0 - 13,60 g.100g⁻¹). Em massas sem glúten, a adição de proteínas afeta positivamente a estrutura, textura, propriedades sensoriais e o valor nutricional, em particular, reduzindo o déficit de aminoácidos (Padalino; Conte; Del Nobile, 2016). Na *D. salina* os aminoácidos aspartato, glutamato, glicina e alanina representam juntos 60% do total de aminoácidos, e 25% corresponderam aos aminoácidos essenciais (Tamman; Fakhry; El-Sheekh, 2011).

O teor de lipídios para a DS foi próximo ao encontrado por Molino *et al.* (2018) que foi de 3,49 g.100g⁻¹ e por El-Baz, Abdo e Hussein (2017) de 3,0 g.100g⁻¹. Grandes quantidades de ácidos graxos são encontradas em *D. salina*, sendo cerca de 50% deles mono ou poli-insaturados, principalmente ácido palmítico (C16: 0), alfa-linolênico (C18: 3) e oleico (C18: 1). O ácido alfa-linolênico é um dos ácidos graxos ômega-3 mais conhecidos, associado a benefícios no desenvolvimento cerebral e na prevenção de doenças cardiovasculares (Cakmak; Kaya; Asan-Ozusaglam, 2014). Entre as massas não houve diferença significativa, apresentando valores entre 5,24 a 5,71 g.100g⁻¹, resultados superiores ao encontrado em uma massa com *Arthospira platensis* (*Spirulina*) que foi de 3,57 a 4,59 g.100g⁻¹ (García-Moncayo *et al.*, 2023).

As fibras dietéticas têm sido investigadas por seus benefícios à saúde, especialmente pela capacidade de prevenir uma ampla gama de distúrbios e tem tido consumo diminuído na dieta da maioria da população (Anderson *et al.*, 2009). A DS apresenta um baixo valor, quando comparado com outras microalgas (Molino *et al.*, 2018). Assim, não alterou significativamente ($p > 0,05$) o resultado nas massas (22,71 - 24,32 g.100g⁻¹). Mas são resultados superiores aos encontrados por El-Baz *et al.* (2017) que obtiveram de 0,4 a 0,63 g.100g⁻¹ de fibras em massas de lasanha com diferentes proporções de *S. obliquus*.

4.4.2 Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante da *D. Salina* e das Massas

Os resultados dos compostos fenólicos e atividade antioxidante estão na Tabela 2. Os fenólicos representam um amplo grupo de compostos químicos derivados do metabolismo secundário, que oferecem vantagens significativas quando consumidos. Tais compostos contribuem na prevenção de vários problemas de saúde, devido à sua atividade de captura de radicais livres (Kaurinovic; Vastag, 2019).

Tabela 2: Teores de compostos fenólicos e atividade antioxidante por DPPH e FRAP na *D. salina* e nas massas elaboradas com subprodutos de palmito pupunha e mandioca

	Compostos Fenólicos EAQ (mgEAG.100g ⁻¹)	Compostos Fenólicos EAL (mgEAG.100g ⁻¹)	AA DPPH (mgET.g ⁻¹)	AA FRAP (mgET.g ⁻¹)
M0	43,81 ^C ± 2,08	237,88 ^B ± 5,84	0,28 ^C ± 0,00	2,55 ^B ± 0,06
M2	52,50 ^{BC} ± 1,06	169,28 ^C ± 3,14	0,68 ^B ± 0,01	2,86 ^B ± 0,05
M5	58,22 ^B ± 1,35	157,31 ^C ± 7,39	0,66 ^B ± 0,02	3,01 ^B ± 0,31
DS	1783,05 ^A ± 92,22	347,35 ^A ± 8,00	1,26 ^A ± 0,06	12,68 ^A ± 0,58

Letras maiúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística ($p > 0,05$) entre si. M0 = sem *D. salina*; M2 = com 2% de *D. salina*; M5 = com 5% de *D. salina*; DS = *D. salina*. EAQ = Extrato aquoso EAL = Extrato alcoólico

Fonte: A Autora, 2024.

O extrato de *D. salina* apresentou os maiores resultados de compostos fenólicos. Quando comparando os compostos fenólicos em extrato aquoso (EAQ) e extrato alcoólico (EAL), foi possível observar que a DS em EAQ apresentou resultados superiores ao extrato alcoólico, mas o contrário ocorre com as massas, onde os valores do EAL foram maiores. Andriopoulos *et al.* (2022), que verificaram o teor de compostos fenólicos totais da DS em diferentes solventes, também obtiveram maiores resultados em extratos aquosos (644 - 878 mgEAG.100g⁻¹) do que em metanol (130 - 225 mg EAG.100g⁻¹), resultados abaixo do encontrado neste estudo em solventes similares.

Quanto às massas, sua composição química pode ter influenciado na extração dos compostos fenólicos em água, apresentando valores abaixo do extrato alcoólico. Assim, a massa com 5% de biomassa apresentou valores significativamente diferentes da massa sem DS. Em massa com *A. platensis* o extrato aquoso apresentou valores de 24 - 50 mgEAG.100g⁻¹, que estão próximos ao encontrado neste estudo (Fradinho *et al.*, 2020).

A poderosa capacidade de captura de radicais livres do extrato de *D. salina* está fortemente ligada à quantidade de vários ácidos fenólicos e flavonoides. Essas descobertas estão de acordo com conclusões anteriores que demonstraram a alta capacidade antioxidante

de diferentes extratos de DS e atribuíram isso ao seu conteúdo de compostos fenólicos e carotenoides, que também possuem capacidade antioxidante (Andriopoulos *et al.*, 2022). A atividade antioxidante foi superior pela metodologia por FRAP, do que por DPPH, 12,68 e 1,26 mgET.g⁻¹ no extrato de DS, respectivamente. Outros trabalhos chegaram a resultados próximos, de 0,15 a 1,32 mgET.g⁻¹ por DPPH e 0,25 a 3,84 mgET.g⁻¹ por FRAP, em extratos de DS com diferentes solventes (Andriopoulos *et al.*, 2022).

Nas massas, houve influência da DS na AA por DPPH, dobrando o valor com de 2% de adição, não havendo diferença significativa entre M2 e M5, enquanto que por FRAP, todas as massas apresentaram resultados estatisticamente iguais.

4.4.3 Carotenoides e Colorimetria

O crescente interesse e demanda por corantes naturais têm levado ao aumento das pesquisas sobre microalgas como *D. salina* (Depra *et al.*, 2020). Entre esses pigmentos, destacam-se os carotenoides e a clorofila devido ao seu amplo uso (Mehariya *et al.*, 2021). O teor de carotenoides em microalgas é variável conforme a fase de crescimento e o método de cultivo. Na *D. salina*, a biomassa total é composta por aproximadamente 10% de β -caroteno, um dos principais carotenoides (Cezare-Gomes *et al.*, 2018).

A produtividade de β -caroteno por cenouras (fonte tradicional) é de $1,38 \times 10^{-1}$ kg.ha⁻¹ano⁻¹, enquanto por *D. salina* pode atingir $7,02 \times 10^3$ kg.ha⁻¹ano⁻¹ (Cezare-Gomes *et al.*, 2018).

Kunar *et al.* (2023), avaliaram o efeito da secagem de *D. salina* e obtiveram valores de 1322,7 - 9267,2 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de carotenoides, enquanto outro estudo com a microalga ainda verde obteve resultado de 629 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (El-Baz, Abdo, Hussein 2017). Foi observado que massas com 1% de DS apresentaram teores de carotenoides de 143 e 22 $\mu\text{g.g}^{-1}$, antes e após o cozimento, respectivamente.

Na Tabela 3, estão apresentados os resultados dos parâmetros de cor das massas e de carotenoides. É possível observar que o teor de carotenoides da *D. salina* (DS) foi de 2167,72 $\mu\text{g.g}^{-1}$, dentro do encontrado em literaturas, como as citadas acima. O alto conteúdo desses compostos aumentou significativamente o teor nas massas, a massa sem a biomassa apresentou um valor de 3,41 $\mu\text{g.g}^{-1}$, enquanto as massas secas com 2 e 5 % de adição apresentaram valores de 168 e 266 $\mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente.

Quando cozidas, as massas apresentaram redução significativa do teor de carotenoides, que também ocorreu em outros estudos, de 82,6 para 38,8 mg.100g⁻¹ em massas de lasanha

com 5% de *S. obliquus* (El-Baz et al., 2017). O cozimento acarreta na difusão dos pigmentos e de compostos na água, além de ocorrer a oxidação devido ao tratamento térmico (Turkmen et al., 2006).

A cor de massas é um atributo de qualidade importante que exerce uma influência direta na aceitabilidade do consumidor, pois é o primeiro parâmetro que se avalia ao comprar o produto. Isso depende das características das matérias-primas e do método de processamento (Aranibar et al., 2018). Neste estudo, a cor foi afetada principalmente pela *D. salina*.

Tabela 3: Parâmetros de cor L*, a*, b* das massas secas, cozidas e da água do cozimento e teor de carotenoides das massas produzidas e de biomassa de *D. salina*

Amostras		L	a	B	Carotenoides (µg. g ¹)
M0	Seca	72,74 ^B ± 0,28	4,31 ^C ± 0,05	17,70 ^C ± 0,16	3,41 ^F ± 0,09
	Cozida	57,72 ^C ± 0,84	5,01 ^C ± 0,13	16,00 ^C ± 0,60	-
	Água do cozimento	74,38 ^{AB} ± 0,18	4,02 ^C ± 0,067	17,07 ^C ± 0,67	-
M2	Seca	57,04 ^C ± 0,42	12,46 ^B ± 0,17	50,83 ^A ± 0,86	168,06 ^D ± 4,93
	Cozida	45,16 ^{ED} ± 0,43	13,79 ^B ± 0,15	45,94 ^A ± 2,56	101,44 ^E ± 3,58
	Água do cozimento	78,58 ^A ± 1,44	3,46 ^C ± 0,25	18,39 ^C ± 0,54	-
M5	Seca	48,79 ^D ± 0,93	14,31 ^A ± 0,49	47,71 ^A ± 1,39	266,26 ^B ± 4,38
	Cozida	39,56 ^E ± 0,51	15,35 ^A ± 0,19	40,24 ^B ± 2,80	236,40 ^C ± 4,60
	Água do cozimento	84,87 ^A ± 0,17	6,66 ^C ± 0,07	37,48 ^B ± 0,18	-
DS		23,25 ^F ± 0,14	17,26 ^A ± 0,27	21,92 ^C ± 0,26	2167,72 ^A ± 11,76

Letras maiúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística ($p > 0,05$) entre si. L (luminosidade), +a* vermelho e -a* verde; +b* amarelo e -b* azul. M0 = sem *D. salina*; M2 = com 2% de *D. salina*; M5 = com 5% de *D. salina*; DS = *D. salina*.

Fonte: A Autora, 2024.

A DS é rica em β-caroteno e, como tem coloração alaranjada, os valores de a* e b* das massas fortificadas aumentaram significativamente ($p < 0,05$) com o aumento da concentração de *D. salina* em comparação com a amostra controle. A biomassa resultou em massas mais escuras em relação a M0, onde a luminosidade (L*) diminuiu significativamente de 72,74 para 57,04 e 48,79 nas massas secas com adição de 2 e 5%, respectivamente. A intensidade do

vermelho (a^*) aumentou conforme o teor de *D. salina*, o que é semelhante ao relatado por Şahin (2020), em biscoitos que foi de 4,37 para 5,65.

Em todas as massas foi possível observar que houve uma diminuição na luminosidade após o cozimento, porém não interferiu nos parâmetros de vermelho (a^*) e amarelo (b^*). Enquanto que a água do cozimento apresentou valores mais elevados de luminosidade, pela solubilização de compostos responsáveis pela cor, na amostra controle (M0) não houve diferença estatística entre as amostras secas, cozida e a água do cozimento. Nas amostras com DS, a água do cozimento apresentou valores abaixo, dos parâmetros a^* e b^* , do encontrado nas massas secas e cozidas.

4.4.4 Características Tecnológicas das Massas Elaboradas

As propriedades tecnológicas das massas alimentícias podem ser avaliadas pelos parâmetros de tempo ótimo de cozimento (min), índice de absorção de água (%) e perda de sólidos (%), e podem ser observadas na Tabela 4. O comportamento no cozimento são determinações empíricas utilizadas para fornecer importantes indicações sobre o desempenho da massa (Fradinho *et al.*, 2020). Um longo tempo de cozimento e a perda de sólidos são aspectos indesejáveis, pois um tempo prolongado de cozimento indica alta demanda de energia, enquanto que uma elevada perda de sólidos durante o cozimento, sugere alta solubilidade do amido, resultando em uma massa de qualidade inferior (Bolarinwa e Oyesiji, 2021).

Tabela 4: Propriedades tecnológicas das massas alimentícias elaboradas com e sem diferentes proporções de *D. salina*

	Tempo ótimo de cozimento (min)	Absorção de água (%)	Perda de sólidos (%)
M0	8,65 ^A ± 0,49	155,04 ^A ± 1,40	9,18 ^A ± 0,97
M2	8,22 ^A ± 0,10	151,93 ^A ± 5,84	7,44 ^A ± 0,17
M5	8,30 ^A ± 0,21	157,31 ^A ± 3,06	8,97 ^A ± 0,28

Letras maiúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística ($p > 0,05$) entre si. M0 = sem *D. salina*; M2 = com 2% de *D. salina*; M5 = com 5% de *D. salina*; DS = *D. salina*.

Fonte: A Autora, 2024.

Não se observou diferença estatística ($p > 0,05$) entre as amostras quanto ao tempo ótimo de cozimento, absorção de água e perda de sólidos, demonstrando que a incorporação da biomassa não influenciou esses parâmetros das massas.

O índice de absorção de água está relacionado ao alto conteúdo de polissacarídeos não amiláceos na composição, mas também é influenciado pela estrutura dos grânulos de amido, pela presença de regiões mais amorfas e pela desintegração da matriz proteica durante o cozimento, além das características geométricas da massa alimentícia (Alamprese, Casiraghi e Pagani, 2007; Lucisano *et al.*, 2012). Os resultados não apresentaram diferença significativa, variando entre 151,93 a 157,31%, valores próximos aos encontrados em massas com diferentes frações de farinha de aveia e *Spirulina*, que apresentaram resultados, entre 140,6 a 173,3% (Pagnussatt *et al.*, 2014).

As perdas durante o cozimento são indicadores importantes do desempenho geral do cozimento do *espagete* tanto para os consumidores quanto para a indústria, sendo principalmente influenciadas pela dissolução e liberação de amido gelatinizado da superfície da massa através da água de cozimento (Brennan; Kuri; Tudorica, 2004). As massas estudadas obtiveram valores abaixo de 10% de perda de sólidos, próximo ao encontrado por Riyad, Naeem e Slama (2020).

4.4.5 Propriedades Mecânicas

Na Tabela 5 estão descritas o perfil de textura que determinam a qualidade da massa cozida, incluindo dureza, elasticidade, adesividade, coesividade e mastigabilidade.

Tabela 5: Perfil de textura das massas alimentícias elaboradas com diferentes proporções de *D. salina*

	Dureza (N)	Adesividade (N.s)	Elasticidade	Coesividade	Mastigabilidade (N)
M0	42,91 ^A ± 1,86	-0,30 ^A ±0,02	0,71 ^A ±0,04	0,58 ^A ±0,01	17,47 ^A ±0,21
M2	41,83 ^A ±2,07	-0,35 ^A ±0,01	0,84 ^A ± 0,06	0,54 ^A ±0,00	19,03 ^A ±1,11
M5	41,34 ^A ±1,56	-0,20 ^A ± 0,03	0,92 ^A ±0,10	0,58 ^A ± 0,01	22,25 ^A ±2,16

Letras maiúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística ($p>0,05$) entre si. N = Newton; M0 = sem *D. salina*; M2 = com 2% de *D. salina*; M5 = com 5% de *D. salina*; DS = *D. salina*.

Fonte: A Autora, 2024.

Os parâmetros de dureza, adesividade e coesividade são medidas de diferentes aspectos das forças intermoleculares entre os grânulos de amido na matriz da massa (Rosenthal, 2010). Sendo a dureza relacionada com a hidratação dos grânulos de amido durante o processo de cozimento e a subsequente incorporação dos grânulos gelatinizados em uma matriz de proteínas parcialmente desnaturadas (Del Noble *et al.*, 2005). Portanto, a DS não afetou estatisticamente ($p>0,05$) o valor da dureza das amostras. Diferentemente de De

Marco *et al.* (2014), onde massas com *Spirulina maxima* apresentaram aumento da dureza conforme a adição de biomassa, de 38,3 na massa controle até 56,6 N na amostra com 20 g.100g⁻¹.

A coesividade é um indicador de como a amostra é mantida compacta durante o cozimento, e não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$) entre as amostras, os resultados foram próximos dos encontrados por El-Baz *et al.* (2017) que obtiveram valores de 0,54 a 0,61 em massas fortificadas com *S. obliquus*.

A elasticidade e adesividade também não apresentaram diferença estatística ($p > 0,05$) entre as amostras. Outros estudos encontraram valores negativos de até -0,45 N.s para a adesividade, força que mede a resistência da massa com sua superfície de contato (Arribas *et al.*, 2020). As massas não apresentaram bons resultados de elasticidade, ficando abaixo do encontrado em massas de trigo com microalgas de 0,96 (De Marco *et al.*, 2014).

Assim como a mastigabilidade (energia necessária para mastigar um alimento sólido até o estado de deglutição), que apresentou valores de 17,47 a 22,55 N, inferiores aos encontrados por De Marco *et al.*, (2014), que foram de 27,6 a 42,9 N.

4.4.6 Avaliação Microbiológica das Massas Alimentícias

Os resultados obtidos na análise microbiológica dos macarrões elaborados estão apresentados na Tabela 6. Percentuais reduzidos de umidade são considerados ideais para prolongar a vida útil do produto, pois uma menor atividade de água reduz a capacidade de sustentar atividades microbiológicas, conforme discutido por Madrona e Almeida (2008).

Tabela 6: Resultado das análises microbiológicas das massas alimentícias

Análises	Resultados	Padrão IN nº 161
Salmonela	Ausência/25g	Ausência/25g
<i>Bacillus cereus</i> presuntivo/g	Ausência/g	5×10^3 /g
<i>Escherichia coli</i> /g	Ausência/g	10^2 /g

Fonte: A autora, 2024

Para *Salmonella*, não se observou colônias típicas de cor escura como as obtidas no controle para os três meios de cultivos utilizados, configurando em ausência dessa

contaminação. Como resultado para *Bacillus cereus*, não se observou também colônias típicas esféricas, com bordas perfeitas, planas e secas, rodeadas por um halo de precipitação.

A pesquisa de *Escherichia coli* foi realizada com 9 tubos de caldo LST onde 5 deles apresentaram aparecimento de gás. Posteriormente foram realizados testes confirmativos utilizando o caldo *E. coli*, e nenhum dos tubos apresentaram formação de gás, assim foi negativo para presença desse microrganismo no macarrão. Os resultados das análises microbiológicas requeridas pela IN nº 161 de 1 de julho de 2022 apresentaram-se em conformidade, negativos para presença de contaminantes, evidenciando que os macarrões são seguros para consumo.

4.4.7 ANÁLISE SENSORIAL

A primeira etapa da análise sensorial teve como objetivo coletar dados para traçar o perfil dos avaliadores. A faixa etária mais recorrente entre os avaliadores foi entre 19 e 25 anos (56%), seguido por jovens de até 18 anos (30,3%). Tal fato se justifica pela comunidade acadêmica ser composta por 20,2% de estudantes com idades entre 18 a 24 anos, conforme os dados do censo de 2022 para o ensino superior na modalidade presencial.

Dos 66 avaliadores, 75,8% (50) foram do gênero feminino e 22,7% (15), do gênero masculino e 1,5% (1) do gênero não-binário. Dados do IBGE de 2022 mostram que dos 51,2 milhões de alunos matriculados em instituições de ensino superior são mulheres representando 57,5%, contra 42,5% de indivíduos do gênero masculino.

Quanto ao nível de escolaridade, 66,7% (44) dos avaliadores se enquadram no ensino superior incompleto, 12,1% (8) com ensino médio completo e 12,1% (8) com pós-graduação. O resultado é justificável, tendo em vista que a pesquisa foi conduzida nas dependências da universidade, onde a maioria dos participantes está matriculada em cursos de graduação.

A segunda etapa de resultados buscou traçar o perfil de consumo e preferência relacionadas às massas alimentícias. Entre os avaliadores, 50% (33) indicaram que consomem macarrão de 2 a 3 vezes por semana, 27,3% (18) consomem pelo menos 1 vez na semana e 12,1% (8) a cada 15 dias. Os resultados confirmam as alegações de Lopes e Castro (2023), que a dieta do brasileiro tem grande participação do macarrão, alimento que faz parte da cesta básica da maior parte dos brasileiros.

Os atributos que mais influenciam na decisão de compra estão ilustrados na Tabela 7. Em primeiro lugar a marca com 63,6%, preço com 62,1%, ingredientes com 31,8%, textura

com 31,8%, a certificação de qualidade (vegano, sem glúten, sem lactose) 13,6% e o formato com 3%.

Segundo Vacari, Gularte e Santos (2021), a textura é a primeira característica avaliada pelo sentido do tato, sendo esse seu principal atributo sensorial. A aparência com 50%, a apresentação visual é geralmente o primeiro contato do consumidor com o produto (Teixeira, 2009). O sabor neutro com 33,3%, o qual utiliza mais de um sentido para a percepção (Nogueira, 2021). A cor com 24,2%, também é um dos primeiros aspectos visuais levados em consideração conforme Vacari, Gularte e Santos (2021).

Tabela 7: Atributos levados em consideração na compra do produto pelos avaliadores que participaram da análise sensorial de massas

Atributos	Respostas	Porcentagem (%)
Marca	42	63,6
Preço	41	62,1
Ingrediente	21	31,8
Textura	21	31,8
Certificação de qualidade	9	13,6
Formato	2	3

Fonte: A autora, 2024

A Tabela 8 apresenta o resultado para a pergunta “O que você mais gosta no macarrão?”. Os atributos preferidos dos avaliadores quando pensam no macarrão são a textura com 77,3%.

Tabela 8: Atributos preferidos pelos avaliadores que participaram da análise sensorial de macarrão

Atributos	Respostas	Porcentagem (%)
Textura	51	77,3
Aparência	33	50,0
Sabor Neutro	22	33,3
Cor	16	24,2

Fonte: A autora, 2024

A partir da Tabela 9, é possível inferir que 25,9% dos avaliadores consideraram a textura o pior aspecto do macarrão comercial aos quais os avaliadores consomem diariamente, seguido pelo sabor que apresenta 24,1%. Esse valor reflete o sabor que as farinhas conferem ao produto. Vieira *et al.* (2015), verificaram que a farinha de soja utilizada apresentou sabor residual. A característica “pegajoso” apresentou 18,5% de ocorrência, indicando que não é desejável por parte dos avaliadores.

Tabela 9: Palavra x Ocorrência escolhidas pelos avaliadores que participaram da análise sensorial dos macarrões

Posição	Palavra	Ocorrência	Porcentagem (%)
1	Textura	14	25,9
2	Sabor	13	24,1
3	Pegajoso	10	18,5
4	Nada	8	14,8
5	Mole	7	12,9
6	Duro	3	5,5
7	Cor	2	3,7
8	Gomoso	2	3,7
9	Oleosidade	1	1,9
10	Formato	1	1,9

Fonte: A autora, 2024

Na Tabela 10 encontram-se as médias obtidas na análise sensorial das massas alimentícias. Para essa análise, foi comparado o M0 (sem DS) com M2 (2% de DS), devido a incorporação de 5%, não apresentar diferença significativa em compostos bioativos, fibras e proteínas do M2. Ademais, a biomassa pode contribuir com o aumento do preço final do produto e na menor proporção de adição já ocorreu significativo aumento do teor de carotenoides.

Os resultados foram classificados como "baixa aceitabilidade" para médias de 1 a 4, "média aceitabilidade" para a média 5 e "boa aceitabilidade" para médias de 6 a 9 (Costa, 2014). As médias da formulação M0 em relação a todos os quesitos avaliados foram consideradas satisfatórias, já que obtiveram notas acima de 6. Com exceção da textura que obteve média 5, o que na escala hedônica de 9 pontos corresponde ao conceito de

"indiferente". As médias da massa M2 foram menores em comparação com a formulação M0, mas ainda assim apresentaram resultados satisfatórios, visto que se encontram na faixa de média a boa aceitabilidade.

Tabela 10: Valores médios para os atributos sensoriais avaliados das massas M0 e M2

Atributos	M0	M2
Impressão Global	6,39 ^A ± 1,56	6,39 ^A ± 1,56
Aparência	7,35 ^A ± 1,59	6,58 ^A ± 1,91
Cor	6,58 ^A ± 1,66	6,00 ^B ± 1,90
Odor	7,68 ^A ± 1,35	7,35 ^B ± 1,41
Textura	5,53 ^A ± 2,33	5,00 ^A ± 2,33
Sabor	6,09 ^A ± 2,07	5,35 ^A ± 2,26

Letras maiúsculas iguais na mesma linha não apresentam diferença estatística ($p > 0,05$) entre si.; M0 = sem *D. salina*; M2 = com 2% de *D. salina*.

Fonte: A Autora, 2024.

A impressão global envolve todos os atributos avaliados em sua forma geral. Embora sem diferença estatística, a massa M2 apresentou alto desvio padrão, sugerindo que nesse quesito não houve preferência por parte dos julgadores. O atributo de aparência engloba as características visíveis de um produto, tais como aspecto, cor, transparência, brilho, opacidade, forma, tamanho, consistência, espessura, e as propriedades da superfície (Instituto Adolfo Lutz, 2008). A amostra M0 foi avaliada como “gostei moderadamente” e a formulação M2 foi avaliada como “gostei ligeiramente” pelos avaliadores.

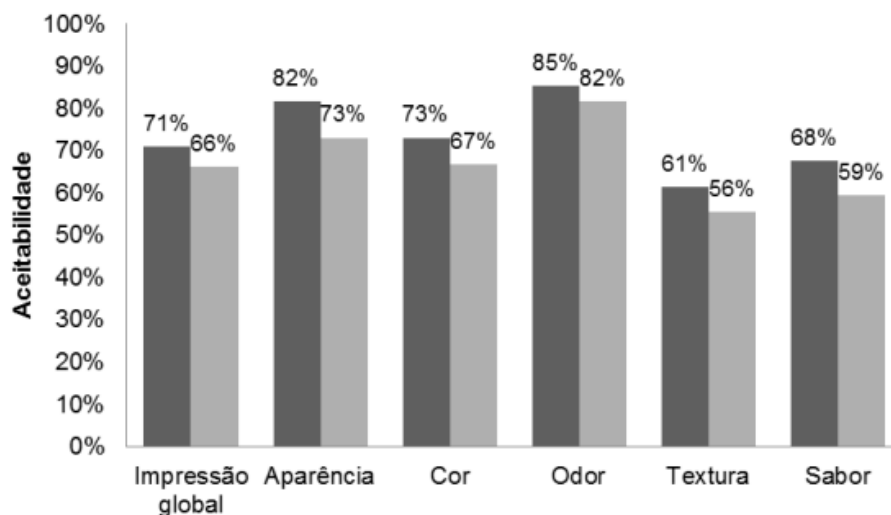
A cor dos alimentos desempenha um papel significativo na seleção dos mesmos. Através da percepção visual, inicialmente captam-se informações sobre a aparência geral dos produtos (cor, tamanho, formato), o que pode exercer influência direta na avaliação do consumidor em relação aos demais atributos do produto (Oliveira, 2010). A formulação que obteve média mais expressiva em relação a este quesito foi a massa sem a microalga ($6,58 \pm 1,66$).

No atributo sabor, apesar de a formulação sem a microalga ter apresentado média maior, as amostras não se diferem estatisticamente, o que indica que o enriquecimento da massa com *D. salina* não interferiu nesse aspecto. As notas atribuídas a este atributo apresentaram um elevado desvio padrão ($\pm 2,07$ para M0 e $\pm 2,26$ para M2), indicando uma divergência significativa entre os avaliadores e aumentando o número de respostas, esses valores podem diminuir. Orlandin (2016), com as formulações de macarrão com diferentes

genótipos de sorgo, avaliou sensorialmente e obteve médias menores de impressão global, sabor, aroma e cor que as do presente estudo.

A Figura 2 apresenta a aceitabilidade geral dos participantes com relação aos dois macarrões avaliados, calculadas a partir da divisão das médias por 9 e multiplicando por 100, seguindo a escala hedônica de 9 pontos.

Figura 2: Aceitabilidade referente aos atributos sensoriais avaliados das massas M0 e M2



■ M0 = sem *D. salina*; ■ M2 = com 2% de *D. salina*;

Fonte: A Autora, 2024.

As porcentagens de aceitação da formulação M0 indicaram que os atributos de impressão global (71%), aparência (82%), cor (73%) e odor (85%) foram os mais bem recebidos, atingindo valores acima do mínimo considerado aceitável para um produto (70%) (Dutcoski, 2007).

Por outro lado, a formulação M2 apresentou uma maior porcentagem de rejeição em comparação com a massa M0, especialmente nos atributos de textura (56%), sabor (59%), impressão global (66%) e cor (67%). É importante ressaltar que, como a formulação M2 foi produzida com a *D. salina*, a massa apresentou uma cor mais amarelada e o sabor residual amargo perceptível.

Não foi observada diferença estatística significativa entre as formulações com e sem a *D. salina*, na análise sensorial. No entanto, também pela grande amplitude dos desvios padrões observados, pode-se sugerir que o consumo da massa M2, que é a mais enriquecida nutricionalmente, com destaque aos carotenoides, pode ser uma escolha vantajosa.

A *D. salina* foi incorporada em massas à base de farinha de trigo nas proporções de 1,2, e 3 (p/p). Além do enriquecimento nutricional, com maiores teores de minerais, de biocompostos e de ácidos graxos insaturados, os autores verificaram que a aceitação sensorial foi satisfatória (El-Baz, Abdo, Hussein, 2017).

Os avaliadores que participaram da análise sensorial foram compostos por público que possui hábito de consumo de macarrão produzido com farinha de trigo refinada, com baixo conteúdo de fibras. Se fosse direcionada a um público celíaco, ou a nichos de mercado que se preocupam com a saudabilidade de suas dietas, mais habituados a esse tipo de produto, a aceitabilidade poderia ter sido maior.

Outro ponto que poderia resultar em notas maiores seria comparar os macarrões M0 e M2 formulados com uma massa de farinha integral. Los *et al.* (2018) realizaram estudo com sopas com *Spirulina platensis* e ricas em fibras derivadas de farinhas de subprodutos de palmito pupunha e verificaram que a aceitação sensorial seria favorecida se direcionada a nichos de mercado específicos. De forma similar, Lemes *et al.* (2012) compararam a aceitação sensorial de massas frescas com *S. platensis*, elaboradas com farinha de trigo refinada e integral e verificaram menores médias de aceitação para as massas com farinhas integrais e maior conteúdo de fibras, bem como cor mais escura.

Por não fazer parte dos hábitos alimentares dos brasileiros, a farinha de sorgo e a biomassa de *D. salina*, também não apresentam uma boa aceitabilidade sensorial, como descrito por Oliveira *et al.*, (2022), a adição de farinhas de sorgo em massas sem glúten provocou uma baixa aceitação sensorial, entre 4 a 5 pontos em uma escala hedônica de 9 pontos. O mesmo ocorreu em cookies com substituição parcial da farinha de trigo por sorgo (5-50%), em que quanto maior a substituição menor os valor de aceitação (Adeyeye, 2016).

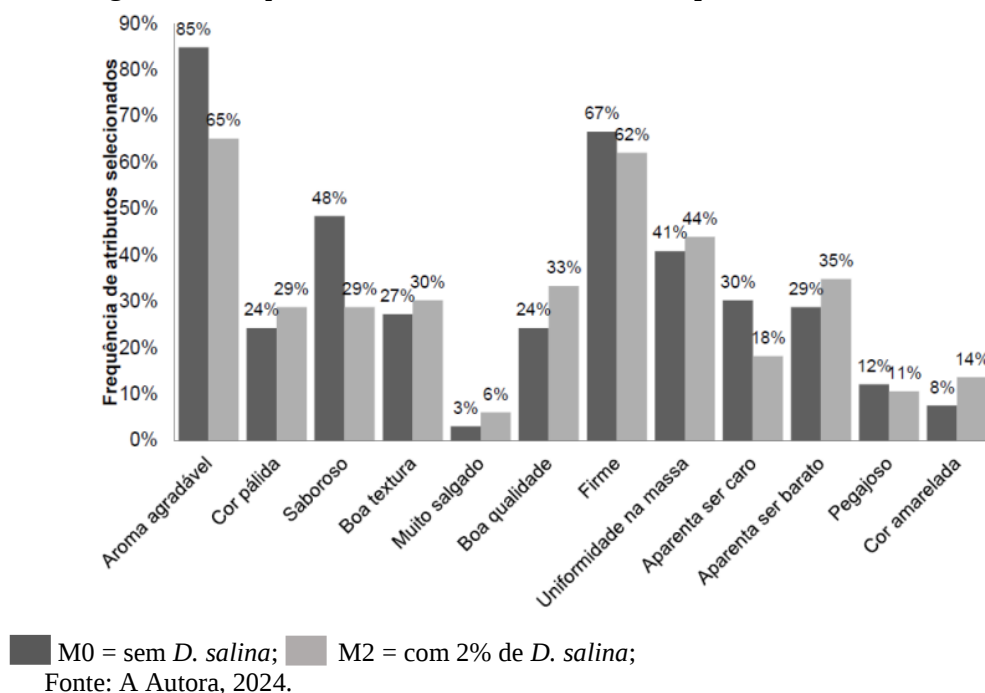
Em biscoitos com adição de microcápsulas de DS na fase verde, foi observado que não houve diferença estatística na formulação com 10%, porém o aumento da quantidade de microcápsulas usadas na massa do biscoito reduziu o nível de aceitação dos painelistas nos parâmetros de sabor e textura (Kevin *et al.*, 2023). Nas massas um comportamento semelhante foi observado, onde a coloração foi o fator mais afetado pelo aumento da adição, mas a aceitabilidade geral só diminuiu com a adição de 3% de biomassa de DS (El-Baz, Abdo, Hussein, 2017)

Já em biscoitos que utilizaram a biomassa de DS após a carotenogênese, não houve diferença entre as amostras com 1 e 2%, e apresentaram resultados melhores do que amostras com biomassa de *Spirulina* (Sahin, 2020).

A Figura 3 apresenta os resultados que consistiram na identificação das características sensoriais que as massas M0 e M2 possuem. A avaliação apresentou uma lista pré-definida de termos, quais os avaliadores selecionaram todas as alternativas da lista que consideraram apropriadas para descrever as amostras.

As duas formulações, M0 e M2, exibiram características sensoriais como "aroma agradável" e "firmeza". Atributos como "cor pálida", "boa textura", "uniformidade na massa" e "pegajosidade" apresentaram percentuais de seleção semelhantes entre ambas as formulações. A formulação M0 foi percebida como mais cara em comparação com M2, indicando que a adição de ingredientes como microalga não necessariamente aumenta o custo percebido do produto final.

Figura 3: Frequência de atributos selecionados para as massas avaliadas



4.5 CONCLUSÃO

A *Dunaliella salina* (DS) se apresentou com elevado conteúdo de proteínas ($28 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$), lipídios e cinzas, com capacidade antioxidante devido aos altos teores de compostos fenólicos ($1783,05 \text{ mgEAG.}100\text{g}^{-1}$), em extrato aquoso. Os carotenoides conferem à biomassa coloração alaranjada amarronzada e está presente em altas concentrações ($2167 \mu\text{g.g}^{-1}$).

As massas com *D. salina*, resultaram em um produto com aumento do valor proteico, compostos bioativos como carotenoides e atividade antioxidante. O conteúdo da microalga adicionada, de 2 para 5%, não resultou em aumento significativo na capacidade antioxidante da massa, apenas no teor de carotenoides totais, que subiu de 168 para $266 \mu\text{g.g}^{-1}$. Não houve diferença estatística entre as massas nos aspectos tecnológicos e de textura, confirmando que a DS acarretou enriquecimento nutricional e potencial funcional sem afetar as características estruturais das massas.

Os resultados das análises microbiológicas mostraram conformidade com a legislação vigente, com ausência de contaminantes, evidenciando que os macarrões são seguros para consumo. Na análise sensorial, ambas as formulações foram avaliadas positivamente pelos avaliadores. Os atributos mais apreciados foram a impressão global, a aparência, a cor e o odor. A *D. salina* não resultou em diferença estatisticamente significativa na análise sensorial. No entanto, a massa enriquecida com *D. salina* é considerada uma opção mais vantajosa, e com as farinhas de subprodutos de palmito pupunha e mandioca e sorgo permitem uma alegação funcional ao produto e sustentabilidade às cadeias produtivas envolvidas.

REFERÊNCIAS

- AACC International. (2000). Approved methods of analysis AACC Approved methods 10th ed. St. Paul, Minnesota, USA: **AACC International**, Inc.
- ADEYEYE, S. A. O. Assessment of quality and sensory properties of sorghum–wheat flour cookies. **Cogent Food & Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 1245059, 2016.
- ALAMPRESE, C., CASIRAGHI, E., PAGANI, M. Development of gluten-free fresh egg pasta analogues containing buckwheat. **European Food Research and Technology**, v. 225, n. 2, p. 205-213, 2007.
- ANDERSON, J. W. *et al.* Health benefits of dietary fiber. **Nutrition Reviews**, v. 67, n. 4, p. 188-205, 2009.
- ANDRIOPOULOS, V.; *et al.* Total Phenolic Content, Biomass Composition, and Antioxidant Activity of Selected Marine Microalgal Species with Potential as Aquaculture Feed. **Antioxidants**, v. 11, n. 7, p.1320, 2022.
- ANVISA**. RESOLUÇÃO-RDC Nº 93, DE 31 DE OUTUBRO DE 2000. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Massa Alimentícia. 2000.
- AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. 2005. (18th ed). Gaithersburg: **AOAC International**.
- ARANIBAR, C. *et al.*, Utilization of a partially-deoiled chia flour to improve the nutritional and antioxidant properties of wheat pasta. **LWT - Food Science Technology** v.89, p.381–387, 2018.
- ARRIBAS, C. *et al.* Cooking Effect on the Bioactive Compounds, Texture, and Color Properties of Cold-Extruded Rice/Bean-Based Pasta Supplemented with Whole Carob Fruit. **Foods**, v. 9, n. 4, p. 415, 2020.
- BACHEGGA, G. **Subprodutos da indústria de alimentos: veja suas aplicações**. GEPEA - Grupo de Estudos e Projetos em Engenharia de Alimentos, 2020.
- BATISTA, A. P. *et al.* Microalgae as functional ingredients in savory food products: Application to wheat crackers. **Foods**, v. 8, n. 12, p. 611, 2019.
- BECKER, E. W. Micro-algae as a source of protein. **Biotechnology Advances**, v. 25, n. 2, p. 207-210, 2007.

- BENZIE, F. F., STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay, **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70-76, 1996.
- BIBLE, B. B.; SINGHA, S. Canopy position influences CIELAB coordinates of peach color. **HortScience**, v. 28, n. 10, p. 992-993, 1993.
- BOLANHO, B. C., DANESI, E. D. G., BELEIA, A. Characterization of flours made from peach palm (*Bactris gasipaes Kunth*) by-products as a new food ingredient. **Journal of Food and Nutrition Research**. v.53, p. 51-59, 2014.
- BOLARINWA, I. F.; OYESIJI, O. O. Gluten free rice-soy pasta: proximate composition, textural properties and sensory attributes. **Heliyon**, v. 7, n. 1, e06052, 2021.
- BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.E. e BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **LWT- Food Science and Technology**, n.28, p.25-30. 1995.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa IN nº 161, de 1 de julho de 2022**. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, DF, Brasília, de 6 de julho de 2022
- BRENNAN, C. S.; KURI, V.; TUDORICA, C. M. Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. **Food chemistry**, v. 86, n. 2, p. 189-193, 2004.
- CAKMAK, Y.S., KAYA, M., ASAN-OZUSAGLAM, M. Biochemical composition and bioactivity screening of various extracts from *Dunaliella salina*, a green microalga. **EXCLI journal**, v.13, p. 679, 2014.
- CAPORGNO, M. P., MATHYS, A. Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. **Frontiers in Nutrition**, v. 5, p. 58, 2018.
- CEZARE-GOMES, E. A. *et al.* Potential of Microalgae Carotenoids for Industrial Application. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. v.188, p.602-634, 2019.
- COLUSSE, G. A., *et al.* Effects of different culture media on physiological features and laboratory scale production cost of *Dunaliella salina*. **Biotechnology Reports**, v.27, e00508, 2020.
- COMETTANT-RABANAL, R. *et al.* Extruded whole grain flours and sprout millet as functional ingredients for gluten-free bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 150, p. 112042, 2021.
- DANESI, E. D. G. *et al.* Effects of industrial byproducts from orange, peach palm and soybean on the quality traits and antioxidant activity of flours: a response surface approach. International. **Food Research Journal**, v. 25, n. 3, p. 219-1227, 2018.
- DE MARCO, E. R. *et al.* Effects of spirulina biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta. **LWT - Food Science and Technology**, v. 58, n. 1, p. 102-108, 2014.
- DEL NOBILE, M.A. *et al.* Influence of protein content on spaghetti cooking quality. **Journal of Cereal Science**, v. 41, n. 3, p.347-356, 2005.
- DEPRA, M. C. *et al.* Environmental impacts on commercial microalgae-based products: Sustainability metrics and indicators. **Algal Research**, v. 51, p. 102056, 2020.
- DUTCOSKI, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 2 ed. Champagnat: Curitiba, 2007.

- EL-BAZ, F. K. ABDO, S. M.; HUSSEIN, A. M. S. Microalgae *Dunaliella salina* for use as food supplement to improve pasta quality. **International Journal of pharmaceutical sciences review and Research**, v. 46, n. 2, p. 45-51, 2017.
- EL-BAZ, F. K. *et al.* Improvement of Nutritional and Quality of Lasagna Supplemented with *Scenedesmus obliquus*. **International Journal of Pharmaceutical Sciences review and Research**, v. 46, n. 2, p. 28-38, 2017.
- EL-HAMEED, A. *et al.* Effect of adding *Spirulina platensis* in pasta products (spaghetti). **Journal of Agricultural Research** v. 45.1, p. 293-300, 2018.
- EL-SOHAIFY, S. A. *et al.* Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. **Annals of Agricultural Science**, v. 66, n. 1, p. 93-93, 2021.
- FRADINHO, P. *et al.* Effect of *Arthrospira platensis* (*spirulina*) incorporation on the rheological and bioactive properties of gluten-free fresh pasta. **Algal Research**, v. 45, p. 101743, 2020.
- FRADIQUE, M. *et al.* Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 10, p. 1656-1664, 2010.
- FRADIQUE, M. *et al.* *Isochrysis galbana* and *Diacronema vlkianum* biomass incorporation in pasta products as PUFA's source. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 312-319, 2013.
- GARCÍA-MONCAYO, A., *et al.* Nutritionally improved pasta with *Arthrospira platensis*: effect of cooking on antioxidant capacity and pigments content. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 35, n. 9, p. 782–790, 2023.
- GONZÁLEZ-LÓPEZ, C. V. *et al.* Medium recycling for *Nannochloropsis gaditana* cultures for aquaculture. **Bioresource technology**, v. 129, p. 430-438, 2013.
- HELM, C. V. *et al.* Palmito pupunha: produtos e subprodutos da agroindústria. **EMBRAPA Florestas**. p. 59-70, 2021.
- HOSSEINI, S. R. P. *et al.* Experimental Optimization of SC-CO₂ Extraction of Carotenoids from *Dunaliella salina*. J. Supercrit. **Fluids**, v. 121, p. 89-95, 2017.
- KAUR, H., *et al.* Effect of formulations on functional properties and storage stability of nutritionally enriched multigrain pasta. **Chemical Science International Journal** v. 19.1, p. 1-9, 2017.
- KAURINOVIC, B; VASTAG, D. Flavonoids and phenolic acids as potential natural antioxidants. London, UK: **IntechOpen**, 2019.
- KEVIN, A. *et al.* Effects of Microencapsulated *Dunaliella Salina* Algae on Sensory Evaluations, Omega-3 Fatty Acid and Nutritional Compositions Value of Sago Bagea Cookies. **Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering**, v. 42, n. 10, p. 3409-3421, 2023.
- KHADIM, S. R. *et al.* Mass Cultivation of *Dunaliella salina* in a Flat Plate Photobioreactor and Its Effective Harvesting. **Bioresource Technology**, v. 270, p. 20-29, 2018.
- KONAR, N., *et al.* Spray-drying optimization for *Dunaliella salina* and *Porphyridium cruentum* biomass. **Drying Technology**, v. 41, n. 15, p. 2371-2384, 2023.

- LEMES, A. C. *et al.* Fresh pasta production enriched with *Spirulina platensis* biomass. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.55, p.740-750, 2012.
- LÓPEZ, C. V. G. *et al.* Protein measurements of microalgal and cyanobacterial biomass. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 19, p. 7587-7591, 2010.
- LUCISANO, M. *et al.* Characterization of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the cooking behaviour. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n3, p. 667-675, 2012.
- MADRONA, G. S.; ALMEIDA, A. M. Elaboração de biscoitos tipo cookie à base de okara e aveia. **Revista Tecnológica**, v. 17, n. 2, p. 61-72, 2008.
- MARIANI, M. *et al.* Elaboração e avaliação de biscoitos sem glúten a partir de farelo de arroz e de soja. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 1, p. 70-78, 2015.
- MEHARIYA, S. *et al.* Microalgae for high-value products: A way towards green nutraceutical and pharmaceutical compounds. **Chemosphere**, v. 280, p. 130553, 2021.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory Evaluation Techniques**. 4 ed. Boca Raton: CRC Press, p. 448, 2006.
- MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A.J. *et al.* A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: Status quo, applications, patents, and research needs. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 8, p. 1999-2049, 2022.
- MELO, G. B. *et al.* Extruded rice-based snack with *Spirulina platensis* and mixed flour of orange and peach palm by-products. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 5, p. e41310515142, 2021.
- MOLINO, A. *et al.* Microalgae Characterization for Consolidated and New Application in Human Food, Animal Feed and Nutraceuticals. **International journal of environmental research and public health**, v. 15, p. 2436, 2018.
- MOROWVAT, M. H.; GHASEMI, Y. Culture Medium Optimization for Enhanced β -Carotene and Biomass Production by *Dunaliella salina* in Mixotrophic Culture. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 7, p. 217–223, 2016.
- NAVACCHI, M. F. P. *et al.* Development of cassava cake enriched with its own bran and *Spirulina platensis*. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, n. 4, p. 465-472, 2012.
- NIU, M. *et al.* Effects of superfine grinding on the quality characteristics of whole-wheat flour and its raw noodle product. **Journal of Cereal Science**, v. 60, p. 382-388. 2014.
- NOGUEIRA, M. B. Fundamentos e Introdução da Análise Sensorial. In: NORA, F. M. D. (org). **Análise Sensorial Clássica [livro eletrônico]: Fundamentos e métodos**. Canoas, RS: Mérida Publisher. p. 09-31, 2021.
- OLIVEIRA, A. F. Análise Sensorial dos Alimentos. **Apostila da disciplina de Análise Sensorial, Curso de Tecnologia de Alimentos**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2010.
- OLIVEIRA, I. M. *et al.* Utilização de farinhas alternativas em produtos de panificação: uma revisão literária. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-27, 2020.
- OLIVEIRA, L. L. *et al.* Gluten-free sorghum pasta: composition and sensory evaluation with different sorghum hybrids. **Foods**, v. 11, n. 19, p. 3124, 2022.

ORLANDIN, L. C. **Desenvolvimento e Avaliação da Qualidade de Massas Alimentícias sem Glúten à Base de Farinhas de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench)**. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana) Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

PADALINO, L.; CONTE, A.; DEL NOBILE, M.A. Overview on the general approaches to improve gluten-free pasta and bread. **Foods**, v. 5, n. 4, p. 87, 2016.

PAGNUSSATT, F. A. *et al.* Technological and nutritional assessment of dry pasta with oatmeal and the microalga *Spirulina platensis*. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 296-304, 2014.

QUEIROZ, V. A. V. *et al.* Sorgo: Cereal ancestral bem atual: coletânea de receitas sem glúten com sorgo integral. Brasília, DF: **EMBRAPA**, 2020.

RAKHESH, N., FELLOWS, C.M., SISSONS, M. Evaluation of the technological and sensory properties of durum wheat spaghetti enriched with different dietary fibers. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, p. 2-11, 2015.

RIYAD, Y. M.; NAEEM, M.M.M; SLAMA, S. Evaluation of gluten-free noodles fortified by *Spirulina* algae. **Egyptian Journal of Nutrition**, v. 35, n. 1, p. 133-160, 2020.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. *et al.* Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, p. 445-463, 2008.

RODRÍGUEZ-RAMOS, P. A.; LOMBARDI, A. T.; CANDIDO, C. Impacto ambiental ponderado da biomassa microalgal visando a produção de carotenoides. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v. 26, n. 4, p. 83-94, 2017.

RONKO, L. Z. *et al.* Amido e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* C.): obtenção e caracterização de diferentes variedades. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 14, n. 1, p. 2962-2982, 2020.

ŞAHİN, O. I. Functional and sensorial properties of cookies enriched with *Spirulina* and *Dunaliella* biomass. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, p. 3639-3646, 2020.

SATHASIVAM, R, *et al.* Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26.4, p. 709-722, 2019.

SINGLETON V. L., ORTHOFER R., LAMUELA-RAVENTÓS R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, v.299, p.152-179, 1999.

STAHL, W.; SIES, H. Antioxidant activity of carotenoids. **Molecular Aspects of Medicine**, v. 24, n. 6, p. 345-351, 2003.

TAMMAM, A. A.; FAKHRY, E. M.; EL-SHEEKH, M. Effect of salt stress on antioxidant system and the metabolism of the reactive oxygen species in *Dunaliella salina* and *Dunaliella tertiolecta*. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 19, p. 3795-3808, 2011.

TEIXEIRA, L. V. Análise sensorial na indústria de alimentos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 64, n. 366, p. 12-21, 2009.

TURKMEN, N. *et al.* Effects of cooking methods on chlorophylls, pheophytins and colour of selected green vegetables. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 41, n. 3, p. 281-288, 2006.

VACARI, L.; GULARTE, M. A.; SANTOS, R. B. Princípios da Análise Sensorial. In: PEREIRA A.M., ÁVILA B.P., SOUZA E.J.D. de, GULARTE M.A. (Orgs.). Descomplicando a Análise Sensorial: Grãos e Derivados. **Mérida Publishers**. 2021.

VIEIRA, T. S. *et al.* Efeito da substituição da farinha de trigo no desenvolvimento de biscoitos sem glúten. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 285-292, 2015.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As farinhas produzidas com sorgo, subprodutos de palmito pupunha e mandioca destacam-se por propriedades promissoras na formulação de produtos saudáveis livres de glúten. A farinha de sorgo (FS) é rica em amido ($73,44 \text{ g.100g}^{-1}$), com teores significativos de fibras ($9,42 \text{ g.100g}^{-1}$) e proteínas ($6,19 \text{ g.100g}^{-1}$), além de alto conteúdo de fósforo. A farinha de pupunha (FP) tem elevado teor de fibras ($49,47 \text{ g.100g}^{-1}$), açúcares e potássio, com baixa quantidade de amido. Já a farinha de mandioca (FM) possui níveis semelhantes de amido ($40,67 \text{ g.100g}^{-1}$) e fibras ($47,61 \text{ g.100g}^{-1}$), com maior teor de cálcio. Quanto aos compostos bioativos, a FP destaca-se pelos altos níveis de carotenoides ($1393,24 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$), enquanto a FS apresenta a maior atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos com $3,07 \text{ mgTE.g}^{-1}$ e $136,25 \text{ mgGAE.100g}^{-1}$, respectivamente. As análises tecnológicas indicam que FP e FM, devido ao alto teor de fibras, apresentam maiores valores de índices de absorção de água (IAA) e de absorção de óleo (IAO), com FM mostrando maior viscosidade. A *Dunaliella salina* (DS) se apresentou com elevado conteúdo de proteínas (28 g.100g^{-1}), lipídios e cinzas, demonstrou boa capacidade antioxidante, com altos teores de compostos fenólicos ($1783,05 \text{ mgEAG.100g}^{-1}$), em extrato aquoso. Os carotenoides conferem à biomassa coloração alaranjada amarronzada e está presente em altas concentrações ($2167 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$).

A utilização dessas farinhas para produção de massas alimentícias gerou produtos com enriquecimento nutricional, potencial funcional e características tecnológicas satisfatórias. Utilizando a metodologia de superfície de resposta, foram gerados gráficos e equações que indicam os efeitos das variáveis nas características das massas estudadas. A farinha de pupunha (FP) demonstrou impacto significativo nos teores de fibras, compostos fenólicos (CF) e atividade antioxidante (AA). A farinha de sorgo (FS) influenciou principalmente a perda de sólidos (PS) e a dureza das massas. Já a farinha de mandioca (FM) teve efeito significativo na atividade antioxidante. Apesar de o conteúdo proteico ter variado pouco entre as amostras ($6,94$ a $8,29 \text{ g.100g}^{-1}$), as massas com maior inclusão de subprodutos apresentaram maiores teores de fibras ($24,32 \text{ g.100g}^{-1}$), lipídios ($5,32 \text{ g.100g}^{-1}$), cinzas ($2,91 \text{ g.100g}^{-1}$), compostos fenólicos ($211,56 \text{ mgEAG.100g}^{-1}$) e atividade antioxidante medida pelo método FRAP ($3,42 \text{ mgTE.g}^{-1}$). As avaliações tecnológicas indicaram que as massas com maiores teores de fibras apresentaram menor aumento de peso e maior perda de sólidos e tempo de cozimento. Concluiu-se que a amostra 8, sem farinha de arroz, foi a mais satisfatória, devido ao seu maior enriquecimento nutricional e teores elevados de compostos bioativos.

Ao ensaio 8, foi adicionado de 2 e 5% de DS. As massas com *D. salina*, resultaram em um produto com aumento do valor proteico, compostos bioativos como carotenoides e atividade antioxidante. O aumento do conteúdo de microalgas, de 2 para 5%, não resultou em aumento significativo na capacidade antioxidante das massas, apenas no teor de carotenoides totais que subiu de 168 para 266 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Não houve diferença estatística entre as massas nos aspectos tecnológicos e de textura, confirmando que a DS acarretou enriquecimento nutricional e potencial funcional sem afetar as características estruturais das massas. Os resultados das análises microbiológicas mostraram ausência de contaminantes, evidenciando que os macarrões são seguros para consumo. Na análise sensorial, as formulações foram avaliadas positivamente pelos avaliadores. Os atributos mais apreciados foram a impressão global, a aparência, a cor e o odor. A adição de *D. salina* não resultou em diferença estatisticamente significativa na análise sensorial, no entanto, a massa enriquecida com *D. salina* é considerada uma opção mais vantajosa para a saúde.

Em resumo, as massas que combinam estas farinhas mostram potencial para desenvolver produtos alimentares com alto valor nutricional e funcional, especialmente aqueles destinados a consumidores com necessidades específicas, como dietas isentas de glúten.

APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)



Universidade Estadual de Ponta Grossa
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação

Comissão de Ética em Pesquisa em Seres Humanos
Av. Gen. Carlos Cavalcanti, 4748. CEP: 84030-900 Bloco M, sala 100.
Campus Uvaranas – Ponta Grossa. Fone: (42) 3220-3108 email: seccoep@uepg.br

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Você está sendo convidado a participar da pesquisa sobre “COMPARAÇÃO DA ACEITAÇÃO SENSORIAL, DE VIDA ÚTIL E CUSTOS DE MACARRÃO COMERCIAL SEM GLÚTEN COM PRODUTO ELABORADO COM SORGO, SUBPRODUTOS DE PALMITO PUPUNHA, MANDIOCA E *Dunaliella salina*”, tendo como pesquisador responsável Profª Drª Eliane D. Godoy da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

O objetivo da pesquisa é avaliar a viabilidade da adição de subprodutos agroindustriais no desenvolvimento de alimentos com potencial funcional. Além disso, serão enriquecidos nutricionalmente com biomassas desidratadas da microalga *Dunaliella salina*.

A sua participação no estudo será da seguinte forma: você receberá duas amostras, cada amostra será acompanhada de questões objetivas onde deverá escolher qual atributo mais descreve o produto avaliado. Os subprodutos agroindustriais aplicados neste estudo apresentam importância nutricional devido aos valores de fibras e antioxidantes. A participação como voluntário(a) na avaliação sensorial contribuirá com o desfecho do projeto de pesquisa, fornecendo informações sobre o posicionamento quanto a aceitação destes produtos. Você tem o direito de recusar ou não participar da pesquisa a qualquer momento, sem penalização.

Você está contribuindo com este estudo de forma voluntária, portanto, não receberá recompensa ou gratificação, nem pagará para participar, no entanto, haverá compensação material, exclusivamente de despesas do participante e seus acompanhantes, quando necessário, tais como transporte e alimentação, além de cobertura material para reparação a dano, causados pela pesquisa ao participante da pesquisa. Durante todas as fases da pesquisa nós garantimos sigilo e privacidade sobre a sua participação. Você está recebendo duas vias do TCLE que devem ser assinadas pelo Pesquisador Responsável e por você, onde, uma delas ficará com você como garantia dos seus direitos. Após as análises você tem o direito de ser informado dos resultados desta pesquisa e, quaisquer dúvidas e esclarecimento podem ser solicitados aos membros da equipe antes, durante ou após a sua participação ou com a Comissão de Ética em Pesquisa da UEPG, e toda assistência prestada não terá custo a você.

Av. Gen. Carlos Cavalcanti, 4748. CIPP, Lab. 09. Universidade Estadual de Ponta Grossa - Campus Uvaranas - Ponta Grossa/PR
Eliane D. Godoy Cel.: (42) 999388576 e-mail: elianegodoydanesi@hotmail.com,
edgodoy@uepg.br

Eliane Dalva Godoy

23 de outubro de 2023

Pesquisadora/ Data

APÊNDICE B - PARECER SUBSTANCIADO DO CEP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: Desenvolvimento de formulações de produtos alimentícios com potencial funcional a partir de cogumelos, subprodutos agroindustriais e biomassas de microrganismos fotossintetizantes

Pesquisador: ELIANE DALVA GODOY

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 56533322.7.0000.0105

Instituição Proponente: Universidade Estadual de Ponta Grossa

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.555.739

Apresentação do Projeto:

Pesquisa sobre potencial funcional de cogumelos, subprodutos agroindustriais e biomassas de microrganismos fotossintetizantes em formulações de produtos alimentícios. As informações elencadas nos campos "Apresentação do Projeto", "Objetivos da Pesquisa" e "Avaliação dos Riscos e Benefícios" foram retiradas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa

PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1905107, de 08/04/2022

Objetivo da Pesquisa:

- Avaliar a viabilidade tecnológica e sensorial da adição de subprodutos agroindustriais, de biomassas de microrganismos fotossintetizantes e de cogumelos na elaboração de alimentos com potencial funcional.
- Possibilidade de transferência de tecnologia ao setor agroindustrial para formas de aproveitamento dos subprodutos

Transferência de tecnologia em formulações de alimentos funcionais

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748. UEPG, Campus Uvaranas, Bloco da Reitoria, sala 22

Bairro: Uvaranas

CEP: 84.030-900

UF: PR

Município: PONTA GROSSA

Telefone: (42)3220-3282

E-mail: propespsecretaria@uepg.br

Continuação do Parecer: 5.555.739

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: Os consumidores serão informados quanto aos ingredientes utilizados na formulação dos produtos, evitando que pessoas alérgicas a algum componente realizem a avaliação e não sejam prejudicadas. A elaboração dos produtos destinados às análises sensoriais seguirão as Boas Práticas de Fabricação e serão previamente submetidos às análises microbiológicas, segundo legislação vigente, garantindo assim a segurança dos julgadores.

Benefícios: Destinar subprodutos gerados em grande escala de maneira integral para alimentação humana implica em redução de custos de tratamentos de resíduos. Os subprodutos agroindustriais aplicados neste estudo apresentam importância nutricional devido aos valores de fibras e antioxidantes e essas ações permitirão inserção em práticas de Economia Circular. As biomassas de microalgas e cogumelos, materiais produzidos por técnicas sustentáveis ou "ecofriendly" possibilitarão oferta de alimentos com potencial funcional para nichos de mercado específicos. A participação voluntária na avaliação sensorial contribuirá com os desfechos das pesquisas, fornecendo informações sobre o posicionamento sobre aceitação destes produtos

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa nacional, unicêntrica, prospectivo, com 200 pessoas, de pesquisadora da instituição. Previsão de início em março 2022 e término em fev. 2025

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Em anexo e de acordo com as resoluções 466/2012 e 510/2016

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748. UEPG, Campus Uvaranas, Bloco da Reitoria, sala 22
Bairro: Uvaranas **CEP:** 84.030-900
UF: PR **Município:** PONTA GROSSA
Telefone: (42)3220-3282 **E-mail:** propespsecretaria@uepg.br

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG**



Continuação do Parecer: 5.555.739

Recomendações:

Enviar o relatório final ao término do projeto de pesquisa por Notificação via Plataforma Brasil para evitar pendências.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto foi aprovado sem restrições, após avaliação documental. O projeto se encontra dentro dos princípios éticos e metodológicos, de acordo com o Conselho Nacional de Saúde, Resolução 466/2012 e 510/2016.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1905107.pdf	28/07/2022 13:23:08		Aceito
Folha de Rosto	folhaderostoenviadaterceiravez.pdf	28/07/2022 13:22:31	ELIANE DALVA GODOY	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoCOEP2022.pdf	25/02/2022 16:42:11	ELIANE DALVA GODOY	Aceito
Outros	Modelofichasensorial.pdf	25/02/2022 16:38:02	ELIANE DALVA GODOY	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE2022.docx	25/02/2022 16:34:41	ELIANE DALVA GODOY	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748. UEPG, Campus Uvaranas, Bloco da Reitoria, sala 22
Bairro: Uvaranas **CEP:** 84.030-900
UF: PR **Município:** PONTA GROSSA
Telefone: (42)3220-3282 **E-mail:** propespsecretaria@uepg.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG



Continuação do Parecer: 5.555.739

PONTA GROSSA, 01 de Agosto de 2022

Assinado por:
ULISSES COELHO
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748. UEPG, Campus Uvaranas, Bloco da Reitoria, sala 22

Bairro: Uvaranas

CEP: 84.030-900

UF: PR

Município: PONTA GROSSA

Telefone: (42)3220-3282

E-mail: prorespsecretaria@uepg.br

APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO ANÁLISE SENSORIAL

Questionário Macarrão sem glúten

Você está sendo convidado
a participar da pesquisa sobre "ACEITAÇÃO SENSORIAL DO MACARRÃO SEM GLÚTEN ",
tendo como
pesquisador responsável Profª Drª Eliane D. Godoy da Universidade
Estadual de Ponta Grossa.

* Indica uma pergunta obrigatória

1. E-mail *

2. Nome *

3. Idade *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Até 18 anos
- ☐ Entre 19 e 25
- ☐ Entre 26 e 32
- ☐ Entre 33 e 39
- ☐ Entre 40 e 46
- ☐ Entre 47 e 53
- ☐ Entre 54 e 60
- ☐ Entre 61 e 67
- ☐ Mais que 68

4. Gênero *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Feminino
- ☐ Masculino
- ☐ Não-Binário
- ☐ Prefiro não dizer

5. Qual sua escolaridade? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Ensino Fundamental incompleto
- ☐ Ensino Fundamental completo
- ☐ Ensino Médio incompleto
- ☐ Ensino Médio completo
- ☐ Ensino Superior incompleto
- ☐ Ensino Superior completo
- ☐ Pós-graduação

Macarrão

Responda as perguntas relacionadas ao consumo de macarrão em sua rotina

6. Com que frequência você consome macarrão ? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Todos os dias
- ☐ 2 a 3 vezes por semana
- ☐ 1 vez por semana
- ☐ De 15 em 15 dias
- ☐ 1 vezes por mês
- ☐ Esporadicamente
- ☐ Raramente
- ☐ Não consumo

7. O que você leva em consideração no momento da compra do produto? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Marca
- ☐ Ingredientes
- ☐ Preço
- ☐ Certificação de qualidade (orgânico, sem glúten, vegano).
- ☐ Textura
- ☐ Outro: _____

8. O que mais gosta no macarrão? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Cor
- ☐ Textura
- ☐ Sabor neutro
- ☐ Aparência
- ☐ Outro: _____

22. Sabor 910 *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Desi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Gostei extremamente

23. Marque **todas** as alternativas que se aplicam a amostra 910 *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Aroma agradável
- ☐ Cor palida
- ☐ Saboroso
- ☐ Boa textura
- ☐ Muito salgado
- ☐ Boa qualidade
- ☐ Firme
- ☐ Uniformidade na massa
- ☐ Aparenta ser caro
- ☐ Pegajoso
- ☐ Cor amarelada
- ☐ Aparenta ser barato

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários