

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

EDLAINE LIMA ALBUQUERQUE MOURA

**DESENVOLVIMENTO DE MASSAS DE PIZZA ISENTAS DE GLÚTEN COM
SUBPRODUTOS DE ARROZ, MANDIOCA E PALMITO PUPUNHA ENRIQUECIDA
COM *Dunaliella salina***

PONTA GROSSA

2026

EDLAINE LIMA ALBUQUERQUE MOURA

**DESENVOLVIMENTO DE MASSAS DE PIZZA ISENTAS DE GLÚTEN COM
SUBPRODUTOS DE ARROZ, MANDIOCA E PALMITO PUPUNHA ENRIQUECIDA
COM *Dunaliella salina***

Dissertação apresentada para
obtenção do título de Mestre em
Ciência e Tecnologia de
Alimentos no Programa de Pós-
Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos da
Universidade Estadual de Ponta
Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Eliane
Dalva Godoy

PONTA GROSSA

2026

M929 Moura, Edlaine Lima Albuquerque
Desenvolvimento de massas de pizza isentas de glúten com subprodutos de arroz, mandioca e palmito pupunha enriquecida com *Dunaliella salina* / Edlaine Lima Albuquerque Moura. Ponta Grossa, 2026.
252 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.

1. Tecnologia de alimentos. 2. Alimentos sem glúten. 3. Massas alimentícias. 4. Subprodutos agroindustriais. 5. Análise sensorial. I. Dalva Godoy, Eliane. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ciências e Tecnologia de Alimentos. III.T.

CDD: 664

TERMO DE APROVAÇÃO

EDLAINE LIMA ALBUQUERQUE MOURA

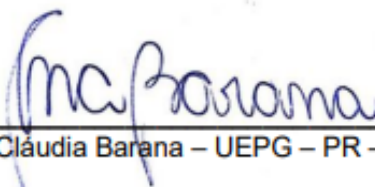
**DESENVOLVIMENTO DE MASSAS DE PIZZA ISENTAS DE GLÚTEN COM
SUBPRODUTOS DE ARROZ, MANDIOCA E PALMITO PUPUNHA
ENRIQUECIDA COM *Dunaliella salina***

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre no Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, na Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador:



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



Profa. Dra. Ana Cláudia Barana – UEPG – PR – Membro Titular



Documento assinado digitalmente

KATIUCHIA PEREIRA TAKEUCHI

Data: 10/02/2026 15:13:00-0300

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

Profa. Dra. Katiuchia Pereira Takeuchi – UFMT – MT – Membro Titular Externo



Documento assinado digitalmente

JOSE PEDRO WOJECCHOWSKI

Data: 09/02/2026 15:42:07-0300

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

Prof. Dr. José Pedro Wojecchowski – UEPG – PR – Membro Titular

Ponta Grossa, 06 de fevereiro de 2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pela força.

À minha família, com carinho especial à minha avó e irmã, por oferecerem amor sem medidas.

Ao meu esposo, meu companheiro de todos os dias, cujo apoio foi o alicerce para que eu chegasse até aqui.

Minha gratidão profunda à Profa. Dra. Eliane Dalva Godoy, que foi muito além da orientação, oferecendo uma amizade valiosa.

Aos professores da banca, Profa. Dra. Ana Cláudia Barana, Profa. Dra. Katiuchia Pereira Takeuchi e Prof. Dr. José Pedro Wojeicchowski, agradeço pela disponibilidade, pelo olhar atento e pelas sugestões que engrandeceram esta pesquisa.

Estendo meus agradecimentos à Profa. Dra. Camila Delinski e Profa. Dra. Beatriz Cervejeira Bolanho Barros pelas contribuições enriquecedoras.

À Denise Mendes, técnica de laboratório, pela competência técnica e pela amizade durante as análises.

À técnica Meire Franci Polonio Navacchi e a Dra Aline Kirie Gohara Beirigo pelo auxílio fundamental na obtenção do subproduto de mandioca e pelo fornecimento da microalga.

A todos os professores do programa de pós-graduação pelos ensinamentos, auxílios nas análises e incentivos, em especial a Profa. Dra. Renata Dinnies Santos Salem por sempre estar disponível nos momentos em que precisei.

Às alunas de iniciação científica, Thamyres, Thaynara, Ísis, Ane e Elizane, pelo companheirismo e pela valiosa oportunidade de coorientá-las.

À Capes pela bolsa de auxílio à pesquisa.

RESUMO

Pizzas fazem parte da alimentação de grande parte da população mundial, entretanto uma parcela de pessoas com restrições relacionadas ao glúten, não podem consumi-las. A segurança alimentar e nutricional é uma preocupação, devido ao crescimento populacional e a tendência que relaciona a alimentação com saúde e bem estar. A indústria alimentícia gera um volume significativo de subprodutos, representando um desafio ambiental. Neste contexto, os subprodutos do processamento do arroz (FA), mandioca (FM) e palmito pupunha (FP) podem ser opções de matérias-primas para desenvolvimento de alimentos isentos de glúten, pois além de conterem amido, são fonte de fibras, vitaminas, minerais e compostos bioativos. Os alimentos isentos de glúten apresentam deficiências nutricionais que podem ser combatidas pelo emprego de *Dunaliella salina* (DS), fonte de proteínas, carotenoides e compostos bioativos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver pizzas isentas de glúten à base de subprodutos de arroz, mandioca e palmito pupunha enriquecidas com *D. salina*. Inicialmente, a percepção do consumidor sobre produtos isentos de glúten, farinhas de subprodutos e *D. salina* foi investigada por meio da Análise de Componentes Principais (ACP) de dados obtidos através da aplicação de um questionário online. Revelou-se três segmentos de consumidores: (1) por necessidade clínica, (2) orientados por dieta e valor nutricional, e (3) interessados em benefícios à saúde. Apesar do desconhecimento sobre subprodutos (53,1% nunca experimentaram) e *D. salina* (88% desconheciam), 57,8% demonstraram disposição em experimentar novos alimentos mediante comunicação clara de seus benefícios. Na etapa seguinte, as farinhas de subprodutos FA, FM e FP foram caracterizadas. As farinhas de palmito e mandioca se destacaram pelo alto teor de fibras alimentares (49,97 g.100g⁻¹ e 47,11 g.100g⁻¹, respectivamente), enquanto a farinha de arroz apresentou maior teor proteico. A FM mostrou um perfil viscoamilográfico de alta viscosidade de pico e baixa retrogradação, sugerindo estabilidade em panificados. Essas farinhas foram utilizadas para o desenvolvimento de massas de pizza através de um planejamento de misturas com restrições. Os resultados demonstraram elevado teor de fibras (de 8,95 a 19,50 g.100g⁻¹), conferindo alegação de "Alto Teor de Fibras" à maioria das amostras. Também houve aumento nos compostos fenólicos e redução calórica de até 40% em relação ao produto comercial com glúten, usado para comparação. A análise de desejabilidade indicou a formulação F4 (30% FM, 20% FP, 50% FA) como a mais promissora. Desta forma, avaliou-se o enriquecimento dessa formulação com 2% de *D. salina*. A microalga aumentou significativamente o teor de proteínas, compostos fenólicos e atividade antioxidante, além de introduzir carotenoides, atuando na coloração da massa, com aceitabilidade sensorial foi satisfatória. Por fim, a vida útil foi acompanhada por 15 dias em condições de congelamento, refrigeração e temperatura ambiente com óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare*). O estudo de vida útil demonstrou segurança microbiológica por 15 dias nos três métodos de armazenamento. Desta forma, comprovou-se a viabilidade e o potencial funcional dos subprodutos e da *D. salina* para desenvolvimento de pizzas isentas de glúten mais nutritivas e sustentáveis. A proposta se alinha aos princípios da economia circular e com potencial de aceitação do mercado, desde que as estratégias de rotulagem e educação alimentar sejam adequadamente implementadas.

Palavras-chave: Sustentabilidade, fibras alimentares, compostos bioativos, aceitabilidade sensorial, estabilidade.

ABSTRACT

Pizzas are part of the diet of a large part of the world's population, but some people with gluten-related restrictions cannot eat them. Food and nutritional security is a concern due to population growth and the trend that links food to health and well-being. The food industry generates a significant volume of by-products, posing an environmental challenge. In this context, by-products from the processing of rice (FA), cassava (FM), and pupunha palm hearts (FP) can be options for raw materials for the development of gluten-free foods, as they contain starch and are a source of fiber, vitamins, minerals, and bioactive compounds. Gluten-free foods have nutritional deficiencies that can be addressed by using *Dunaliella salina* (DS), a source of proteins, carotenoids, and bioactive compounds. The objective of this study was to develop gluten-free pizzas based on rice, cassava, and pupunha palm heart by-products enriched with *D. salina*. Initially, consumer perception of gluten-free products, by-product flours, and *D. salina* was investigated using Principal Component Analysis (PCA) of data obtained through an online questionnaire. Three consumer segments were identified: (1) those with clinical needs, (2) those guided by diet and nutritional value, and (3) those interested in health benefits. Despite a lack of knowledge about by-products (53.1% had never tried them) and *D. salina* (88% were unaware), 57.8% showed a willingness to try new foods if their benefits were clearly communicated. In the next stage, FA, FM, and FP by-product flours were characterized. Palm heart and cassava flours stood out for their high dietary fiber content (49.97 g.100g⁻¹ and 47.11 g.100g⁻¹, respectively), while rice flour had the highest protein content. FM showed a viscoamylographic profile with high peak viscosity and low retrogradation, suggesting stability in baked goods. These flours were used to develop pizza dough through a restricted mixture design. The results showed a high fiber content (from 8.95 to 19.50 g.100g⁻¹), giving most samples a "High Fiber Content" claim. There was also an increase in phenolic compounds and a caloric reduction of up to 40% compared to the commercial gluten product used for comparison. The desirability analysis indicated formulation F4 (30% FM, 20% FP, 50% FA) as the most promising. Thus, the enrichment of this formulation with 2% *D. salina* was evaluated. The microalgae significantly increased the protein content, phenolic compounds, and antioxidant activity, in addition to introducing carotenoids, which acted on the color of the dough, with satisfactory sensory acceptability. Finally, the shelf life was monitored for 15 days under freezing, refrigeration, and room temperature conditions with oregano essential oil (*Origanum vulgare*). The shelf life study demonstrated microbiological safety for 15 days in all three storage methods. Thus, the viability and functional potential of by-products and *D. salina* for the development of more nutritious and sustainable gluten-free pizzas was proven. The proposal is in line with the principles of the circular economy and has the potential for market acceptance, provided that labeling and food education strategies are properly implemented.

Keywords: Sustainability, dietary fiber, bioactive compounds, sensory acceptability, stability.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Perfil nutricional da <i>D. salina</i> e os benefícios associados aos principais compostos	44
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Trigo e suas frações proteicas.....	22
Figura 1.2 - Projeção do mercado global de pizza (2020 - 2031)	23
Figura 1.3 - Estrutura do grão de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	28
Figura 1.4 - Beneficiamento do arroz e geração dos subprodutos.....	29
Figura 1.5 - Mandioca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz), suas partes e geração do subproduto na extração do amido.....	31
Figura 1.6 - Pupunheira (<i>Bactris gasipaes</i> Kunth) e seus subprodutos	33
Figura 1.7 - Caule comercial da pupunha antes do processamento industrial	34
Figura 1.8 - Estrutura do amido, recorte do polímero linear de amilose (a) e ramificado de amilopectina (b)	37
Figura 1.9 - Microalga <i>Dunaliella salina</i>	42
Figura 2.1 - Fluxograma da metodologia de seções aplicada no questionário	71
Figura 2.2 - Gráfico de scree plot com variação explicada pelos componentes principais.....	74
Figura 2.3 - Análise de componentes principais com agrupamento.....	75
Figura 2.4 - Caracterização dos grupos obtidos por meio da análise de componentes principais por variável.....	76
Figura 2.5 - Matriz de correlação entre variáveis relacionadas aos motivos de consumo, sugestões de melhoria e as dificuldades de alimentos isentos de glúten	78
Figura 2.6 - Conhecimento sobre as farinhas de subprodutos	80
Figura 2.7 - Conhecimento sobre a microalga <i>Dunaliella salina</i>	80
Figura 2.8 - Conhecimento sobre o produto a ser desenvolvido.....	81
Figura 2.9 - Motivos para aumento da aceitação de novos alimentos	82
Figura 2.10 - Disposição dos respondentes em aceitar novos alimentos.....	83
Figura 3.1 - Processo de elaboração da farinha de subproduto de arroz	91
Figura 3.2 - Processo de elaboração da farinha de subproduto de mandioca.....	91
Figura 3.3 - Processo de elaboração da farinha de subproduto de palmito pupunha	92
Figura 3.4 - Farinhas elaboradas a partir dos subprodutos	99
Figura 3.5 - Eletromicrografias das farinhas de subprodutos agroindustriais	107
Figura 3.6 - Viscoamilogramas das farinhas de subproduto de mandioca (FM) e do subproduto de arroz	109
Figura 4.1 - Etapas de elaboração das massas de pizza	128
Figura 4.2 - Massas de pizzas elaboradas	128
Figura 4.3 - Efeito das farinhas de subprodutos no teor de umidade das massas de pizza isentas de glúten	135
Figura 4.4 - Efeito das farinhas de subprodutos no teor de proteínas das massas de pizza isentas de glúten	137

Figura 4.5 - Efeito das farinhas de subprodutos no teor de lipídios das massas de pizza isentas de glúten	138
Figura 4.6 - Efeito das farinhas de subprodutos no teor de cinzas das massas de pizza isentas de glúten	140
Figura 4.7 - Efeito das farinhas de subprodutos no teor de cinzas das massas de pizza isentas de glúten	141
Figura 4.8 - Efeito das farinhas de subprodutos no teor de carboidratos das massas de pizzas isentas de glúten	143
Figura 4.9 - Efeito das farinhas de subprodutos no valor energético antes da inclusão das fibras (VNA) nas massas de pizzas	147
Figura 4.10 - Efeito das farinhas de subprodutos no valor energético depois da inclusão das fibras (VNE) nas massas de pizzas	148
Figura 4.11 - Efeito das farinhas de subprodutos nos compostos fenólicos nas massas de pizza	151
Figura 4.12 - Efeito das farinhas de subprodutos na atividade antioxidante nas massas de pizza	153
Figura 4.13 - Efeito das farinhas de subprodutos na atividade de água (aw) nas massas de pizza	156
Figura 4.14 - Efeito das farinhas de subprodutos na luminosidade nas massas de pizza	158
Figura 4.15 - Efeito das farinhas de subprodutos na coordenada cromática do verde ao vermelho	159
Figura 4.16 - Efeito das farinhas de subprodutos na coordenada cromática do azul ao amarelo nas massas de pizza	161
Figura 4.17 - Efeito das farinhas de subprodutos no croma das massas de pizza	162
Figura 4.18 - Efeito das farinhas de subprodutos no ângulo Hue	164
Figura 4.19 - Efeito das farinhas de subprodutos no índice de expansão das massas de pizza	165
Figura 4.20 - Efeito das farinhas de subprodutos no volume específico das massas de pizza	167
Figura 4.21 - Efeito das farinhas de subprodutos na dureza nas massas de pizza	169
Figura 4.22 - Ranking de desejabilidade global	171
Figura 4.23 - Análise de sensibilidade e desejabilidade da F4	172
Figura 5.1 - Processamento das massas de pizza	182
Figura 5.2 - Amostras servidas para a análise sensorial	187
Figura 5.3 - Massas de pizzas elaboradas após assamento	188
Figura 5.4 - Círculo de cor CIELab	198
Figura 5.5 - Média das notas referentes aos atributos sensoriais avaliados das massas P0 e P2	202
Figura 5.6 - Índice de aceitabilidade das massas de pizza para cada atributo	203
Figura 6.1 - Amostras de massas de pizza isentas de glúten embaladas para armazenamento	217

Figura 6.2 - Etapas do ensaio da vida útil das pizzas isentas de glúten	218
Figura 6.3 - Amostras para análise de textura da vida útil após 15 dias de armazenamento	219

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Composição de discos de pizzas comerciais isentos de glúten em 100 g	24
Tabela 1.2 - Comparação de dados sobre a composição química de derivados de mandioca	32
Tabela 1.3 - Composição nutricional e valor calórico das farinhas das bainhas de palmito	35
Tabela 3.1 - Determinações físico-químicas das farinhas elaboradas (média $\pm$ desvio padrão)	99
Tabela 3.2 - Teores de compostos fenólicos, atividade antioxidante das farinhas elaboradas	102
Tabela 3.3 - Características tecnológicas das farinhas de subprodutos agroindustriais	103
Tabela 3.4 - Quantificação do teor amido, amilose e amilopectina das farinhas de subprodutos agroindustriais	105
Tabela 3.5 - Parâmetros viscoamilográficos (RVA) das farinhas de subprodutos de mandioca e de arroz	108
Tabela 4.1 - Valores reais de cada farinha para cada formulação de pizzas	123
Tabela 4.2 - Transformação dos valores reais em pseudocomponentes	125
Tabela 4.3 - Planejamento de misturas com restrições	127
Tabela 4.4 - Composição proximal das massas de pizzas elaboradas	133
Tabela 4.5 - Coeficientes de efeito linear, coeficientes de determinação (R^2) e níveis descritivos (p) para a composição proximal das massas de pizza isentas de glúten	134
Tabela 4.6 - Valores energéticos das massas de pizza isentas de glúten em comparação ao produto comercial	146
Tabela 4.7 - Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante das massas de pizza elaboradas em comparação com produto comercial com glúten	150
Tabela 4.8 - Propriedades tecnológicas das massas de pizza isentas de glúten elaboradas	155
Tabela 4.9 - Características mecânicas das massas de pizza	165
Tabela 4.10 - Resultados do teste de dureza das massas de pizza	168
Tabela 5.1 - Formulações para as massas de pizzas isentas de glúten sem e com <i>D. salina</i>	181
Tabela 5.2 - Composição proximal ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) da <i>D. salina</i>	188
Tabela 5.3 - Composição proximal das massas de pizzas elaboradas	189
Tabela 5.4 - Teores de compostos fenólicos, atividade antioxidante, carotenoides e clorofilas na <i>D. salina</i>	191
Tabela 5.5 - Teores de compostos fenólicos, atividade antioxidante, carotenoides e clorofilas nas massas de pizza elaboradas	192

Tabela 5.6 - Composição por UHPLC-MS/MS na <i>D.salina</i> e nas massas de pizza	194
Tabela 5.7 - Colorimetria das massas de pizza.....	197
Tabela 5.8 - Resultado das análises microbiológicas das massas de pizzas isentas de glúten.....	198
Tabela 5.9 - Atributos levados em consideração na compra de massas de pizza pelos avaliadores que participaram da análise sensorial	200
Tabela 5.10 - Atributos preferidos em massas de pizza de acordo com os avaliadores que participaram da análise sensorial	200
Tabela 5.11 - Valores médios para os atributos sensoriais avaliados das massas de pizza sem <i>D. salina</i> (P0) e com 2% de <i>D. salina</i> (P2).....	201
Tabela 5.12 - Os 10 principais atributos escolhidos pelos avaliadores que participaram da análise sensorial para a massa de pizza P0 (sem <i>D. salina</i>) e pizza P2 (com 2% de <i>D. salina</i>).....	204
Tabela 6.1 - Dureza das massas de pizza antes e após armazenamento em diferentes condições por 15 dias	220
Tabela 6.2 - Atividade de água após 15 dias de armazenamento em diferentes condições.....	222
Tabela 6.3 - Umidade após 15 dias de armazenamento das massas de pizza em diferentes condições	222
Tabela 6.4 - Padrões microbiológicos das massas de pizza após 15 dias de armazenamento em diferentes condições.....	224

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
OBJETIVOS	20
CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
1.1 FARINHA DE TRIGO E GLÚTEN	21
1.2 MASSAS DE PIZZAS	23
1.3 VALORIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS E SEGURANÇA ALIMENTAR.....	25
1.3.1 Subproduto do Processamento do Arroz (quirera).....	27
1.3.2 Subproduto do Processamento da Mandioca	30
1.3.3 Subprodutos do Processamento do Palmito Pupunha	32
1.4 COMPONENTES DOS SUBPRODUTOS DE IMPACTO TECNOLÓGICO	36
1.4.1 Amido.....	36
1.4.2 Fibras Alimentares.....	39
1.4.2.1 Fibras alimentares: aspectos nutricionais	39
1.5 FONTE DE ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL PARA PRODUTOS ISENTOS DE GLÚTEN: MICROALGA <i>DUNALIELLA SALINA</i>	42
1.6 IMPACTO DOS MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO NA VIDA ÚTIL DE MASSAS DE PIZZA.....	46
1.6.1 Armazenamento Refrigerado e Congelado.....	47
1.6.2 Óleo Essencial de Orégano: Propriedades e Mecanismo de Ação.....	48
1.6.3 Embalagens	49
1.7 ANÁLISE SENSORIAL E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	50
1.8 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	53
CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS APLICADA A PADRÕES DE CONSUMO: PERCEPÇÕES SOBRE PRODUTOS ISENTOS DE GLÚTEN, SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS E <i>Dunaliella salina</i>	68
2.1 INTRODUÇÃO	68
2.2 OBJETIVOS	70

2.2.1 Objetivo Geral	70
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS	70
2.3.1 Questionário para Conhecimento Populacional Sobre o Tema	71
2.3.2 Tratamento Estatístico dos Dados do Questionário	72
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
2.5 CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS	85

CAPÍTULO 3 - FARINHAS DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS: UMA PROPOSTA SUSTENTÁVEL PARA PRODUTOS ISENTOS DE GLÚTEN

3.1 INTRODUÇÃO	88
3.2 OBJETIVOS	90
3.2.1 Objetivo Geral	90
3.2.2 Objetivos Específicos	90
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS	90
3.3.1 Obtenção das Farinhas.....	90
3.3.2 Características Físico-Químicas das Farinhas dos Subprodutos.....	92
3.3.3 Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante	93
3.3.4 Características Tecnológicas das Farinhas	94
3.3.4.1 Granulometria.....	94
3.3.4.2 Atividade de água, índice de absorção em água, óleo e solubilidade em água das farinhas	95
3.3.4.3 Análise colorimétrica.....	95
3.3.4.4 Teor de amido	96
3.3.4.5 Extração do amido para determinação de amilose e amilopectina	97
3.3.4.6 Teor de amilose e amilopectina.....	97
3.3.4.7 Propriedades de pasta das farinhas (RVA).....	98
3.3.4.8 Microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo (MEV) dos amidos e da mistura das farinhas	98
3.3.5 Análise Estatística	98
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	99
3.4.1 Composição Físico-Química das Farinhas dos Subprodutos	99
3.4.2 Análise de Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante das Farinhas	102

3.4.3 Propriedades Tecnológicas das Farinhas.....	103
3.5 CONCLUSÃO	110
REFERÊNCIAS	112

CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO DE MASSAS DE PIZZA ISENTAS DE GLÚTEN COM SUBPRODUTOS DE ARROZ, PALMITO PUPUNHA E MANDIOCA

.....	119
4.1 INTRODUÇÃO	120
4.2 OBJETIVOS	121
4.2.1 Objetivo Geral	121
4.2.2 Objetivos Específicos	122
4.3 MATERIAIS E MÉTODOS	122
4.3.1 Obtenção das Farinhas.....	122
4.3.2 Obtenção das Massas de Pizza.....	122
4.3.3 Composição Proximal das Massas de Pizza	128
4.3.4 Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante	129
4.3.5 Características Tecnológicas e Propriedades Mecânicas	129
4.3.5.1 Atividade de água.....	129
4.3.5.2 Análise colorimétrica.....	129
4.3.5.3 Índice de expansão.....	129
4.3.5.4 Volume específico	130
4.3.5.5 Perda de massa no assamento.....	130
4.3.5.6 Análise de textura: dureza das massas de pizza	130
4.3.6 Análise Estatística	131
4.3.7 Avaliação da Desejabilidade	131
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	132
4.4.1 Composição Proximal dos Discos de Pizza.....	132
4.4.2 Compostos Fenólicos Totais e Atividade Antioxidante	150
4.4.3 Características Tecnológicas e Propriedades Mecânicas dos Discos de Pizza	154
4.4.4 Desejabilidade.....	170
4.5 CONCLUSÃO	173
REFERÊNCIAS	174

CAPÍTULO 5 - ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL DE MASSAS DE PIZZA ISENTAS DE GLÚTEN COM <i>Dunaliella salina</i>	178
5.1 INTRODUÇÃO	178
5.2 OBJETIVOS	180
5.2.1 Objetivo Geral	180
5.2.2 Objetivos Específicos	180
5.3 MATERIAIS E MÉTODOS	181
5.3.1 Obtenção das Massas de Pizza	181
5.3.2 Composição Proximal	182
5.3.3 Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante	183
5.3.3.1 Extratos	183
5.3.3.2 Compostos fenólicos e atividade antioxidante	183
5.3.4 Composição por UHPLC-MS/MS	183
5.3.5 Carotenoides, Clorofilas A e B	184
5.3.6 Análise Colorimétrica	185
5.3.7 Avaliação Microbiológica	185
5.3.8 Análise Sensorial	186
5.3.9 Análise Estatística	187
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	188
5.4.1 Composição Proximal	188
5.4.2 Compostos Fenólicos, Atividade Antioxidante e Carotenoides da <i>D. salina</i> e das massas de pizza	191
5.4.3 Composição por UHPLC-MS/MS	193
5.4.4 Características Colorimétricas	196
5.4.5 Avaliação Microbiológica	198
5.4.6 Análise Sensorial	199
5.5 CONCLUSÃO	205
REFERÊNCIAS	206
 CAPÍTULO 6 - AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL DAS MASSAS DE PIZZA EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO	 212

6.1 INTRODUÇÃO	212
6.2 OBJETIVOS	214
6.2.1 Objetivo Geral	214
6.2.2 Objetivos Específicos	214
6.3 MATERIAIS E MÉTODOS	215
6.3.1 Testes Preliminares	215
6.3.2 Métodos de Armazenamento	215
6.3.3 Caracterização das Amostras em Diferentes Condições de Armazenamento	218
6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	220
6.5 CONCLUSÃO	226
REFERÊNCIAS	227
 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 229
 APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO POPULACIONAL.....	 231
APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO DE ANÁLISE SENSORIAL	241
ANEXO A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) ...	248
ANEXO B – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP	249

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de alimentos deve equilibrar inovação tecnológica com a crescente demanda dos consumidores por opções mais saudáveis e sustentáveis (Willett *et al.*, 2019). Neste cenário, surge o mercado de produtos isentos de glúten, cuja expansão não se deve apenas a condições de saúde, como a Doença Celíaca ou sensibilidades ao glúten, mas também à adesão a dietas percebidas como mais benéficas a saúde por uma parcela significativa da população (Hossain *et al.*, 2025).

A indústria enfrenta o desafio de aprimorar a qualidade nutricional e sensorial desses produtos, que são frequentemente formulados a base de amido, resultando em baixo valor nutricional, elevado valor calórico, características sensoriais insatisfatórias e preços abusivos (Naqash *et al.*, 2017; Melini; Melini, 2019).

Ademais, a busca por soluções para mitigar a insegurança alimentar e nutricional é agravada pelo aumento populacional global, estima-se alcançar 9,7 bilhões de pessoas até 2050 (UNITED NATIONS, 2019). Assim, acarretando na necessidade de novas fontes alimentícias e na gestão eficiente de subprodutos agroindustriais. Tais subprodutos representam não só uma preocupação ambiental e legal devido a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei nº 12.305/2010), que responsabiliza as indústrias pelo descarte inadequado (Bala *et al.*, 2023), como também uma oportunidade de obter fontes ricas em nutrientes importantes (Torres-León *et al.*, 2018; Hyslova *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2021).

Tais iniciativas fortalecem a Economia Circular (EC), que defende a valorização de resíduos e subprodutos, contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Sarker *et al.*, 2024; Bekavac *et al.*, 2025). A substituição da farinha de trigo por farinhas obtidas a partir de subprodutos agroindustriais em formulações isentas de glúten surge como uma alternativa a ser investigada (Barbosa *et al.*, 2011).

Dos subprodutos gerados, destacam-se o bagaço de mandioca, principal resíduo da extração do amido, rico em amido e fibras dietéticas (Picoli *et al.*, 2014; Fiorda *et al.*, 2013). A quirera de arroz (arroz quebrado), gerada na industrialização do arroz (Miller *et al.*, 2020), cuja composição é comparável ao grão inteiro, oferece proteínas e compostos fitoquímicos (Cargin *et al.*, 2022; Zhu; Li; Li, 2022). As porções não utilizadas no processamento de palmito pupunha (*Bactris gasipaes*) (EMBRAPA, 2019) têm potencial para produção de farinhas ricas em fibras, vitaminas e minerais (Danesi *et al.*, 2018; Santos; Danesi; Bolanho, 2021; Clement; Cristo; Coppens, 2022).

A utilização desses subprodutos pode corrigir o perfil nutricional deficiente, elevando o teor de fibras (Danesi *et al.*, 2018) e melhorando as propriedades texturais (Capriles; Arêas, 2014; Gomes *et al.*, 2024).

Para complementar o enriquecimento nutricional, fortificando produtos isentos de glúten (Swiercz *et al.*, 2023), pode-se utilizar novas fontes alimentícias, como a *Dunaliella salina*. Esta microalga é reconhecida por seu alto teor de proteínas, perfil lipídico com ácidos graxos poli-insaturados e por acumular elevadas quantidades de β -caroteno (precursor da Vitamina A e potente antioxidante) (Sayegh *et al.*, 2025; Pais *et al.*, 2024; Viana *et al.*, 2024).

Além do diferencial funcional, a *D. salina* proporciona pigmentação natural. Contudo, a introdução de microalgas não é convencional e requer uma avaliação da aceitação do consumidor (Olsen; Olsen; Jensen, 2024), devido à potencial neofobia alimentar (Ferreira; Castro; Lopes, 2017; Silva *et al.*, 2022). O sucesso na incorporação dessas fontes alternativas depende da compreensão das opiniões e do nível de conhecimento dos consumidores (Plantinga, 2020). A percepção do consumidor é influenciada pelo conhecimento prévio e pela associação a atributos como "saúdável" e "inovador" (Olsen; Olsen; Jensen, 2024; Villaró; Viñas; Lafarga, 2021).

Para obter informações aprofundadas sobre o comportamento, preferências e conhecimento dos consumidores, pode-se utilizar técnicas estatísticas, como a Análise de Componentes Principais (ACP) que funciona como uma ferramenta essencial para a redução da dimensionalidade dos dados (Hair *et al.*, 2009; Da Silva, 2023). Essa técnica permite tratamento de dados que possibilitam identificar padrões de consumo alimentar e delimitar grupos de consumidores (Cozzolino; Power; Chapman, 2019; Næs *et al.*, 2021), fornecendo informações estratégicas para aprimoramento de formulações e comunicação com o público (Cattell, 1966).

Portanto, o desenvolvimento de alimentos isentos de glúten, com a valorização de subprodutos agroindustriais e a incorporação de *D. salina*, representa uma estratégia que atende a demandas nutricionais, sensoriais e de sustentabilidade. A avaliação da aceitação do consumidor e da estabilidade das formulações (vida útil), é essencial para determinar a viabilidade da inovação, garantindo o sucesso no mercado (Kilcast; Subramaniam, 2011).

Sendo assim, o documento elaborado foi dividido em 6 capítulos, representando o estudo desses temas:

Capítulo 1 - Revisão bibliográfica.

Capítulo 2 - Percepções de consumo e conhecimento de produtos isentos de glúten, subprodutos e da microalga *D. salina*.

Capítulo 3 – Farinhas de subprodutos agroindustriais: uma proposta sustentável para produtos isentos de glúten.

Capítulo 4 - Desenvolvimento de massas de pizza isentas de glúten com farinhas de subprodutos de arroz, mandioca e palmito pupunha.

Capítulo 5 - Enriquecimento nutricional de massas de pizza isentas de glúten com *Dunaliella salina*.

Capítulo 6 - Avaliação da vida útil das massas de pizza em diferentes condições de armazenamento.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Desenvolver pizzas isentas de glúten à base de subprodutos de arroz, mandioca e palmito pupunha enriquecidas com *D. salina*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar por meio da análise de componentes principais o perfil dos consumidores frente a produtos isentos de glúten, subprodutos e a microalga *D. salina*.
- Obter e caracterizar farinhas dos subprodutos do processamento de arroz, mandioca e palmito pupunha.
- Utilizar planejamento de misturas com restrições para elaboração das massas de pizzas.
- Avaliar por meio da metodologia de superfície de resposta o efeito das farinhas de subprodutos nas massas de pizzas.
- Aplicar a desejabilidade para a escolha da melhor massa.
- Aplicar na formulação otimizada, 2% de *D. salina* e verificar o efeito no valor nutricional, potencial funcional e aceitação sensorial das pizzas.
- Determinar a vida útil das pizzas elaboradas em diferentes condições de armazenamento: refrigeradas, congeladas e com cobertura de óleo essencial de orégano em temperatura ambiente.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

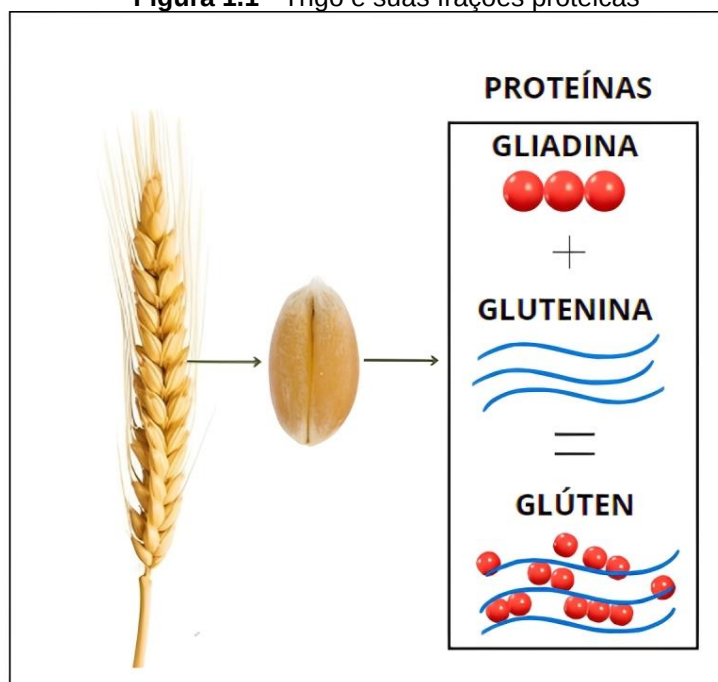
1.1 FARINHA DE TRIGO E GLÚTEN

A farinha de trigo é o principal ingrediente na panificação, devido às suas propriedades reológicas, como extensibilidade, elasticidade, viscosidade e capacidade de retenção de gás. Propriedades essenciais para a aparência, estrutura e durabilidade do produto, sendo atribuídas às proteínas do glúten (Preichardt *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2020). Esta farinha oferece carboidratos e proteínas, porém apresenta deficiência de minerais essenciais, como cálcio, zinco e ferro, que são removidos durante o processo de moagem (Agrahar-Murugkar, 2020; Arepally *et al.*, 2020).

O trigo é um cereal que tem as frações proteicas em proporções adequadas para formar o glúten, com as características necessárias para o fabrico de massas para panificação (Gregorini *et al.*, 2009). Este é composto por duas categorias de proteínas: a gliadina e a glutenina. Quando essas proteínas entram em contato com a água e são submetidas a ação mecânica, formam uma massa viscoelástica (Aljada; Zohni; El-Matary, 2021) (Figura 1).

Esses grupos de proteínas e suas subclasses podem ser encontrados em diversos cereais, como trigo, aveia, centeio e cevada (Souza *et al.*, 2021). A gliadina contribui para consistência e viscosidade da massa, enquanto a glutenina é responsável por sua elasticidade (Santos *et al.*, 2020).

Porém, fatores como alergia ao trigo, intolerância, sensibilidade ao glúten e a doença celíaca (DC) podem causar reações adversas ao glúten e nestes casos, o tratamento adequado, envolve a exclusão do glúten da dieta (Soares, 2018).

Figura 1.1 - Trigo e suas frações proteicas

Fonte: Adaptado Souza *et al.* (2021).

Em relação à doença celíaca (DC), ela é autoimune desencadeada pela ingestão de glúten em indivíduos geneticamente predispostos. Considerando que a DC afeta 1 a 2% da população mundial, o acesso a alimentos isentos de glúten é fundamental para a qualidade de vida desses indivíduos (BRASIL, 2022; Capacci; Leucci; Mazzocchi, 2018). Além dos celíacos, vem sendo observada a opção por dietas isentas de glúten por uma parte da população que busca alimentos que, segundo eles, são mais saudáveis. Esse mercado apresenta taxa de crescimento de 7,6% de 2020 até 2027 (Palomares-Navarro *et al.*, 2023).

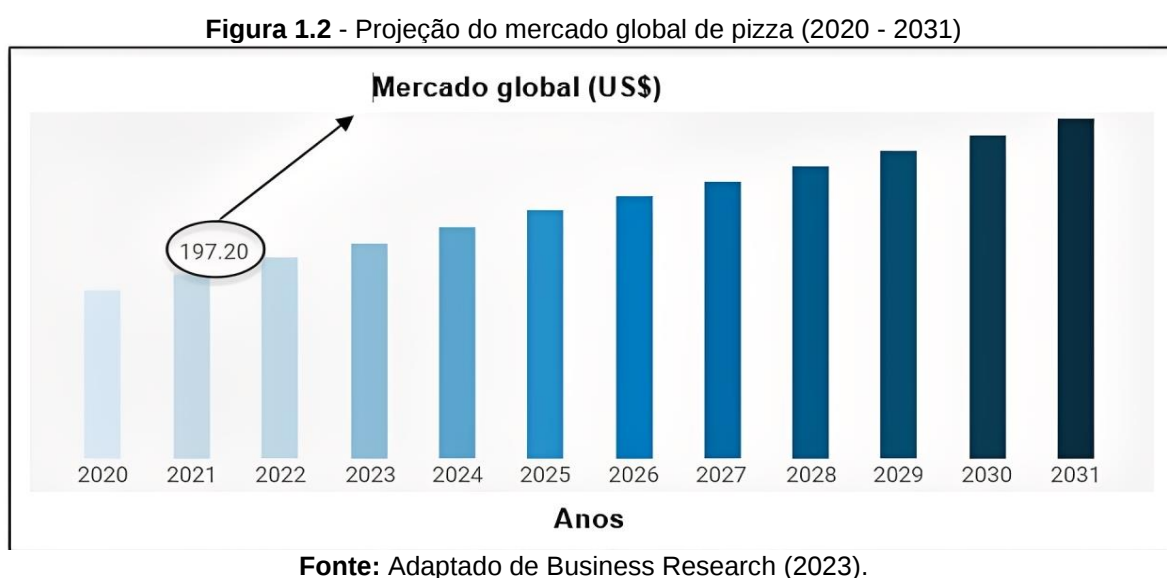
Desta forma, a demanda por produtos isentos de glúten tem aumentado, mas ainda existe escassez desses produtos no mercado, o que dificulta a adesão à dieta. Além disso, a maior dificuldade para os consumidores celíacos é encontrar produtos isentos de glúten, que apresentem características sensoriais satisfatórias a um preço acessível (Costa *et al.*, 2021).

Pesquisas realizadas pela ACELPAR (Associação dos Celíacos do Paraná) mostraram que a pizza é um dos alimentos que os celíacos e intolerantes ao glúten relatam mais sentir falta (Serpa *et al.*, 2020). Desta forma, o desenvolvimento das massas de pizza isentas de glúten é uma forma de disponibilizar o produto, que faz parte do hábito alimentar do brasileiro.

1.2 MASSAS DE PIZZAS

A pizza, um alimento à base de uma massa achatada e redonda, com diversas coberturas, teve sua origem no Egito Antigo. Foi introduzida no Brasil por imigrantes italianos no final do século XIX e rapidamente conquistou o paladar dos brasileiros, devido à simplicidade de seu preparo e à infinidade de sabores disponíveis (Barros *et al.*, 2020).

O tamanho do mercado global de pizzas foi de US\$197 bilhões em 2021, e deverá atingir US\$551 bilhões até 2031 (Business Research, 2023), conforme demonstrado no Figura 2.



A pizza é um produto de preparo rápido e sabor agradável, um dos mais consumidos no mundo (Teixeira *et al.*, 2018). O consumidor contemporâneo tem demonstrado maior interesse por pizzas, pois busca cada vez mais nos produtos alimentícios, a praticidade, através das massas prontas para consumo, comercializadas pré-assadas, refrigeradas ou congeladas (ABIMAPI, 2017).

Entretanto, com o aumento do poder de compra dos brasileiros, a busca por produtos mais nutritivos vem crescendo e levando a uma diferenciação no mercado de pizzas, com vários sabores, ingredientes e interesse em produtos naturais (Campelo *et al.*, 2017). Estudos indicam que os consumidores estão cada vez mais preocupados com a qualidade dos ingredientes e a variedade de opções disponíveis. Isso levou as empresas a diversificar suas linhas de produtos, oferecendo pizzas com

ingredientes *premium*, versões integrais e isentas de glúten (Exame, 2023; Valor Econômico, 2023).

Assim, a transformação do mercado das pizzas para atender à crescente demanda por opções mais saudáveis e nutritivas, além de inserir inovação no setor alimentício, propicia a adaptação às preferências e necessidades dos consumidores contemporâneos, promovendo um mercado diversificado e consciente.

Na Tabela 1 pode-se observar composições de massas de pizzas comerciais com e sem glúten.

Tabela 1.1 - Composição de discos de pizzas comerciais isentos de glúten em 100 g

Informação Nutricional / Marca	Com Glúten			Sem Glúten		
	Ravan Massas	Massa Leve	Mezzani	Nut-free	Bem Nutri	Casa Rigani
Valor Energético (kcal)	287	295	260	266	327	231
Carboidratos (g)	52,8	47	49	40	55	43
Proteínas (g)	7,5	11	7,4	2,7	5	2,4
Gorduras (g)	3,9	7	4,5	12	8	5,5
Fibra Alimentar (g)	1,8	2	2,8	4,6	2,5	3
Sódio (mg)	340	533	402	226	332	364

Fonte: A autora (2025).

Vale ressaltar que a inclusão de ingredientes com propriedades funcionais, representa uma alternativa para a produção de alimentos mais saudáveis. Em um estudo conduzido por Silva *et al.* (2019), foi desenvolvida uma pizza isenta de glúten à base de inhame e psyllium, resultando em massas que foram classificadas como fontes de fibras.

Em outro estudo, foram elaboradas massas de pizza pré-assadas, incluindo uma versão isenta de glúten à base de farinha de arroz, demonstrando ser uma substituição promissora ao trigo (Gomes *et al.*, 2024). Ferreira *et al.* (2020) abordaram a melhoria do perfil nutricional da massa de pizza isenta de glúten, pela incorporação do bagaço de cervejaria.

Alexandre e Marques (2021), desenvolveram duas formulações de pizzas com massa de mandioca, adicionando farinha de arroz em uma e polvilho azedo na outra. Ao final, observaram que ambas as formulações apresentaram boa aceitabilidade pelos avaliadores, sendo uma opção viável para celíacos, além de agregar mais nutrientes e introduzir no mercado um produto inovador.

Os exemplos acima demonstram a possibilidade de inovação nas formulações a partir de novas farinhas.

1.3 VALORIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS E SEGURANÇA ALIMENTAR

A crescente demanda por alimentos isentos de glúten, impulsionada por questões de saúde como a doença celíaca, intolerância, alergia e sensibilidade ao glúten, tem levado a indústria a buscar ingredientes alternativos para substituir os cereais tradicionais. No entanto, muitos produtos isentos de glúten no mercado ainda apresentam desafios, como o alto custo e o baixo valor nutricional (Foschia *et al.*, 2016).

Uma abordagem inovadora e sustentável para contornar essas limitações é a valorização de subprodutos agroindustriais. Estudos demonstram que novas fontes de farinhas, podem substituir a farinha de trigo, a partir da valorização de subprodutos atrelados à segurança alimentar. Estes fatores demonstram relevância, visto que as previsões apontam que o crescimento populacional vem se acentuando, podendo chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050 (Organização das Nações Unidas, 2019).

Portanto, a garantia da plena segurança alimentar é um problema global de extrema relevância. As questões relacionadas ao fornecimento de alimentos afetam grande parte da população mundial, uma vez que o aumento da produção de alimentos não tem sido suficiente para erradicar a fome no mundo (Kowalska, 2015).

No Brasil, a Lei nº 11.346 de 2006, conhecida como Lei Orgânica de Segurança Alimentar e Nutricional (LOSAN), estabelece o direito ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer outras necessidades essenciais e respeitando a diversidade cultural (BRASIL, 2006). No entanto, a garantia desse direito está distante da realidade de muitos brasileiros, devido à fome, desnutrição e insegurança alimentar, evidenciando falhas na implementação da Política Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (PNSAN) (Alpino *et al.*, 2020).

O relatório "O Estado da Segurança Alimentar e Nutrição no Mundo (SOFI)", divulgado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), revela um agravamento dos indicadores de fome e insegurança alimentar no Brasil. De acordo com o documento, em 2022, cerca de 70,3 milhões de pessoas enfrentaram insegurança alimentar moderada, caracterizada pela dificuldade de

acesso a alimentos. Além disso, o levantamento aponta que 21 milhões de brasileiros estavam em situação de insegurança alimentar grave, o que indica um estado de fome (BRASIL, 2023).

Em contrapartida, o desperdício alimentar está presente desde as cadeias de produção das matérias-primas até o consumo. Estima-se um desperdício de 25% da produção global de alimentos até o ano de 2050, onde metade é gerada nas etapas de processamento (Belik; Cunha; Costa, 2012). De acordo com o relatório "*Food Loss and Waste: Facts and Figures 2024*" do *World Resources Institute* (WRI), o desperdício de alimentos em todas as etapas das cadeias alimentares atinge aproximadamente 2.500 milhões de toneladas por ano (WRI, 2024). Portanto, a mitigação do desperdício de alimentos em larga escala, surge como um dos maiores desafios globais, pois pode contribuir para a redução, ou até mesmo a erradicação, da fome no mundo (OXFAM Brasil, 2024).

A Agenda 2030, publicada pela Organização das Nações Unidas, estabelece objetivos que os países devem alcançar para superar os desafios mais urgentes enfrentados pelas próximas gerações. Entre os objetivos acordados, destacam-se: "Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação"; e "Assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis" (UNIC RIO, 2015).

Diante desse cenário, surge a necessidade de implementar um plano de ação de Economia Circular, contribuindo para alcançar os objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Tamasiga *et al.*, 2022). A economia circular busca conciliar o crescimento econômico e a preservação ambiental, promovendo padrões de produção e consumo sustentáveis (Slorach *et al.*, 2019; Spacki *et al.*, 2022).

Na indústria alimentícia, essa abordagem se manifesta através da reciclagem e reutilização de alimentos e resíduos, bem como da valorização de subprodutos (Usmani *et al.*, 2021). Desta forma, farinhas produzidas a partir dos subprodutos da agroindústria, têm se tornado uma alternativa como substitutos da farinha de trigo (Bachegga, 2020).

Neste contexto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) impacta diretamente as agroindústrias, impulsionando inovações como o desenvolvimento de bioativos e a transformação de resíduos em bioprodutos. Por meio do Plano de

Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), adota-se práticas como a logística reversa e o aproveitamento desses materiais (Brasil, 2010).

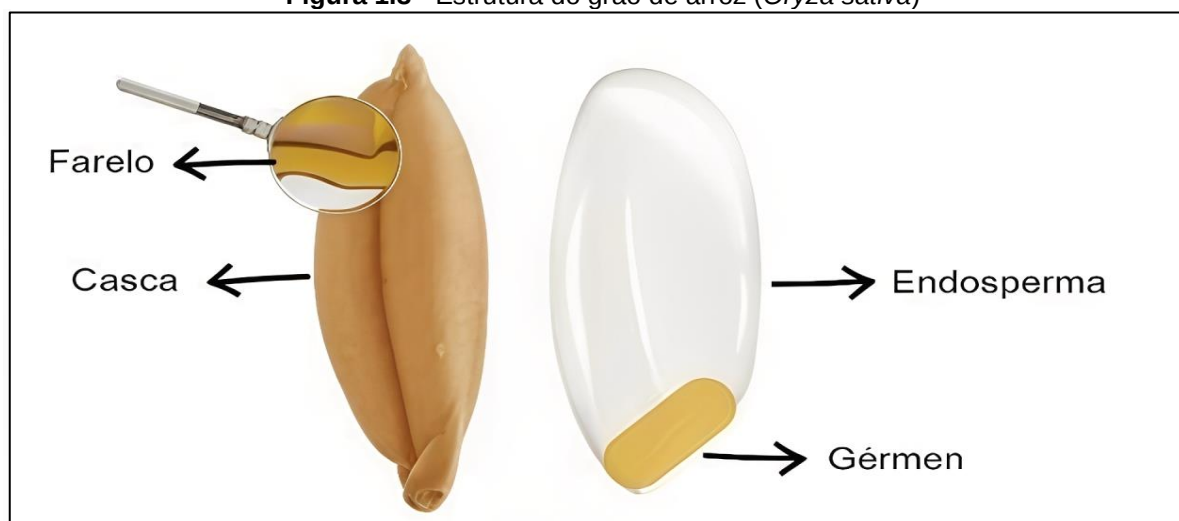
Sharma, Kumar e Kaur (2021) investigaram como diferentes subprodutos agrícolas podem ser utilizados para melhorar as propriedades de pizzas isentas de glúten. Os resultados mostraram que melhoraram significativamente o teor de fibras e proteínas, sem comprometer a aceitação sensorial pelos avaliadores. A adição de subprodutos também resultou em melhores propriedades tecnológicas, como a capacidade de retenção de água e a estabilidade das massas.

1.3.1 Subproduto do processamento do arroz (quirera)

O arroz é o segundo cereal mais cultivado globalmente, sendo um alimento básico para mais de três bilhões de pessoas (Souza, 2019; USDA, 2024). Participa com aproximadamente 28% da produção mundial de cereais com 2,8 bilhões de toneladas (EMBRAPA, 2024).

O Brasil foi o primeiro país das Américas a cultivar esse cereal, no século XVI (ABIARROZ, 2024), e se destaca como o principal produtor e consumidor de arroz fora da Ásia, com uma produção aproximada de 11 milhões de toneladas de arroz em casca por ano. A maior parte dessa produção está concentrada na região Sul do país, com cerca de 70% no estado do Rio Grande do Sul e 10% em Santa Catarina (Wander, 2023).

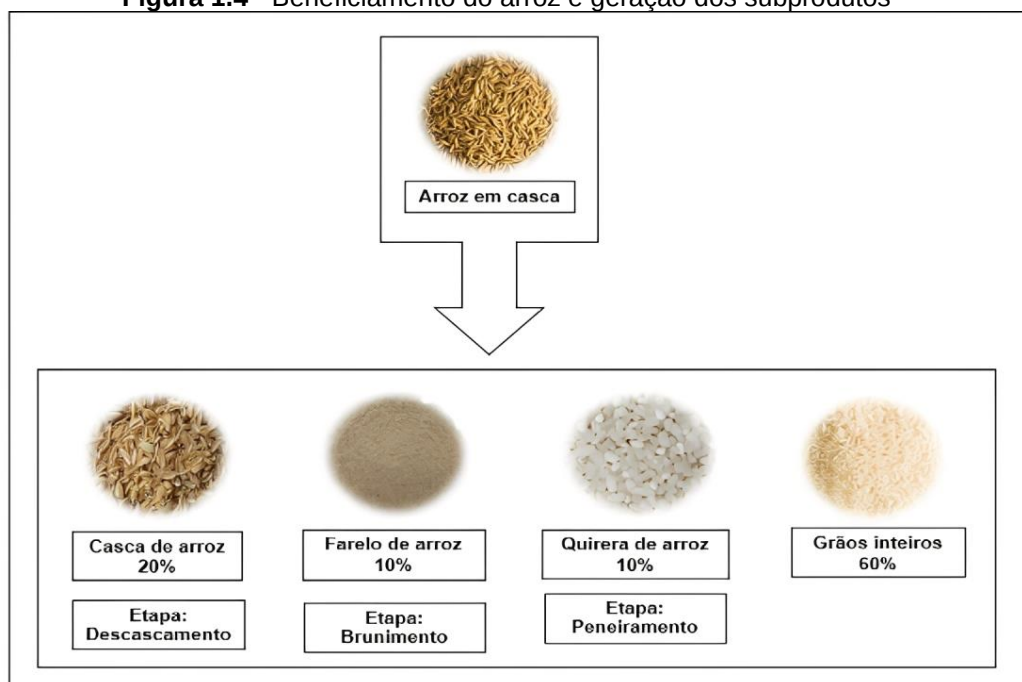
Esse cereal possui grande potencial para o combate à fome, por seu valor nutricional e proteico, sendo sua forma de consumo mais tradicional através do arroz branco polido, o qual passa por um processo de beneficiamento, onde retira-se a casca, gérmen e farelo, com polimento do grão (Souza, 2019). A Figura 3 apresenta as respectivas partes citadas.

Figura 1.3 - Estrutura do grão de arroz (*Oryza sativa*)

Fonte: A autora (2025).

A industrialização do arroz visa a obtenção de grãos inteiros polidos, mas o processo gera três tipos principais de subprodutos: a casca, o farelo e grãos quebrados de arroz (quirera) (Miller *et al.*, 2020). Durante o polimento, a camada de farelo, rica em nutrientes como proteínas, lipídios e fibras, é removida do grão (Rodrigues; Silva; Lima, 2019).

Em um estudo realizado em 2021, nas 50 maiores empresas do RS que beneficiaram 5.303.212 toneladas de arroz, cerca de 40% desse valor correspondeu a subprodutos, 1.060.642,40 toneladas de casca de arroz, 477.289 toneladas de farelo e 265.160 toneladas de quirera (Lorenzetti *et al.*, 2022), conforme observado na Figura 4.

Figura 1.4 - Beneficiamento do arroz e geração dos subprodutos

Fonte: A autora (2025).

O arroz quebrado (quirera), corresponde de 10 a 15% da matéria-prima. Sua composição é comparável à do grão inteiro, contendo 74,45% de amido, 8,50% de proteínas, 1,14% de lipídios e 0,50% de fibras, além de apresentar um equilíbrio adequado de aminoácidos. É comercializado por um valor entre um terço e metade do preço do grão inteiro, podendo ser moído para produzir farinhas utilizadas em produtos panificados isentos de glúten (Cargnin *et al.*, 2022).

Além disso, o arroz apresenta maior digestibilidade, valor biológico superior e a mais elevada taxa de eficiência proteica em comparação com outros cereais (Severo, 2010). A procura por produtos funcionais emergiu como uma tendência, acompanhada por uma crescente aceitação de produtos que ofereçam tais características. Portanto, novas formulações de snacks funcionais, feitos com quirera de arroz, têm o potencial de atender às demandas dos consumidores por produtos saudáveis, devido ao seu baixo teor de sódio e gordura (Freitas *et al.*, 2023).

Uma revisão recente sobre a utilização da farinha de arroz elaborada a partir da quirera em produtos alimentícios, destacou seu uso crescente em alimentos isentos de glúten e itens de panificação, devido ao seu sabor neutro (Nazarian; Varshney, 2023). Pesquisas realizadas sugerem que a farinha de arroz pode ser uma alternativa eficaz para substituir a farinha de trigo em produtos isentos de glúten, como pizzas (Culetu *et al.*, 2021).

Capriles, Martini e Arêas (2020), investigaram a substituição da farinha de trigo por farinha de arroz na elaboração de pizzas isentas de glúten. As propriedades sensoriais e tecnológicas, indicaram que essa farinha é uma boa alternativa para substituição do trigo.

1.3.2 Subproduto do processamento da mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), aipim ou macaxeira, é uma planta com raízes tuberosas e pertence à família *Euphorbiaceae* (Vidigal Filho *et al.*, 2022). É um alimento amplamente consumido, sendo uma importante fonte de amido. De acordo com Ajayi e Olutumise (2018), fica atrás apenas do arroz e do milho em termos de consumo global de amido.

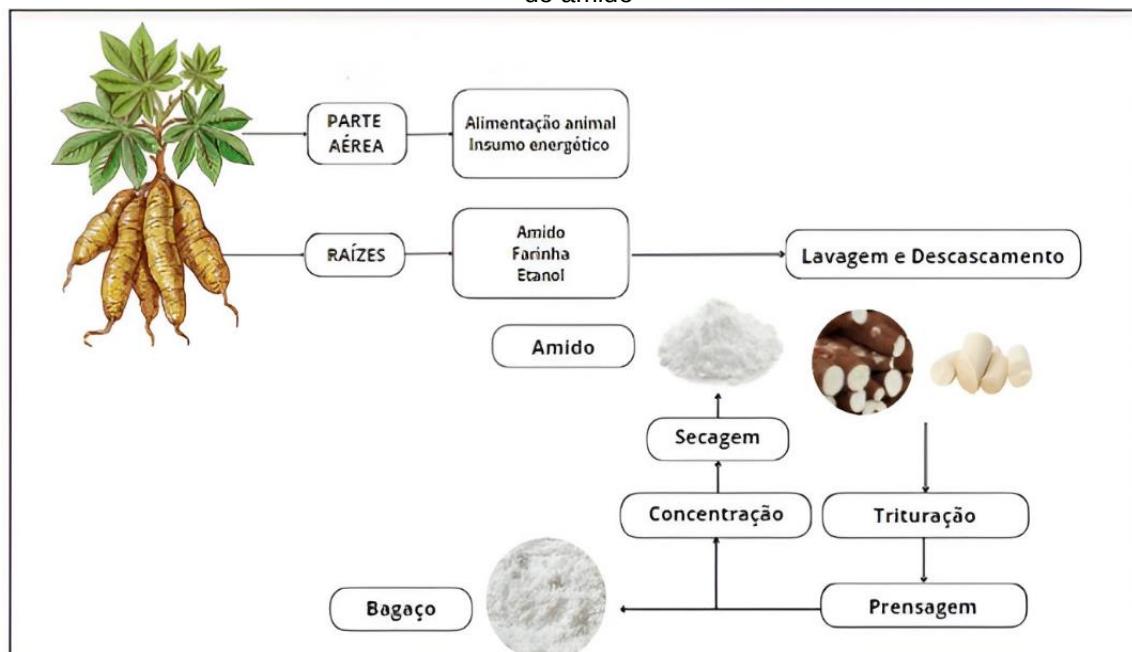
A produção brasileira de raízes de mandioca no ano de 2023, de acordo com o Levantamento Sistemático da Produção (LSPA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, foi de 18,4 milhões de toneladas colhidas (IBGE, 2024). Segundo Felipe (2022), o Brasil é o segundo maior produtor de mandioca, perdendo apenas para a Nigéria. No Brasil, a mandioca é cultivada pela agricultura familiar e por comunidades tradicionais, que são responsáveis por 87% da produção nacional desta cultura (Nogueira *et al.*, 2021; Rodrigues, 2017).

Além do consumo *in natura*, a mandioca é utilizada como matéria-prima para diversos produtos industrializados, sendo os principais: farinhas, polvilho, amidos/gomas e a farinha de tapioca (Ronko; Travalini; Demiate, 2020).

Dados do levantamento realizado pelo CEPEA/ABAM indicam que a produção brasileira de amido de mandioca alcançou 676,7 mil toneladas em 2023, representando um aumento de 29% em relação ao ano anterior (CEPEA, 2024). O Brasil figura entre os principais produtores e exportadores de amido de mandioca globalmente (FAO, 2024; Observatory of Economic Complexity, 2024).

No processamento são gerados diferentes tipos de resíduos e subprodutos, tais como parte aérea da planta (caule e folhas), cascas, bagaço e manipueira (Alves *et al.*, 2019; Ronko; Travalini; Demiate, 2020). Na extração do amido de mandioca, é gerado significativa quantidade de um subproduto conhecido como bagaço de mandioca, composto por material fibroso e amido não extraído durante o processo (EMBRAPA, 2023; Picoli *et al.*, 2014). A mandioca com as etapas de processamento está representada na Figura 5.

Figura 1.5 - Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), suas partes e geração do subproduto na extração do amido



Fonte: A autora (2025).

O bagaço de mandioca contém quantidade significativa de amido e fibras. Devido ao alto teor de umidade (entre 75% e 88%), se torna um produto 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, chegando a 500 kg a cada tonelada tratada (Santos *et al.*, 2021).

O farelo do bagaço de mandioca pode ser utilizado como matéria-prima para a produção de diversos produtos e bioprodutos de importância. Se comparado ao amido, o farelo apresenta quantidade maior de proteínas, lipídios e cinzas, alto teor de fibras solúveis e insolúveis, possui cerca de 60% de amido, em base seca (Cardoso, 2004; Fiorda *et al.*, 2013; Navacchi *et al.*, 2012; Ronko; Travalini; Demiate, 2020).

A composição pode variar de acordo com a composição natural do solo, variedade da planta e tecnologia adotada no processamento, pois quanto mais eficiente for o processo de extração de amido, menor será a quantidade de amido residual que permanecerá no bagaço (Ronko; Travalini; Demiate, 2020), conforme demonstrado no Tabela 2.

Tabela 1.2 - Comparação de dados sobre a composição química de derivados de mandioca

Constituintes (g.100g ⁻¹)	Farinha de Bagaço de Mandioca		Amido de Mandioca
	Ronko; Travalini; Demiate, 2020	Fiorda <i>et al.</i> , 2013	TBCA, 2023*
Umidade	12,42 ± 0,04	9,02 ± 0,07	17,8
Carboidratos**	35,7	24,39	81,1
Proteínas	1,42	1,97 ± 0,03	0,52
Lipídios	0,43	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

Notas: *TBCA = Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos **Carboidratos por diferença.

Em relação a sua aplicação em alimentos, Navacchi *et al.* (2012) desenvolveram um bolo à base de farelo de mandioca e *Spirulina platensis* como suplemento proteico, os resultados apresentaram alto teor de fibras e na avaliação sensorial, demonstraram aceitação, viabilizando o desenvolvimento do produto tanto pelos seus aspectos nutricionais quanto tecnológicos e sensoriais.

Jiao *et al.* (2021) investigaram o uso de farinha de mandioca e farinha de grão-de-bico como substitutos de aditivos em pães isentos de glúten, revelando que a modificação das propriedades tecnológicas dessas farinhas pode melhorar a qualidade desses produtos. Portanto, o uso do farelo do bagaço de mandioca no desenvolvimento de produtos alimentícios é de interesse comercial e nutricional.

1.3.3 Subprodutos do processamento do palmito pupunha

A *Bactris gasipaes* Kunth é uma planta da família *Arecaceae*, conhecida como pupunheira (Salgado; Ferrari; Enke, 2020). Das espécies exploradas, a pupunha (*Bactris gasipaes*), vem ganhando protagonismo para produção de palmito, por apresentar precocidade e não sofrer escurecimento enzimático acentuado (Spacki *et al.*, 2022).

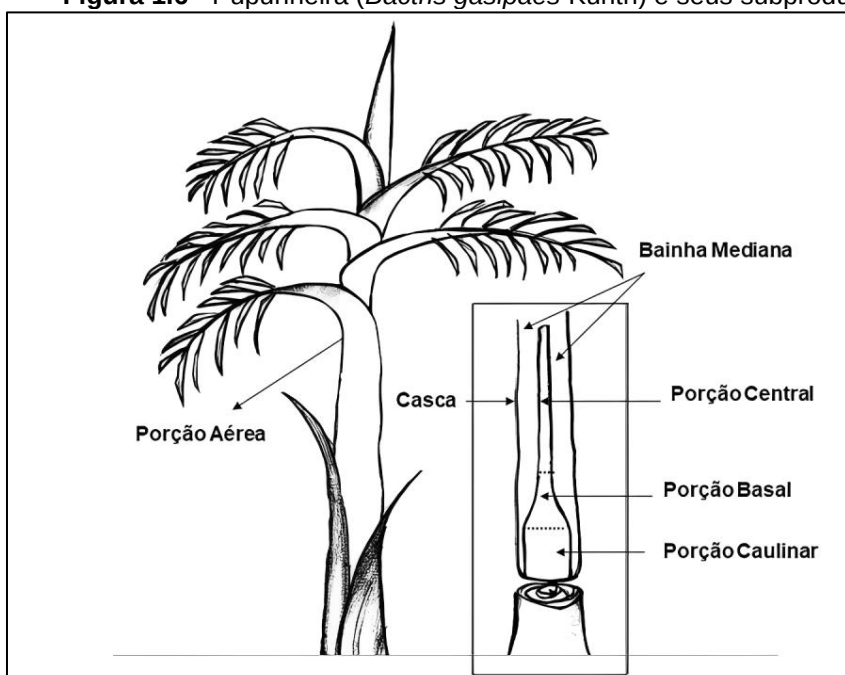
Além disso, é considerada sustentável, ao contrário de outras espécies de palmito, pois permite plantio em períodos mais curtos e capacidade de perfilhamento (NOVA SAFRA, 2020). É importante ressaltar que a pupunheira é capaz de produzir

palmito durante todo o ano, proporcionando recursos financeiros mensais (MAPA, 2020).

O Brasil produz de palmito um valor aproximado de US\$350 milhões, com grande potencial de crescimento. Se destaca como grande produtor e exportador de palmito em conservas, sendo responsável por 95% do produto em termos mundiais (EMBRAPA, 2019).

A agroindústria do palmito pupunha gera um volume considerável de resíduos e subprodutos, correspondendo a cerca de 80%, principalmente porções caulinares que não são adequadas para o processamento tradicional. No entanto, pesquisas demonstram o potencial para a produção de farinhas ricas em fibras, vitaminas e minerais, abrindo novas possibilidades para sua utilização na indústria alimentícia (Danesi *et al.*, 2018; Santos; Danesi; Bolanho, 2021). Na Figura 6, podem ser observadas as partes de uma pupunheira.

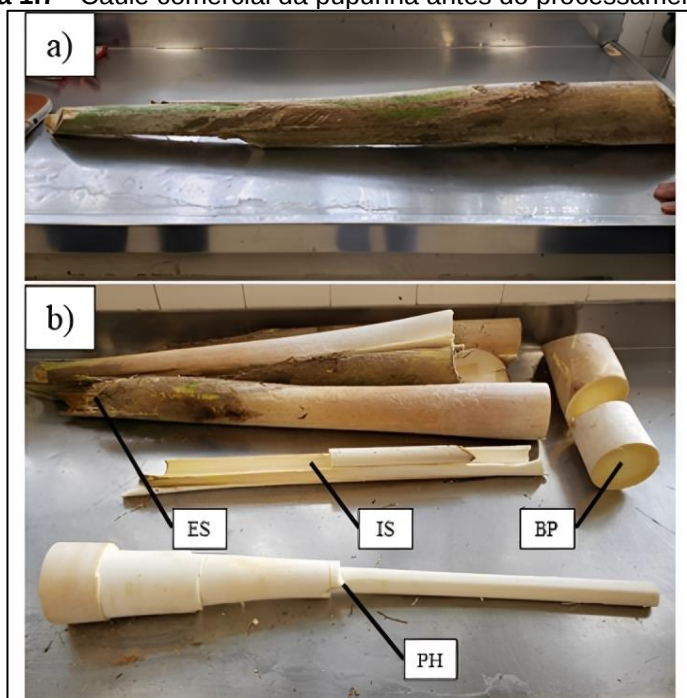
Figura 1.6 - Pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) e seus subprodutos



Fonte: Adaptado de Bolanho (2014).

No processamento do palmito pupunha, o caule é cortado no campo, e as folhas são removidas e deixadas no solo para promover a ciclagem de nutrientes. O caule comercial sem suas folhas (Figura 7a) é levado para a indústria, onde é descascado. O palmito (Figura 7b) é cortado e envasado para produção de conservas tratadas termicamente, enquanto a capa externa (ES), a capa interna (IS) e a porção basal (BP) são descartadas ou subutilizadas como ração animal (Cabral *et al.*, 2015).

Figura 1.7 - Caule comercial da pupunha antes do processamento industrial



Notas: (a); pupunha antes do processamento industrial; (b): Palmito (PH); e os subprodutos capa externa (ES), capa interna (IS) e porção basal (BP).

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

Helm *et al.* (2021) realizaram a avaliação da composição nutricional de diferentes farinhas de subprodutos do palmito, sendo a 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 3).

Tabela 1.3 - 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	5,8	5,1	3,2
Proteínas	6,3	6,3	4,4
Lipídios	1,0	1,0	0,9
Fibra alimentar total	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 totais	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 (kcal)	106,6	131,1	114,4

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

Considerando que a farinha de trigo possui baixo teor de fibras e não pode ser consumida por portadores da doença celíaca, a sua substituição por farinha de subprodutos de palmito pupunha pode possibilitar a produção de alimentos que melhoram o funcionamento do sistema digestivo (Oliveira *et al.*, 2020). As fibras alimentares representam de 62 a 71% da farinha produzida com os subprodutos (Bolanho; Danesi; Beléia, 2014).

Portanto, o subproduto do processamento do palmito pupunha tem despertado o interesse de pesquisadores. Há estudos, onde explora-se a possibilidade de utilizar essa farinha na composição de alimentos destinados à merenda escolar, constituindo uma alternativa para substituir produtos industrializados, que fazem parte da dieta dos jovens dessas escolas (Mesquita *et al.*, 2018).

Melo *et al.* (2021) desenvolveram snacks extrusados de arroz, utilizando subprodutos de palmito pupunha e laranja, com *Spirulina platensis*. As fibras presentes nas farinhas desses subprodutos resultaram em um aumento de 320 a

380% no teor de fibras dos snacks, em comparação com produtos comerciais similares.

Desta forma, podem ser citadas várias aplicações dos subprodutos do palmito pupunha, incluindo sua utilização em formulações de cereais matinais, biscoitos e sopas. Nessas aplicações, os subprodutos proporcionaram um enriquecimento nutricional marcante, com destaque para o aumento de fibras e antioxidantes, sem comprometer de forma significativa as características sensoriais e estruturais das matrizes alimentares. Isso demonstra o potencial dos subprodutos de palmito pupunha para a criação de alimentos mais saudáveis e com potencial funcional (Bolanho *et al.*, 2015; Los *et al.*, 2018; Melo *et al.*, 2021).

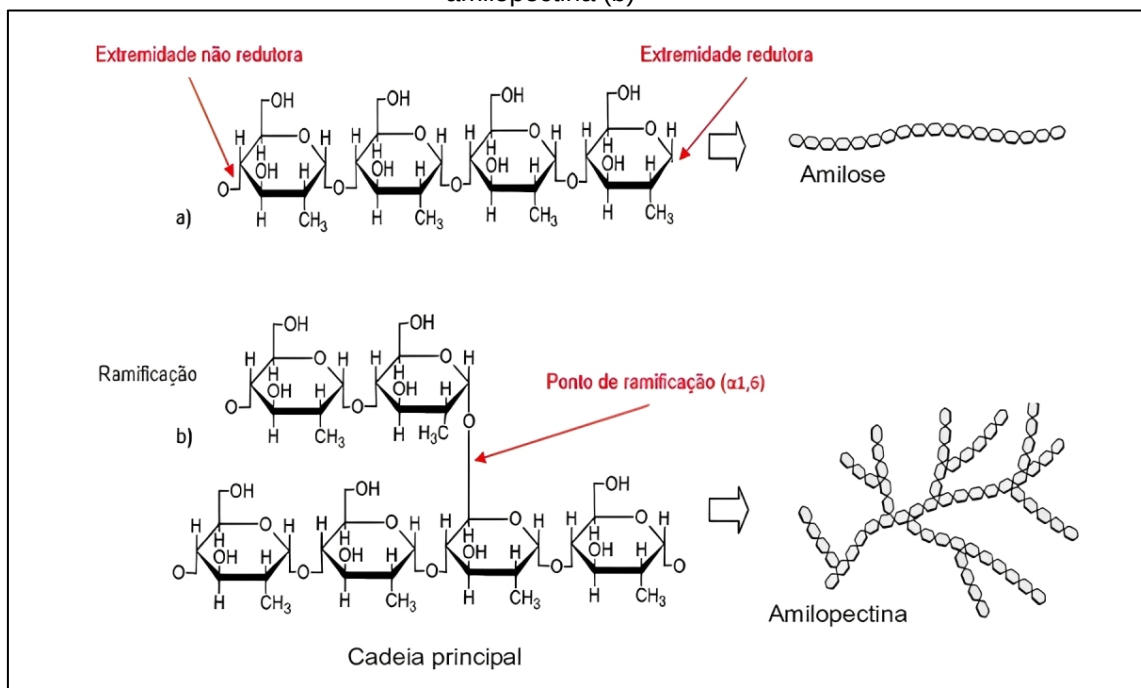
1.4 COMPONENTES DOS SUBPRODUTOS DE IMPACTO TECNOLÓGICO

1.4.1 Amido

O amido é um carboidrato fundamental tanto na alimentação quanto para fins industriais (De Borba *et al.*, 2021; Gonçalves *et al.*, 2022). Os cereais são as principais fontes desse carboidrato, sendo responsáveis por 70 a 80% das calorias ingeridas diariamente (Bemiller, 2019; Fenemma; Damodaram; Parkin, 2019).

É o único carboidrato que aparece naturalmente em grânulos, formados por unidades de glicose que se organizam em amilose e amilopectina (Bemiller, 2019; Fenemma; Damodaram; Parkin, 2019; Martínez; Hernández; Arias, 2017). A estrutura da amilose e amilopectina está representada na Figura 8.

Figura 1.8 - Estrutura do amido, recorte do polímero linear de amilose (a) e ramificado de amilopectina (b)



Fonte: Openstax College (2013).

A proporção entre amilose e amilopectina é um fator determinante para as propriedades físico-químicas e funcionais do amido (Kong; Chen; Zhao, 2019). A amilose, por ser mais linear, é crucial para as propriedades do amido. Sua quantidade, peso molecular e distribuição no grânulo influenciam como o gel se forma, a viscosidade da pasta, o que impacta na qualidade dos alimentos (Bertoft, 2016; Van Hung; Chau; Phi, 2016).

A amilopectina, que é a maior parte do amido e tem uma estrutura mais ramificada, determina a organização cristalina do grânulo. É mais sensível ao calor do que a amilose (Zhang *et al.*, 2021). Portanto, a formação de géis de amido é resultado da interação entre as cadeias de amilose e amilopectina (Jane, 2015).

A gelatinização do amido é um processo pelo qual os grânulos de amido incham irreversivelmente na presença de água e calor, levando à ruptura de sua estrutura cristalina. Isso resulta na liberação da amilose e da amilopectina, formando uma pasta viscosa. A temperatura de gelatinização varia conforme a fonte botânica do amido. Amidos de raízes, como o de mandioca, gelatinizam a temperaturas de 60°C, com um rápido e uniforme inchamento dos grânulos (Santos; Silva; Araújo, 2020).

Durante o armazenamento, ocorre a retrogradação do amido gelatinizado, um processo que se intensifica com o tempo e a diminuição da temperatura. Esse

fenômeno acontece quando as cadeias de amilose e amilopectina se associam. À medida que o amido esfria, forma-se redes cristalinas altamente estáveis (Lopes, 2024). Assim, a retrogradação do amido resulta na migração da umidade ou no aumento da firmeza em pães e massas, alterando a textura e aparência dos produtos (Donmez *et al.*, 2021).

Na indústria alimentícia, a amilose e a amilopectina são aproveitadas de formas distintas, devido a suas propriedades únicas. A amilose é eficaz na formação de filmes resistentes, sendo ideal para criar revestimentos crocantes em produtos como salgadinhos. Em contraste, a amilopectina, é fundamental para proporcionar expansão às massas, sendo essencial em produtos que exigem leveza e crescimento durante o processo de cozimento (Tester; Karkalas 2004).

Uma característica competitiva do amido de mandioca é sua facilidade de hidrólise, devido aos baixos teores de lipídios e proteínas, o que evita a formação de complexos (Surmely, 2003). Além disso, outra propriedade distintiva do amido de mandioca é sua menor tendência à retrogradação (Lima *et al.*, 2023).

De acordo com Martínez *et al.* (2020), a escolha do tipo e da quantidade de amido é fundamental para melhorar as propriedades físicas e sensoriais das massas. Misturar amidos de fontes diferentes é uma técnica muito usada na indústria para criar texturas específicas (Elgadir *et al.*, 2015).

A utilização destas misturas se deve aos atributos sensoriais conferidos aos produtos, que muitas vezes não se obtém utilizando apenas um deles (Park *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2011). Elgadir *et al.* (2012), relataram que as características das misturas serem próximas das de amidos modificados, pode ser devido às interações entre as partes solubilizadas de um amido com os grânulos do outro.

Um estudo realizado por Almeida *et al.* (2021), demonstrou o impacto dos amidos de arroz e mandioca na qualidade da massa de pizza isenta de glúten. Os resultados mostraram que o amido de mandioca melhorou a textura e a elasticidade da massa, enquanto o amido de arroz contribui para uma massa mais leve e macia. A análise sensorial revelou que a combinação das matérias-primas proporcionou uma aceitação geral alta pelos avaliadores.

A sinergia entre diferentes amidos pode ser um caminho para otimizar as propriedades sensoriais. A mistura de amido de mandioca e arroz pode potencialmente combinar a alta capacidade de expansão do amido de mandioca com

as propriedades de textura mais firme do amido de arroz (Rodrigues; Ferreira; Carvalho, 2020).

Desta forma, a utilização de amidos de fontes variadas, como os obtidos de subprodutos transcende a sustentabilidade, se tornando um caminho promissor para a inovação em produtos alimentícios, pois podem atender as demandas tecnológicas de cada processo (De Borba, 2023).

1.4.2 Fibras Alimentares

1.4.2.1 Fibras alimentares: aspectos nutricionais

As fibras são polissacarídeos de cadeias longas de moléculas de sacarídeos ligadas entre si, essas ligações não podem ser quebradas pelas enzimas digestivas humanas (Cappelli; Oliva; Cini, 2020). Portanto, as fibras alimentares são componentes de carboidratos que não são digeríveis, geralmente encontrados em alimentos de origem vegetal (Nikolic; Seres, 2022).

Podem ser classificadas em solúveis e insolúveis, de acordo com seus efeitos fisiológicos no organismo humano. As fibras que sofrem fermentação parcial são consideradas insolúveis em água, enquanto as fermentadas são reconhecidas como solúveis (ANVISA, 2016; Lammers, 2018). As fibras insolúveis são conhecidas por sua capacidade de aumentar o volume fecal e acelerar o trânsito intestinal, contribuindo para a regularidade e prevenindo a constipação (Cappelli; Oliva; Cini 2020).

As solúveis têm características hidrofílicas, o que lhes permite formar géis. Isso leva ao aumento do conteúdo estomacal e retarda o esvaziamento gástrico, promovendo a sensação de saciedade. Além disso, a formação de géis reduz a absorção de colesterol (Vagula, 2019).

Para a inclusão de fibras no 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) e, então, são considerados produtos com fins nutricionais (Duarte; Teixeira; Silva, 2021).

Essas alegações aparecem nos rótulos dos alimentos embalados, com termos como 'fonte', 'alto conteúdo', 'rico' ou 'aumentado', destacando diferentes tipos de nutrientes (BRASIL, 2020). As fibras alimentares, podem ser mencionadas nas

alegações nutricionais, mas, para isso, deve-se seguir as especificações da ANVISA que declara 25g como o valor diário de referência (VDR) para fibras alimentares (BRASIL, 2020).

Estudos têm evidenciado que o consumo ideal de fibras vem se 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 e devido a popularização dos alimentos ultraprocessados, pelo apelo de sabor e praticidade que apresentam. Essa redução se mostrou mais acentuada nas regiões com maior grau de industrialização, como São Paulo e Rio Grande do Sul (Campos *et al.*, 2021).

O consumo adequado de fibras alimentares está associado a uma série de funções fisiológicas importantes e a uma menor incidência de doenças crônicas. Indivíduos que ingerem mais fibras apresentam redução de incidência de doenças coronarianas, hipertensão, obesidade, diabetes e câncer de cólon, evidenciando a relevância nutricional desse componente (Bernaud; Rodrigues, 2013).

1.4.2.2 Fibras alimentares: aspectos tecnológicos

A importância das fibras em produtos isentos de glúten, vai além do aspecto nutricional, desempenhando também função tecnológica. A ausência de glúten na massa remove a rede proteica que confere elasticidade, coesividade e a capacidade de reter gás carbônico, essenciais para a estrutura de panificados (Elliason; Larsson, 1993).

Desta forma, a utilização de fibras alimentares em produtos isentos de glúten é influenciada pelas características específicas que cada tipo de fibra confere ao produto. Geralmente, é preciso combinar diferentes tipos de fibras para alcançar um produto de qualidade tecnológica (Djordjevic *et al.*, 2022).

Quando adicionadas às formulações de alimentos, as farinhas ricas em fibras aumentam a ligação de água e óleo, facilitando a integração dos ingredientes e melhorando a textura e retenção de sabor (Bolanho; Danesi; Beléia, 2014; Rayan; Swailam; Hamed, 2023).

A goma xantana é considerada uma fibra solúvel. Isso significa que se dissolve em água, formando uma solução viscosa e gelatinosa, que pode ajudar a melhorar a textura e a consistência dos alimentos (Chaturvedi *et al.*, 2021). A ausência da rede

de glúten, faz com que massas isentas de glúten tendem a ser secas, esfareladas e difíceis de manipular, desta maneira, a goma xantana age como um "agente de ligação", conferindo as propriedades viscoelásticas necessárias (Diniz *et al.*, 2023).

Este hidrocoloide aumenta a viscosidade das massas e das soluções, o que pode melhorar a estrutura e a elasticidade dos produtos. Além de melhorar a textura e características viscoelásticas, diminuindo a retrogradação do amido e prolongando a vida útil dos produtos no armazenamento, também confere estabilidade a produtos que passam por ciclos de congelamento e descongelamento (Salehi, 2019).

Do ponto de vista nutricional, a goma xantana é considerada uma fibra solúvel, com baixo valor calórico. No entanto, as quantidades tipicamente empregadas em formulações são muito pequenas, o que significa que sua contribuição para o valor nutricional total do alimento, em termos de fibras, vitaminas e minerais, é insignificante (Rodrigues, 2021). A sua principal função é estritamente tecnológica, servindo como um substituto funcional do glúten (Serenato; Chaves, 2011).

Por outro lado, as farinhas de bagaço de mandioca e de subprodutos de palmito, ricas em fibras, amido resistente, proteínas e minerais, oferecem o valor nutricional e a estrutura de volume que a goma xantana não pode proporcionar (Fávaro; Rech, 2022). Sua aplicação permite que o produto final seja rotulado como "rico em fibras", o que é um atrativo significativo para o consumidor consciente da saúde (Ferreira *et al.*, 2015).

Santos *et al.* (2021), analisaram como diferentes tipos de fibras influenciam a textura e aceitação sensorial de massas de pizza. Foi observado que a adição de fibras dietéticas melhorou a textura e a crocância da massa.

Nunes *et al.* (2022), constataram que a adição de fibras melhora a textura e a aceitação sensorial em pizzas. Assim, o enriquecimento dos produtos isentos de glúten com fibras alimentares elevou o valor nutricional e melhorou as características tecnológicas e sensoriais (Arslan *et al.*, 2019).

Portanto a inovação em produtos isentos de glúten, consiste em uma abordagem que envolva fibras solúveis e insolúveis, onde a goma xantana fornecerá a estrutura crítica e as farinhas de subprodutos agrícolas oferecem o enriquecimento nutricional e a viabilidade econômica (Salehi, 2019).

1.5 FONTE DE ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL PARA PRODUTOS ISENTOS DE GLÚTEN: MICROALGA *DUNALIELLA SALINA*

As microalgas são organismos primários da microflora terrestre, desempenhando papéis fundamentais na produção primária, decomposição e ciclagem de nutrientes e energia. Para seu crescimento e reprodução, necessitam de luz, água, dióxido de carbono e nutrientes inorgânicos. São de grande interesse comercial devido à sua eficiência na conversão de dióxido de carbono em biomassa, a partir da qual podem ser extraídos compostos bioativos (Xu *et al.*, 2009).

Reconhecidas como fontes ricas em nutrientes, as microalgas contêm vitaminas, minerais, proteínas com aminoácidos essenciais, ácidos graxos poli-insaturados e antioxidantes (Bernaerts *et al.*, 2019; Lafarga *et al.*, 2020; Matos; Novelli; Tribuzi, 2022; Sengupta; Jayati, 2017). Demonstram notável capacidade de sobreviver em condições adversas, como calor, frio, radiação ultravioleta, salinidade e dessecação, graças à produção de substâncias tolerantes ao estresse, como o β -caroteno (Pangestuti *et al.*, 2018).

Existem aproximadamente 100.000 espécies de microalgas habitando diversos ambientes, incluindo água doce, salgada, salobra e solos (Barsanti; Gualtieri, 2022). Entre elas, destaca-se a *Dunaliella salina*, inicialmente identificada por Michel F. Dunal em salinas no sul da França como uma alga unicelular avermelhada (Dunal, 1838). Na Figura 11, pode-se observar a microalga *D. salina*.

Figura 1.9 - Microalga *Dunaliella salina*



Fonte: OGAENICS. *Dunaliella salina* Algae. Disponível em <https://ogaenics.com/en/zutaten/dunaliella-salina-algae/>. Acesso em: 3 set. 2024.

A microalga unicelular *D. salina* tem sido amplamente explorada devido ao seu potencial como fonte de uma vasta gama de compostos nutricionalmente significativos, com aplicações na indústria alimentícia e nutracêutica. Um dos compostos mais notáveis é o β -caroteno (Wang *et al.*, 2022).

Na natureza, a *D. salina* é a principal fonte de β -caroteno, um carotenoide com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, imunomoduladoras, hepatoprotetoras, retinoprotetoras e dermoprotetoras (Chagas, 2014). Este composto pode representar mais de 10% do peso seco da microalga (Ye; Jiang; Wu, 2008).

Um relatório da *Fortune Business Insights* projeta que o mercado mundial de carotenoides, avaliado em US\$1,4 bilhão em 2019, deve atingir US\$1,8 bilhão até 2027, a projeção de crescimento do mercado se deve ao uso crescente deste componente.

Além dos carotenoides, o perfil lipídico da *D. salina* é de grande interesse. Um estudo aprofundado revelou que seu conteúdo lipídico total é de aproximadamente 6,8% do peso seco, o qual inclui fosfolipídios, glicolipídios, triglicerídeos e outros lipídios polares e neutros (Rodrigues; Santos; Silva, 2021).

Do total de ácidos graxos esterificados, a microalga contém ácidos graxos poli-insaturados essenciais, como 13,6% de ômega-3 (18:3) e 14,7% de ômega-9 (18:1). Estes compostos conferem ao extrato lipídico da microalga atividades anti-inflamatórias, antioxidantes e antidiabéticas, sugerindo seu uso como ingrediente para alimentos funcionais (Pais *et al.*, 2024; Rodrigues; Santos; Silva, 2021).

A biomassa da microalga também é uma fonte de proteínas de alta qualidade e de vitaminas, incluindo as vitaminas B1, B7 e B12 (Ferreira; Pereira; Lima, 2020). Essa composição rica em macronutrientes e micronutrientes bioativos a posiciona como um ingrediente multifuncional para o setor de alimentos, podendo ser observada no Quadro 1.

A *D. salina* e seus extratos são utilizados em diversas aplicações comerciais. No setor de alimentos, o principal uso é como corante natural, ingrediente funcional e suplemento alimentar (Gomes, 2019).

No setor alimentício, corantes são essenciais para garantir a aparência dos produtos, aumentar a aceitação e seu valor de mercado. Pigmentos de microalgas podem suprir a demanda por corantes naturais, preservando a cor e valor nutricional dos alimentos durante armazenamento e processamento (Mesquita; Teixeira; Servulo, 2017).

Apesar de grande parte desse mercado ainda corresponder aos pigmentos sintéticos, existem estatísticas que demonstram que nos próximos anos a busca por pigmentos 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).

Quadro 1.1 - Perfil nutricional da *D. salina* e os benefícios associados aos principais compostos

Componente Bioativo	Composição Química	Benefício Funcional	Referências
β-Caroteno	Pigmento carotenoide (pró-vitamina A)	Antioxidante, precursor de vitamina A, corante natural, fotoprotetor	Hyrslava <i>et al.</i> , 2022 Wang <i>et al.</i> , 2022
Ácidos Graxos	Ômega-3 (18:3)	Anti-inflamatório, antidiabético, redutor de risco cardiovascular	Pais <i>et al.</i> , 2024
Lipídios Polares	Fosfolipídios, glicolipídios	Potencial para uso como ingrediente funcional	Vázquez <i>et al.</i> , 2022
Proteínas	Alta concentração de aminoácidos	Nutricional, comparável a proteínas de alta qualidade (albumina do ovo, lactoglobulina)	Vázquez <i>et al.</i> , 2022
Vitaminas	B1, B7, B12, Ácido Fólico	Essencial para metabolismo celular, suporte para a saúde da pele e metabolismo celular	Hyrslava <i>et al.</i> , 2022 Wang <i>et al.</i> , 2022
Glicerol	Poliálcool (açúcar-álcool)	Ajuda na proteção contra estresse osmótico, composto de interesse comercial	Hyrslava <i>et al.</i> , 2022 Wang <i>et al.</i> , 2022

O estudo dirigido por Sui, Harvey e Patrícia (2021) analisou a estabilidade, eficácia e os benefícios dos carotenoides da *D. salina* como corante natural em

produtos alimentícios. Além disso, verificou-se a capacidade desses carotenoides de manter a cor vibrante e estável durante o processamento e armazenamento dos alimentos, além de conferir propriedades antioxidantes.

Em outra pesquisa, a adição de carotenoides de microalgas demonstrou melhorar significativamente a vida útil dos produtos alimentícios, retardando a deterioração e mantendo a aparência dos alimentos por mais tempo. O estudo destaca que os carotenoides desempenham papel importante na preservação da cor dos alimentos, o que é crucial para a aceitação dos consumidores e a qualidade do produto (Novoveská *et al.*, 2023).

Além dos fatores mencionados, a deficiência nutricional impacta mais de dois bilhões de pessoas no mundo, levando a sérios problemas de saúde (Huang *et al.*, 2020). A baixa ingestão de β -caroteno e outros carotenoides provitamínicos pode causar cegueira noturna, xerofthalmia, ceratinização ocular, maior suscetibilidade a infecções, anemia, crescimento infantil deficiente e aumento da mortalidade materna (Johnson, 2022). Portanto, é essencial consumir alimentos ricos em β -caroteno (Ambrósio *et al.*, 2006).

O uso da *D. salina* mostra efeitos positivos no tratamento de doenças cardiovasculares e possui propriedades anti-inflamatórias (Silva *et al.*, 2021). A adição de *D. salina* em massas de trigo melhorou o valor nutricional, teor de minerais, biocompostos e ácidos graxos insaturados, com avaliação sensorial satisfatória (El-Baz; Abdo; Hussein, 2017).

Além disso, o interesse pela proteção ambiental tem sido um dos principais motivadores para o consumo de alimentos à base de microalgas (Franco; Brunner, 2024). Se apenas 2% da produção global de carne projetada para 2050 fosse substituída por proteínas derivadas de microalgas, isso poderia mitigar aproximadamente 230 milhões de toneladas de emissões de CO₂ (FAO, 2022; Smetana *et al.*, 2017).

Em estudo realizado por Bich *et al.* (2019), foram relatados que as principais razões para o aumento do consumo de microalgas estão relacionadas à saúde e suas propriedades nutricionais, como, são saudáveis (64%), são nutritivas (61%), fonte natural de ômega-3 (59%), baixo em calorias (54%) e ainda uma boa fonte de proteína (54%). Wassmann *et al.* (2024) relataram que a disposição dos consumidores em comprar produtos análogos à carne com microalgas está positivamente relacionada à sustentabilidade e às preocupações com a saúde.

Desta maneira, o mercado global para microalgas é considerado promissor, especialmente para aplicações alimentares, uma vez que são capazes de produzir proteínas e pigmentos de alta qualidade.

1.6 IMPACTO DOS MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO NA VIDA ÚTIL DE MASSAS DE PIZZA

Além das questões nutricionais, tecnológicos e de sustentabilidade relacionadas ao desenvolvimento de alimentos, o estudo da vida útil se faz necessário.

A avaliação da vida útil é fundamental para assegurar e monitorar a qualidade do produto, sendo influenciada por uma variedade de fatores que o *Institute of Food Science and Technology* (IFST) categoriza como intrínsecos e extrínsecos (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2011; Moreira, 2015). Com base nesses fatores, tem-se a Teoria de Hurdles, desenvolvida por Leistner (1995), que propõe que a estabilidade de um produto não depende de um único método de conservação rigoroso. Deve-se combinar vários métodos que, de forma sinérgica, impedem o crescimento de microrganismos patogênicos e deterioradores, aplicados de forma mais branda, de modo a interferir menos nas características de qualidade sensoriais e nutricionais dos produtos elaborados.

Em relação aos métodos de armazenamento de produtos de panificação isentos de glúten, a temperatura ambiente acarreta em vida útil limitada, geralmente de 3 a 5 dias, quando não são utilizados conservantes. A deterioração nesse ambiente é primariamente impulsionada por dois fatores: o endurecimento da textura devido à retrogradação do amido e o crescimento microbiológico (Vanzo, 2023).

O envelhecimento de massas é um processo natural que leva ao endurecimento e ressecamento, atribuído à retrogradação do amido (Wang *et al.*, 2015). Este fenômeno é o principal desafio para a extensão da vida útil de panificados isentos de glúten, que são particularmente suscetíveis a esse processo, devido à sua alta dependência de amido para a estrutura (Sciarini; Palavecino; Ribotta, 2023).

Além desse fator, o desenvolvimento de bolores e leveduras, é um dos principais limitantes da vida útil para produtos com alto teor de umidade, tornando a conservação uma necessidade para estender o prazo de validade (Saranraj; Geetha, 2012).

Além da utilização de métodos de armazenamento e embalagens, os antioxidantes desempenham papel importante na extensão da vida útil dos alimentos, prevenindo a rancificação, a perda de cor, o desenvolvimento de odores indesejáveis, e a degradação da textura, entre outros processos deteriorativos (Wu *et al.*, 2019). Como exemplo, os carotenoides e compostos fenólicos presentes na *D. salina* têm se mostrado uma excelente opção como antioxidantes naturais para prolongar a vida útil dos alimentos (Assis, 2021).

1.6.1 Armazenamento Refrigerado e congelado

Para a conservação de panificados, o congelamento e a refrigeração são métodos amplamente utilizados (Leray *et al.*, 2010). No entanto, seus efeitos na qualidade do produto são diferentes, especialmente para produtos isentos de glúten.

A refrigeração (temperaturas entre 2°C e 8°C) é contraindicada para a maioria dos pães frescos, incluindo os isentos de glúten. Embora o frio possa retardar o crescimento de muitos microrganismos, a retrogradação do amido é acelerada na faixa de 0 a 4°C, fazendo com que o pão endureça mais rapidamente do que em temperatura ambiente. A estrutura do miolo de pães, que carece da rede proteica do glúten, é particularmente vulnerável a essa ocorrência, resultando em perda rápida de maciez e qualidade sensorial (Ribotta *et al.*, 2001).

Por outro lado, o congelamento é o método mais eficaz para a conservação prolongada. Ao paralisar a recristalização do amido, preserva a estrutura e o frescor do miolo, mantendo a vida útil por um período de 1 a 3 meses. Embora o congelamento seja um método eficaz de conservação, apresenta desafios tecnológicos que afetam a qualidade final da massa (Wang *et al.*, 2017). Podendo impactar nas propriedades tecnológicas, uma vez que afeta o amido presente nas farinhas, causando fissuras e danos nas estruturas das massas, conforme observado por Yang *et al.* (2021).

Neste sentido, a aplicação de hidrocoloides demonstra relevância nesse processo, pois o complexo formado entre o emulsificante e a amilose presente no amido é insolúvel em água. Isso dificulta a liberação de água do interior do grânulo de amido, prevenindo a retrogradação (Del Bem; Polesi; Sarmiento, 2011).

Ao utilizar o congelamento como tecnologia de conservação, grande parte da água presente nos alimentos torna-se inacessível aos microrganismos. A formação

de cristais de gelo imobiliza a água, o que reduz a atividade de água e prolonga a vida útil dos alimentos (Campos, 2021).

No contexto latino-americano, o Brasil se sobressai como o país com o maior número de consumidores de alimentos congelados, principalmente em virtude da conveniência oferecida na preparação das refeições (FRIOMILIA, 2020). De acordo com a *Euromonitor International* (2023) as vendas de pizzas congeladas no Brasil somaram cerca de R\$1,1 bilhão em 2023, representando um crescimento contínuo nos últimos cinco anos.

Estudos demonstram que quando mantidas em condições ideais, as pizzas isentas de glúten apresentam boa estabilidade microbiana, mas podem sofrer alterações na textura e sabor ao longo do tempo. Portanto, melhorias no processo de congelamento e refrigeração são importantes para aumentar a vida útil e a segurança do alimento (Resende, 2011).

1.6.2 Óleo Essencial de Orégano: Propriedades e Mecanismo de Ação

O orégano (*Origanum vulgare*) é uma planta condimentar que, além de suas propriedades aromáticas, é reconhecida por suas notáveis atividades antimicrobianas e antioxidantes (Burt, 2004). Tais características são atribuídas à sua composição rica em compostos fenólicos, com destaque para o carvacrol e o timol. O mecanismo de ação desses compostos ativos é complexo, mas a principal forma de atuação reside na capacidade de desestabilizar e romper a membrana celular dos microrganismos. Essa ação causa a permeabilização da membrana, o que leva à liberação de componentes intracelulares e, conseqüentemente, à morte celular (Nurzyńska-wierdak; Walasek-janusz, 2025).

O óleo essencial de orégano (OEO) demonstrou uma excelente atividade antibacteriana contra cepas patogênicas e deteriorantes, incluindo bactérias Gram-positivas como o *Staphylococcus coagulase negativa* e Gram-negativas como a *Escherichia coli* e a *Salmonella choleraesuis* (Araújo *et al.*, 2015). A eficácia do OEO também se manifesta como um efeito bacteriostático, capaz de inibir o aumento da contaminação microbiana em alimentos refrigerados por períodos prolongados (Gandra *et al.*, 2013).

Além do reconhecido potencial antimicrobiano e antioxidante do orégano, a escolha específica do óleo essencial de *Origanum vulgare* (OEO) se justifica por

apresentar composição química mais estável e concentrada em carvacrol e timol, quando comparado a outros óleos essenciais. Estudos comparativos indicam que o OEO possui espectro de atividade mais amplo que óleos como os de alecrim, manjerição e cravo, além de maior resistência a variações de temperatura, características importantes para aplicações em sistemas alimentícios (Pesavento *et al.*, 2015).

A aplicação do óleo essencial de orégano em produtos de panificação isentos de glúten demonstra potencial para prolongar a vida útil, especialmente em temperatura ambiente. Estudos sobre a aplicação do óleo em massas de pizza pré-assadas mostraram que pode aumentar a vida útil em até 12 dias, mesmo em concentrações baixas (1%). A eficácia antifúngica do óleo foi notável, inibindo o crescimento de bolores e leveduras, que são os principais agentes de deterioração nesses produtos (Vanzo, 2023).

Um estudo experimental sobre a vida útil de uma massa de pão mostrou que uma solução com 2% de OEO foi capaz de prolongar a vida útil em até 15 dias e manter o padrão microbiológico dentro dos valores aceitos pela legislação brasileira por até 20 dias de armazenamento em temperatura ambiente (Vanzo, 2023). Portanto, a aplicação de conservantes naturais, como o OEO, tem sido estudada como uma alternativa aos aditivos sintéticos (Moraes-Lovison, 2017).

Desta forma, a adição de óleo essencial de orégano, além de conferir propriedades antimicrobianas e antioxidantes, elimina a necessidade de congelamento para conservação, exercendo influência direta nos atributos sensoriais (Da Silva *et al.*, 2009). Portanto, a ação do óleo essencial de orégano apresenta potencial promissor como conservante natural.

1.6.3 Embalagens

Independentemente do método de armazenamento utilizado, é necessário o uso de embalagens. Dentre os diferentes tipos de embalagens, o plástico tornou-se um dos principais materiais usados, devido às suas propriedades como alta resistência, durabilidade e custo-benefício. Essa expansão pode ser atribuída à conveniência, aos avanços e aos benefícios da embalagem, como o fornecimento de informações aos consumidores sobre o conteúdo, prazo de validade e condições de armazenamento do produto (Fontoura *et al.*, 2016). Outras vantagens incluem a

segurança, extensão da vida útil e redução do desperdício e perda de alimentos (Jambeck; Walker-franklin, 2023; Yates *et al.*, 2025)

A utilização do Nylon (Poliamida - PA) é um termoplástico que pode conferir vantagens para a conservação de massas de pizza. O Nylon oferece resistência mecânica, protegendo a embalagem contra furos e rasgos durante o manuseio, transporte e empilhamento. Outra vantagem desse material é sua alta resistência térmica e soldabilidade que garante a formação de selagens fortes mesmo em processos de envase rápido (Brody; Stuping; Krochta, 2008).

O Nylon é eficiente como barreira a água, aromas, gás carbônico e oxigênio, protegendo o alimento da umidade, odores externos e da oxidação de ingredientes incorporados (Selke; Culter; Hernandez, 2016).

1.7 ANÁLISE SENSORIAL E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

No desenvolvimento de produtos isentos de glúten, a análise sensorial é utilizada como forma de avaliar a aceitação do consumidor e o sucesso no mercado. A ausência do glúten, proteína responsável pela estrutura, textura e umidade de diversos alimentos, impõe desafios tecnológicos significativos (Pico; Martinez; Gomez, 2017).

Artigos científicos demonstram que a substituição do glúten por outros ingredientes, pode resultar em características sensoriais indesejáveis, como textura esfarelada, seca, sabor residual e aparência pouco atraente (Chis *et al.*, 2020; Puerta *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a análise sensorial permite aos desenvolvedores de produtos identificar e quantificar esses atributos negativos. Com base nesses dados, é possível refinar as formulações, testar diferentes combinações de ingredientes e tecnologias de processamento para mimetizar as propriedades do glúten e, assim, criar produtos que atendam às expectativas dos consumidores, sejam os celíacos ou adeptos de uma dieta isenta de glúten por escolha (Gallagher; Gormley; Arendt, 2004).

A análise sensorial é o componente que efetivamente analisa a viabilidade de um produto isento de glúten, a partir da qualidade percebida pelo ser humano. Pois, um produto pode ser nutricionalmente adequado e estável, mas sem a validação

sensorial positiva, seu valor comercial é limitado, visto que a aceitação do consumidor é o que define se a inovação foi bem-sucedida (Heymann, 2010).

Além da análise sensorial, existem outras metodologias que podem ser aplicadas para avaliar a aceitação dos consumidores. Uma delas é a Análise de Componentes Principais (ACP), uma ferramenta estatística multivariada essencial para a redução da dimensionalidade em estudos complexos de consumo alimentar (Cozzolino; Power; Chapman, 2019; Hair *et al.*, 2009).

No desenvolvimento de alimentos, a ACP é aplicada para processar grandes conjuntos de dados obtidos de questionários sobre atitudes, percepções e conhecimento do consumidor, permitindo identificar as dimensões que explicam a variância nos dados, como os fatores que mais influenciam a aceitação ou a neofobia em relação a ingredientes não convencionais (Villaró; Viñas; Lafarga, 2021).

Especificamente na investigação do perfil de consumidores, preferências e hábitos, a ACP possibilita a segmentação de mercado e a delimitação de grupos com padrões de consumo e atitudes homogêneos (Næs *et al.*, 2021). Permite que as empresas de alimentos ajustem as formulações para maximizar a aceitação e criem mensagens de marketing mais eficazes, direcionadas ao valor percebido por cada segmento (Cattell, 1966).

1.8 CONCLUSÃO

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

As massas de pizza, 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.

As farinhas de subprodutos demonstraram ser fontes ricas em fibras, amidos e compostos bioativos, podendo ser alternativas ao trigo, porém apresentam capacidade limitada de dar estrutura aos produtos panificados. A combinação de diferentes farinhas e uso de hidrocoloides são estratégias que devem ser investigadas, buscando desenvolver formulações e tecnologias que atendam de maneira satisfatória os requisitos de qualidade desses produtos.

A incorporação de microalgas nas massas de pizza, em especial a *D. salina*, que é rica em proteínas e compostos bioativos, como os carotenoides, potencializa o enriquecimento nutricional e reforça o caráter sustentável da proposta, uma vez que apresentam menos impacto ambiental para sua obtenção.

A avaliação dos métodos de armazenamento demonstra que a vida útil de massas de pizza isentas de glúten depende da compreensão dos fenômenos físico-químicos que afetam sua qualidade, especialmente a retrogradação do amido e o crescimento microbiano.

A análise sensorial e análise de componentes principais se mostram indispensáveis no desenvolvimento de alimentos isentos de glúten, uma vez que a sua ausência intensifica os desafios na obtenção de textura, sabor e aparência adequados.

Dessa forma, essa problemática foi abordada nesse trabalho de mestrado.

REFERÊNCIAS

ABIARROZ – Associação Brasileira da Indústria do Arroz. Brasil foi o primeiro país das Américas a cultivar arroz. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.abiarroz.com.br>. Acesso em: 2 set. 2025.

ABIMAPI – Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados. Estatísticas da produção nacional. 2017. Disponível em: <https://www.abimapi.com.br/>. Acesso em: 02 set. 2024.

AGRAHAR-MURUGKAR, D. Food to food fortification of breads and biscuits with herbs, spices, millets and oilseeds on bio-accessibility of calcium, iron and zinc and impact of proteins, fat and phenolics. **Food Science and Technology**, v. 130, n. 7, p. 109703, 2020.

AJAYI, C. O.; OLUTUMISE, A. I. Determinants of food security and technical efficiency of cassava farmers in Ondo State, Nigeria. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 21, n. 7, p. 915-928. 2018.

ALEXANDRE, M. S.; MARQUES, L. F. Pizza sem glúten a partir da massa da mandioca e polvilho azedo: elaboração, avaliação sensorial e físico-química. **Jornada de Iniciação Científica e Extensão**, v. 16, n. 1, p. 86, 2021.

ALMEIDA, A. R. *et al.* Impact of rice and cassava starches on the quality of glutenfree pizza dough. **Food Science & Nutrition**, v. 9, n. 4, p. 2062-2072, 2021.

ALJADA, B.; ZOHNI, A.; EL-MATARY, W. The Gluten-Free Diet for Celiac Disease and Beyond. **Nutrients**, v. 13, n. 11, p. 3993, 2021.

ALPINO, T. M. A. *et al.* COVID-19 e (in)segurança alimentar e nutricional: ações do Governo Federal brasileiro na pandemia frente aos desmontes orçamentários e institucionais. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 8, p. e00161320, 2020.

AMBATI, R. R. *et al.* Carotenoids and their role in health and disease. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**, v. 65, n. 4, p. 245-252, 2019.

AMBRÓSIO, C. L. B. *et al.* Carotenoides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, v. 19, p. 233-243, 2006.

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.

ANVISA Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Alimentos com alegações de propriedades funcionais aprovadas. 2016. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/alimentos/alegacoes>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Rotulagem nutricional: definido prazo para uso de embalagens antigas. Publicado em 10 out.

2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2023/rotulagem-nutricional-definido-prazo-para-uso-de-embalagens-antigas>.

ARANTES, M. *et al.* Composição e potenciais estratégias de utilização dos subprodutos da agroindústria brasileira de pupunha. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 48, p. 006224, 2024.

ARAÚJO, L. S. *et al.* Composição química e susceptibilidade do óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare* L., família *Lamiaceae*) frente a cepas de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella choleraesuis*. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 33, n. 1, p. 73-78, 2015.

AREPALLY, D. *et al.* Biscuit baking: A review. **Food Science and Technology**, v. 131, p. 109726, 2020.

ARSLAN, M. *et al.* Complimenting gluten free bakery products with dietary fiber: Opportunities and constraints. **Trends in Food Science & Technology**, n. 83, p. 194-202, 2019.

ASSIS, R. Carotenoides como antioxidantes naturais na indústria alimentícia. **Revista de Ciência e Tecnologia Alimentar**, v. 34, n. 2, p. 112-120, 2021.

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

BARBOSA, M. Análise de publicações sobre *Dunaliella* no PubMed (2000-2019). **Revista Brasileira de Biotecnologia**, v. 21, n. 2, p. 235-248, 2023.

BARROS, N. V. A. *et al.* Desenvolvimento de massa de pizza enriquecida com hibisco. **Ensaio e Ciência**, v. 24, n. 5, p. 504-510, 2020.

BARSANTI, L.; GUALTIERI, P. **Microalgae: Diversity and Applications**. Springer, 2022.

BELIK, W.; CUNHA, A. R. A. A.; COSTA, L. A. Crise dos alimentos e estratégias para redução do desperdício no contexto de uma política de segurança alimentar e nutricional no Brasil. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 38, p. 107-132, 2012.

BEMILLER, J. N. Starches: molecular and granular structures and properties. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**, v. 3, p. 159-189, 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.

BERNAUD, F. S. R.; RODRIGUES, T. C. Dietary fiber: adequate intake and effects on metabolism health. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 57, n. 6, p. 397-405, 2013.

BERTOFT, E. The physicochemical properties of starch and their impact on food quality. **Starch - Stärke**, v. 68, n. 1-2, p. 73-85, 2016.

BICH, H. *et al.* Consumer perceptions and motivations for increasing microalgae consumption. **Journal of Applied Phycology**, v. 31, n. 2, p. 829-837, 2019.

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.

BOLANHO, B. C. *et al.* Produção de farinha com subproduto do processamento de palmito pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth.) para aplicação em biscoitos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 149-158, 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 429, de 8 de outubro de 2020**. Dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 8 out. 2020.

BRASIL. Fome no Brasil piorou nos últimos três anos, mostra relatório da FAO. Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mds/pt-br/noticias-econteudos/desenvolvimento-social/noticias-desenvolvimento-social/fome-no-brasilpiorou-nos-ultimos-tres-anos-mostra-relatorio-da-fao>. Acesso em: 22 ago. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 94, n. 3, p. 223-253, 2004.

Business Research. Global Pizza Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product Type, By Delivery Type, By Region, And Segment Forecasts, 2021 - 2031. 2023.

CABRAL, L. *et al.* Processamento da pupunha: do campo à indústria. **Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos**, v. 12, n. 1, p. 25-34, 2015.

CAMPELO, D. A. V. *et al.* Addition of different tuna meal levels to pizza dough. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. e2016014, 2017.

CAMPOS, F. J. *et al.* Impact of industrialization and ultraprocessed foods on fiber intake in Brazilian regions. **Nutrition Journal**, v. 20, n. 1, p. 55-64, 2021.

CAPACCI, S.; LEUCCI, A. C.; MAZZOCCHI, M. There is no such thing as a gluten-free lunch: Higher food prices and the cost for celiac consumers. **Economics & Human Biology**, v. 30, p. 84-91, 2018.

CAPPELLI, A.; OLIVA, N.; CINI, E. A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies. **Applied Sciences**, v. 10, n. 18, p. 6559, 2020.

CAPRILES, V. D.; MARTINI, L. A.; ARÊAS, J. A. G. Metabolic osteopathy in celiac disease: importance of a gluten-free diet. **Nutrition Reviews**, v. 67, n. 10, p. 599-606, 2009.

CARGNIN, G. *et al.* Technology for the valorization of rice by-product with potential applicability in fish farming. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, p.1-9, 2022.

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

CEPEA. Mandioca: produção de fécula cresce quase 30% em 2023 e alcança o maior volume em oito anos. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/mandioca-cepea-producao-de-feculacresce-quase-30-em-2023-e-alcanca-o-maior-volume-em-oito-anos.aspx>. Acesso em: 10 jun. 2024.

CEPEA. Levantamento da produção de amido de mandioca no Brasil. 2024. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br>. Acesso em: 3 set. 2024.

CHAGAS, A. L. **Produção de carotenoides e lipídeos pela microalga *Dunaliella tertiolecta* utilizando CO₂ de fermentação de cerveja**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2014.

CHATURVEDI, S. *et al.* A review on properties and applications of xanthan gum. **Microbial Polymers: Applications and Ecological Perspectives**, p. 87-107, 2021.

CHIŞ, M. S. *et al.* Textural and Sensory Features Changes of Gluten Free Muffins Based on Rice Sourdough Fermented with *Lactobacillus spicheri* DSM 15429. **Foods**, v. 9, n. 3, p. 363, 2020.

COSTA, B. V. *et al.* Production of gluten free bread with flour and chia seeds (*Salvia hispânica* L). **Food Bioscience**, v. 43, p. 101294, 2021.

CULETU, A. *et al.* The role of hydrocolloids in gluten-free bread and pasta; rheology, characteristics, staling and glycemic index. **Foods**, v. 10, n. 12, p. 3121, 2021.

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.

DANESI, E. D. G. *et al.* Investigação de matérias-primas para desenvolvimento de alimentos isentos de glúten *plant-based*. **Ciências Agrárias: Tecnologia, Sustentabilidade e Inovação**, v.1, p. 176-195, 2024.

DA SILVA B. N. *et al.* Antimicrobial and sensorial effects of *Origanum vulgare* L. essential oil in cheese. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 40, n. 1, p. 193–198, 2009.

DE BORBA, V. S. *et al.* Modificações do amido e suas implicações tecnológicas e nutricionais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos: Pesquisa e Práticas Contemporâneas**, v. 1, n. 31, p. 428-457, 2021.

DEL BEM, M. S.; POLES, L. F.; SARMENTO, S. B. S. Propriedades funcionais de amido de leguminosas em associação à hidrocoloides. **Boletim CEPPA**, v. 29, n. 1, p. 103-116, 2011.

DINIZ, R. C. *et al.* Um estudo sobre diferentes farinhas sem glúten e possíveis aplicações. **Revista Científica SENAI-SP-Educação, Tecnologia e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 121-136, 2023.

DJORDJEVIĆ, M. *et al.* Delving into the role of dietary fiber in gluten-free bread formulations: integrating fundamental rheological, technological, sensory, and nutritional aspects. **Polysaccharides**, v. 3, n. 1, p. 59-82, 2021.

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

DUAN, X. *et al.* Bioaccessibility, bioavailability and bioactivities of carotenoids in microalgae: A review. **Food Reviews International**, v. 40, n. 1, p. 230-259, 2024.

DUARTE, P.; TEIXEIRA, M.; SILVA, S. C. A alimentação saudável como tendência: a percepção dos consumidores em relação a produtos com alegações nutricionais e de saúde. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, n.3, p.1-17, 2021.

DUNAL, M. F. Observations sur une algue unicellulaire, la *Dunaliella salina*. **Annales des Sciences Naturelles, Botanique**, v. 9, p. 117-122, 1838.

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.

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.

ELGADIR, M. A. *et al.* Impact of chitosan composites and chitosan nanoparticle composites on various drug delivery systems: A review. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 23, n. 4, p.619-629, 2015.

EMBRAPA. **Pupunha**. Embrapa Florestas, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/pupunha/tema>. Acesso em: 05 jun. 2024.

EMBRAPA. **Panorama da produção mundial de arroz**. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/arroz-e-feijao/panorama-producao>. Acesso em: 3 set. 2024.

Euromonitor International. (2023). **Pizza in Brazil**. Recuperado de Euromonitor International Database.

Exame. "Consumidor busca por pizzas congeladas com ingredientes premium e opções saudáveis", maio de 2023.

FAO. Cassava processing - World production and trade of cassava products. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 3 ago. 2024.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Rome: FAO, 2022.

FÁVARO, V. R.; RECH, A. F. Utilização de resíduos agroindustriais na alimentação de ruminantes. **Agropecuária Catarinense**, v. 35, n. 2, p. 14-16, 2022.

FELIPE, J. A importância da mandioca na economia brasileira. **Revista de Agricultura Tropical**, v. 15, n. 3, p. 45-56, 2022.

FENEMMA, O. R.; DAMODARAM, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre; Artmed, 2010, p. 900.

FERREIRA, S. *et al.* Subprodutos Agroindustriais. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Biotecnologia**, v. 2, p. 9-11, 2015.

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

FERREIRA, J. *et al.* Desenvolvimento de massa de pizza sem glúten com benefícios nutricionais adicionados usando bagaço de cervejaria. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 40, n. 2, p. 123-134, 2020.

FERREIRA, R. A.; PEREIRA, L. A.; LIMA, G. R. Nutritional composition and bioactive potential of *Dunaliella salina*: A promising source for functional food development. **Food Research International**, v. 137, p. 109569, 2020.

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

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Avaliação da vida útil dos alimentos. **Food Ingredients Brasil**, v. 10, n. 2, p. 15-20, 2011.

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

FRANCO, C. R.; BRUNNER, R. Environmental benefits of algae-based food products. **Environmental Science & Policy**, v. 128, p. 14-22, 2024.

FREITAS, J. *et al.* Development of functional snacks with green banana flour and rice grits. **Journal of Functional Foods**, v. 98, p. 105206, 2023.

FRIOMILIA. A ascensão dos alimentos congelados no Brasil. **Revista Brasileira de Alimentação**, v. 22, n. 4, p. 45-52, 2020.

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

GANDRA, E. A. *et al.* Potencial antimicrobiano y antioxidante de extractos vegetales de romero, hinojo, estragón y orégano. **Revista de Ciencia y Tecnología**, n. 20, p. 24-29, 2013.

GAO, Z. *et al.* Commercial applications and safety of edible microalgae. **Food Control**, v. 139, p. 108746, 2024.

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

GOMES, E. A. C. **Evaluation of *Dunaliella salina* growth and corresponding β -carotene production in tubular photobioreactor**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

GOMES, L. L. S. *et al.* Discos de pizza pré-assados com e sem glúten: formulação e avaliação. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 31, p. e02003-e024003, 2024.

GONÇALVES, A. *et al.* O papel do amido na alimentação e na indústria. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 15, n. 2, p. 123-135, 2022.

GREGORINI, A. *et al.* Immunogenicity characterization of two ancient wheat α gliadin peptides related to coeliac disease. **Nutrients**, v. 1, n. 2, p. 276-290, 2009.

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

HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food: principles and practices**. 2. ed. New York: Springer, 2010.

HYRSLOVA, I. *et al.* Functional properties of *Dunaliella salina* and its positive effect on probiotics. **Marine Drugs**, v. 20, n. 12, p. 781, 2022.

HUANG, J. *et al.* Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1990–2020. **Global Health Action**, v. 13, n. 1, p. 1766557, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) 2023. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 3 set. 2024.

JANE, J. L. Starch structure and its impact on gel formation. **Carbohydrate Polymers**, v. 122, p. 237-248, 2015.

JIAO, X. *et al.* Cassava starch and chickpea flour pre-treated by microwave as a substitute for gluten-free bread additives. **Journal of Food Science and Technology**, 2021.

JOHNSON, E. J. The role of carotenoids in human health. **Journal of Nutrition**, v. 152, n. 12, p. 3110-3120, 2022.

KONG, X.; CHEN, X.; ZHAO, Y. Impact of amylose to amylopectin ratio on the physicochemical and functional properties of starches. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 132, p. 214-220, 2019.

KOWALSKA, A. Segurança alimentar: desafios e problemas nos sistemas agrícolas e alimentares. **Journal of Agribusiness and Rural Development**, v. 37, n. 3, p. 407-420, 2015.

KOYANDE, A. K. *et al.* Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. **Food Science and Human Wellness**, v. 8, n. 1, p. 16-24, 2019.

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

LAMMERS, T. C. G. L. **Efeito do processamento químico e térmico do farelo de trigo na solubilização de polissacarídeos benéficos para a saúde humana**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

LERAY, G. *et al.* Effects of freezing and frozen storage conditions on the rheological properties of different formulations of non-yeasted wheat and gluten-free bread dough. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 1, p. 70-76, 2010.

LIMA, E. *et al.* Properties of cassava starch and its application in food products. **Food Hydrocolloids**, v. 120, p. 106921, 2023.

LÓPEZ-TENORIO, J. A.; RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; SEPÚLVEDA-VALENCIA, J. U. The influence of different emulsifiers on the physical and textural characteristics of gluten-free cheese bread. **Journal of Texture Studies**, v. 46, n. 4, p. 227-239, 2015.

LORENZETT, L. *et al.* Produção e aproveitamento de subprodutos do arroz no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agroindústria**, v. 15, n. 2, p. 78-89, 2022.

LOVERA, D. C. V. *et al.* **Aplicação de planejamento de misturas no desenvolvimento e caracterização de massa de pizza isenta de glúten, com as farinhas de maca peruana (*Lepidium meyenii*), inhame (*Dioscorea spp*), yacon (*Smallanthus sonchifolius*).** Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

LOPES, P. Sinérese e retrogradação do amido em alimentos congelados. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia Alimentar**, v. 12, n. 3, p. 55-65, 2024.

LUCAS, B. F. *et al.* Snack bars enriched with *Spirulina* for schoolchildren nutrition. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 146-152, 2019.

MAHATA, D. *et al.* Nutritional enhancement of food products using microalgae. **Food Chemistry**, v. 317, p. 126441, 2020.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Palmeira pupunha se destaca como matéria-prima do palmito e na preservação de árvores nativas. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/palmeirapupunha-se-destaca-como-materia-prima-do-palmito-e-na-preservacao-de-arvoresnativas>. Acesso em: 24 jun. 2024.

MARTÍNEZ, J.; HERNÁNDEZ, J.; ARIAS, A. Physicochemical and functional properties of white and brown rice (*Oryza sativa* L) starch. **Alimentos Hoy**, v. 25, n. 41, p. 15-30, 2017.

MATOS, M. E.; ROSELL, C. M. Understanding gluten-free bread staling: A microstructural and sensory approach. **Food Chemistry**, n. 174, p. 83-91, 2015.

MATOS, E. C.; NOVELLI, E. L. B.; TRIBUZI, J. N. Nutritional composition and health benefits of microalgae. **Algal Research**, v. 64, p. 102611, 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**, v. 10, n. 5, 2021.

MENEZES, E. G. *et al.* Energy value adjustments for fiber inclusion in food products. **Food Science & Technology**, v. 36, n. 4, p. 560-568, 2016.

MESQUITA, A. N. S. *et al.* A “falsa nutrição” em produtos industrializados na dieta alimentícia das crianças da zona rural e zona urbana. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.1, n.1, p. 2 - 6, 2018.

MILLER, J. *et al.* **Rice Processing and By-products**. 1. ed. London: Academic Press, 2020.

MOREIRA, R. Fatores que influenciam a vida útil dos produtos alimentícios. **Revista Brasileira de Tecnologia Alimentar**, v. 28, n. 1, p. 22-30, 2015.

MORAES-LOVISON, M. **Óleo essencial de orégano nanoemulsionado: produção, caracterização físico-química, atividade antimicrobiana e**

antioxidante in vitro e aplicação em patê de frango. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2017.

NAZARIAN, V.; VARSHNEY, V. Applications of rice flour from broken rice in glutenfree food products. **Journal of Food Research**, v. 12, n. 2, p. 1-12, 2023.

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.

NIKOLIC, D.; SERES, M. Dietary fibers: Composition and health benefits. **Journal of Nutritional Science**, v. 11, n. 2, p. 112-123, 2022.

NOVA SAFRA FOOD SERVICE. Entenda a diferença entre os 5 tipos de palmito. Disponível em: <https://www.novasa.fr/foodservice/palmitos-2/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

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.

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.

NUNES, M. P. *et al.* Effects of dietary fibers on gluten-free pizza dough: Sensory and nutritional evaluation. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 57, n. 4, p. 274-285, 2022.

NURZYŃSKA-WIERDAK, R.; WALASEK-JANUSZ, M. Chemical composition, biological activity, and potential uses of oregano (*Origanum vulgare* L.) and oregano essential oil. **Pharmaceuticals**, v. 18, n. 2, p. 267, 2025.

OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY. Brazil's cassava starch exports. 2024. Disponível em: <https://oec.world/en/profile/country/bra>. Acesso em: 3 set. 2024.

OLIVEIRA, I. M. *et al.* Use of alternative flours in bakery products: a literary review. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-27, 2020.

OLIVEIRA, J. A. R.; OLIVEIRA, L. S.; CASSIANO, K. S. Enzymatic hydrolysis of pupunha shell for second generation ethanol production. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p.19317-19327, 2020.

ONU - **Organização das Nações Unidas.** World Population Prospects, 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Publications/>. Acesso em: 27 ago. 2024.

OPENSTAX COLLEGE. Chemistry. 1. ed. OpenStax College, 2013.

OXFAM Brasil. Desperdício de alimentos: entenda suas consequências. Disponível em: <https://www.oxfam.org.br/blog/desperdicio-de-alimentos-entenda-suasconsequencias/>. Acesso em: 22 ago. 2024.

PAIS, R. *et al.*, Bioactive lipids in *Dunaliella salina*: implications for functional foods and health. **Foods**, v. 13, n. 20, p. 3321, 2024.

PALOMARES-NAVARRO, M. J. *et al.* Nutritional and Nutraceutical Properties of Selected Pulses to Promote Gluten-Free Food Products. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 8, p. 253-260, 2023.

PANGESTUTI, R.; SIAHAAN, E. A.; KIM, S. K. Substâncias fotoprotetoras derivadas de algas marinhas. **Drogas Marinhas**, v. 16, n. 11, p. 399, 2018.

PARK, S. *et al.* Sensory attributes and cost-effectiveness of starch blends in food products. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 44, n. 12, p. 2654-2662, 2009.

PICO, J.; MARTINEZ, M. M.; GOMEZ, M. Sensory and nutritional evaluation of gluten-free bread: challenges and recent advances. **Journal of Cereal Science**, v. 73, p. 1-13, 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.

PREICHARDT, L. D. *et al.* The role of xanthan gum in the quality of gluten free cakes: improved bakery products for coeliac patients. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, p. 2591-2597, 2011.

PUERTA, P. *et al.* Oral processing and dynamics of texture perception in commercial gluten-free breads. **Food Research International**, v. 134, p. 109233, 2020.

RAYAN, A. M.; SWAILAM, H. M.; HAMED, Y. S. Composition, structure, and technofunctional characteristics of the flour, protein concentrate, and protein isolate from Purslane (*Portulaca oleracea* L.) seeds. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 78, n. 1, p. 117-123, 2023.

RESENDE, F. S. **Efeito do congelamento sobre a microestrutura da massa do pão**. 2011. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

RIBOTTA, P. D.; LEÓN, A. E.; AÑÓN, M. C. Effect of freezing and frozen storage of doughs on bread quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 2, p. 913-918, 2001.

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.

RODRIGUES, A.; SILVA, M. C.; LIMA, R. Nutritional components of rice bran. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 5, p. 1123-1130, 2019.

RODRIGUES, A. C.; SANTOS, L. M.; SILVA, A. R. Lipid composition and bioactive properties of *Dunaliella salina*: potential applications in functional foods. **Journal of Applied Phycology**, v. 33, n. 5, p. 1301-1312, 2021.

RODRIGUES, L. L.; FERREIRA, D. F.; CARVALHO, A. F. Physicochemical and sensory properties of cassava and rice starch blends for gluten-free formulations. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 3, p. 701-709, 2020.

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.

RONKO, L. Z.; TRAVALINI, A. P.; DEMIATE, I. M. Amido e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* C.): obtenção e caracterização de diferentes variedades. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 14, n. 1, p. 55-68, 2020.

SALEHI, F. Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review. **Food Science & Nutrition**, v. 7, n. 11, p. 3391-3402, 2019.

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, D. T.; SILVA, M. A.; ARAÚJO, F. M. Gelatinization properties of cassava starch: influence of variety and processing conditions. **Food Hydrocolloids**, v. 100, p. 105475, 2020.

SANTOS, N. S. *et al.* Effect of using zein and pre-gelatinization of starch in the formulation of gluten-free bread. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 82920-82928, 2020.

SANTOS, A. S. *et al.* Influence of fibers on texture and sensory acceptance of pizza dough. **Food Science Journal**, v. 35, n. 2, p. 123-134, 2021.

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.

SARANRAJ, P.; GEETHA, M. Microbial spoilage of bakery products and its control by preservatives. **International Journal of Pharmaceutical & biological archives**, v. 3, n. 1, p. 38-48, 2012.

SCIARINI, L.; PALAVECINO, P. M.; RIBOTTA, P. D. Use of additives in gluten-free formulations. In: **Designing gluten free bakery and pasta products**. Cham: Springer International Publishing, p. 115-161, 2023.

SENGUPTA, A.; JAYATI, G. Antioxidant properties of microalgae and their potential applications. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 2, p. 1135-1145, 2017.

SERPA, A. B. M. M., *et al.* A doença celíaca: uma revisão bibliográfica. **Revista Científica das Faculdades de Medicina, Enfermagem, Odontologia, Veterinária e Educação Física**, v. 2, n. 4, p. 9, 2020.

SEVERO, C. Nutritional evaluation of rice by-products. **Journal of Nutritional Science**, v. 7, n. 4, p. 367-378, 2010.

SHARMA, P.; KUMAR, V.; KAUR, M. Influence of by-products on the quality and functional properties of gluten-free pizza crust. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 3, p. 1012-1023, 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.

SILVA, M. R. O. B. *et al.* Assessment of the potential of *Dunaliella* microalgae for different biotechnological applications: A systematic review. **Algal Research**, v. 58, p. 102396, 2021.

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.

SMETANA, S. *et al.* Environmental impacts of microalgae-based food products. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 979-989, 2017.

SOARES, R. L. S. Irritable bowel syndrome, food intolerance and non-celiac gluten sensitivity. A new clinical challenge. **Arquivos de Gastroenterologia**, v. 55, p. 417-422, 2018.

SOUZA, J. da S. **História e cultivo do arroz**. 1. ed. São Paulo: Editora Agro, 2019.

SOUZA, I. C. *et al.* Elaboração e composição nutricional de uma torta à base de grão-de-bico sem glúten. **Saber Científico**, v. 8, n. 2, p. 44-51, 2021.

SOUZA, M. R. *et al.* Development of gluten-free and egg-free bisnaguinha bread, made with yam and a mix of flours: a proposal for school feeding of children with food allergies. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e440101321364-e440101321364, 2021.

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

SUGANYA, T. *et al.* Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: a biorefinery approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 909-941, 2016.

SUI, Y.; HARVEY, P. J. Effect of light intensity and wavelength on biomass growth and protein and amino acid composition of *Dunaliella salina*. **Foods**, v. 10, n. 5, p. 1018, 2021.

SURMELY, J. Cassava starch: Hydrolysis and complex formation. **Starch - Stärke**, v. 55, n. 8, p. 365-372, 2003.

TAMASIGA, P. *et al.* Food waste and circular economy: Challenges and opportunities. **Sustainability**, v. 14, n. 16, p. 9896, 2022.

TEIXEIRA, A. *et al.* Utilização do bagaço de mandioca como ração animal: desafios e oportunidades. **Revista de Zootecnia**, v. 29, n. 4, p. 237-245, 2012.

TEIXEIRA, A. L. *et al.* O mercado global de pizzas: consumo e preferências. **Food Science and Technology Review**, v. 14, n. 2, p. 88-95, 2018.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; Qi, X. Starch—composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 151–165, 2004.

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.

UNIC RIO. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: 17 ODS para transformar o nosso mundo**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 3 set. 2024.

USMANI, Z. *et al.* Lignocellulosic biorefineries: the current state of challenges and strategies for efficient commercialization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 148, p. 111258, 2021.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Global rice production and trade**. 2024.

VALOR ECONÔMICO. "Mercado de pizzas no Brasil se reinventa com ingredientes premium e opções saudáveis." Valor Econômico, 2023. Disponível em: Valor Econômico.

VAN HUNG, P.; CHAU, H. T.; PHI, B. T. Influence of amylose and amylopectin on the properties of starch gels. **Journal of Food Science**, v. 81, n. 5, p. 1374-1382, 2016

VIDIGAL-FILHO, *et al.* **Mandioca: do plantio à colheita**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2022.

VAGULA, L. A. Soluble fibers and their impact on gastric emptying and cholesterol absorption. **Journal of Clinical Nutrition**, v. 8, n. 3, p. 203-210, 2019.

VILLARO-COS, P. *et al.* Edible microalgae as safe food ingredients: Regulatory perspectives and applications. **Trends in Food Science & Technology**, v. 120, p. 213-223, 2024.

WANDER, A. Produção de arroz no Brasil. **Revista Agropecuária**, v. 12, n. 3, p. 45-56, 2023.

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

WANG, J. *et al.* The extraction of β -carotene from microalgae for testing their health benefits. **Foods**, v. 11, n. 4, p. 502, 2022.

WASSMANN, J. *et al.* Consumer attitudes towards algae-based meat analogues. **Food Quality and Preference**, v. 89, p. 104129, 2024.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Food Loss and Waste: Facts and figures 2024**. 2024.

WWF-UK - Fundo Mundial da Natureza Reino Unido. Driven to waste: the global impact of food loss and waste on farms. 2021. Disponível em: https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/wwf_uk__driven_to_waste__the_global_impact_of_food_loss_and_waste_on_farms.pdf. Acesso em: 28 mai. 2024.

XU, L. *et al.* Microalgal bioreactors: challenges and opportunities. **Engineering in Life Sciences**, v. 9, n. 3, p. 178-189, 2009.

YANG, X. *et al.* Impact of freezing on the technological properties of dough. **Journal of Food Engineering**, v. 298, p. 112-120, 2021.

YE, Z.; JIANG, J.; WU, G. Biosynthesis and regulation of carotenoids in *Dunaliella*: progresses and prospects. **Biotechnology Advances**, v. 26, n. 4, p. 352-360, 2008.

ZHANG, L. *et al.* Comparative study on the thermal properties of amylose and amylopectin. **Food Hydrocolloids**, v. 113, p. 106307, 2021.

CAPÍTULO 2- ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS APLICADA A PADRÕES DE CONSUMO: PERCEPÇÕES SOBRE PRODUTOS ISENTOS DE GLÚTEN, SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS E *Dunaliella salina*

RESUMO

O desenvolvimento de alimentos isentos de glúten requer equilíbrio entre inovação tecnológica e aceitação do consumidor. Para avaliar percepções sobre produtos isentos de glúten, farinhas de subprodutos agroindustriais e da microalga *Dunaliella salina*, um questionário estruturado foi aplicado, resultando em 210 respostas. Os dados foram tratados por meio de Análise de Componentes Principais (ACP) visando reduzir a dimensionalidade e identificar padrões de percepção. Os resultados revelaram que os dois primeiros componentes principais concentram a maior parte da variabilidade, permitindo a segmentação dos participantes em três grupos distintos: (1) consumidores motivados por necessidade clínica, (2) consumidores orientados por dieta, atentos ao valor nutricional e (3) consumidores interessados nos benefícios à saúde, mas com pouco conhecimento sobre os produtos. A matriz de correlação demonstrou diversidade nos motivos de consumo e nas barreiras percebidas em relação aos produtos isentos de glúten. Entre os achados, observou-se que consumidores que dependem desses produtos por necessidade clínica relataram maior dificuldade em encontrá-los, assim como parte dos consumidores que associam esses alimentos a propriedades benéficas à saúde, demonstraram desconhecer suas características nutricionais e funcionais. Quanto às farinhas de subprodutos, 53,1% dos participantes nunca haviam experimentado, mas demonstraram interesse. A *D. salina* foi desconhecida por 88% dos respondentes, e 93,8% nunca haviam consumido pizzas com microalgas em sua massa. Apesar do desconhecimento, 57,8% mostraram disposição em experimentar novos alimentos quando informados sobre os benefícios nutricionais ou ambientais. Portanto, os resultados indicam o potencial de aceitação para formulações enriquecidas com os subprodutos e a microalga, porém condicionada a comunicação clara sobre benefícios nutricionais e ambientais. Desta forma, a ACP demonstrou-se eficaz para mapear perfis de consumidores e orientar estratégias de desenvolvimento de produtos, rotulagem e educação alimentar.

Palavras-chave: Doença celíaca, sustentabilidade, melhorias nutricionais, matriz de correlação.

2.1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de alimentos é um processo complexo que deve equilibrar as inovações tecnológicas e as demandas dos consumidores. A elaboração de alimentos isentos de glúten é impulsionada por condições de saúde como a Doença Celíaca, alergia, intolerância ou sensibilidade ao glúten não celíaca, mas também por uma parcela da população que adere a dietas ou busca opções percebidas como mais saudáveis. A expansão desse mercado evidencia a necessidade de suprir a demanda por produtos de qualidade, tanto no aspecto nutricional como sensorial (Willett *et al.*, 2019).

A substituição da farinha de trigo em formulações isentas de glúten representa um desafio tecnológico, que na maioria das vezes resulta em produtos com características sensoriais insatisfatórias e baixo valor nutricional, por conterem muitas vezes, amido como principal ingrediente das matrizes alimentícias (Naqash *et al.*, 2017).

A correção desse perfil nutricional pode ser alcançada com a valorização de subprodutos, como as farinhas de subprodutos agroindustriais e novas fontes alimentícias como a microalga *Dunaliella salina*. Estas se destacam por apresentarem elevados teores de nutrientes, como proteínas, fibras, minerais e compostos bioativos (Hyršlova *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2021).

A introdução de microalgas em alimentos não é muito comum, o que requer uma avaliação da aceitação do consumidor (Olsen; Olsen; Jensen, 2024). Muitos trabalhos relatam a existência da neofobia alimentar em relação a alimentos com matérias-primas não convencionais, como microalgas e subprodutos (Ferreira; Castro; Lopes, 2017; Silva *et al.*, 2022).

Contudo, estudos têm demonstrado que a percepção do consumidor sobre a adição destas fontes é influenciada pelo conhecimento prévio e pela associação a atributos como "saudável" e "inovador" (Olsen; Olsen; Jensen, 2024; Villaró; Viñas; Lafarga, 2021). Assim, o sucesso no desenvolvimento de alimentos enriquecidos depende da compreensão da opinião e do nível de conhecimento sobre essas fontes alternativas (Plantinga, 2020).

Desta forma, para obter dados aprofundados sobre o comportamento, as preferências e o conhecimento dos consumidores em relação a novos produtos e ingredientes, faz-se necessária a utilização de técnicas estatísticas, como a Análise de Componentes Principais (ACP) surge como uma ferramenta essencial para a redução da dimensionalidade, transformando um grande conjunto de variáveis

interrelacionadas em um número menor de variáveis, denominadas Componentes Principais (Da Silva, 2023; Hair *et al.*, 2009).

Em pesquisas relacionadas ao consumo de alimentos, a ACP pode ser aplicada para identificar padrões de consumo alimentar e delimitar grupos de consumidores com preferências semelhantes (Cozzolino; Power; Chapman, 2019; Næs *et al.*, 2021). Permite condensar e interpretar de forma objetiva a complexidade dos dados, revelando as principais dimensões que explicam a satisfação e o conhecimento dos consumidores, fornecendo informações estratégicas para o aprimoramento de formulações e para a comunicação eficaz (Cattell, 1966).

A aplicação da Análise de Componentes Principais para o tratamento de dados obtidos a partir de questionários aplicados, possibilita identificar as variáveis mais importantes que impactam a aceitação e a percepção dos consumidores em relação a produtos alimentícios.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo Geral

Avaliar por meio da Análise de Componentes Principais (ACP), o conhecimento e a percepção dos consumidores em relação a alimentos isentos de glúten, farinhas alternativas e a incorporação de *D. salina* como ingredientes alimentares.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Coletar dados sobre o tema a partir de um questionário estruturado.
- Aplicar a análise de componentes principais.
- Identificar os principais padrões de percepção e consumo de alimentos entre os participantes.
- Analisar as correlações entre variáveis.
- Mensurar o conhecimento da população investigada sobre os temas de interesse.

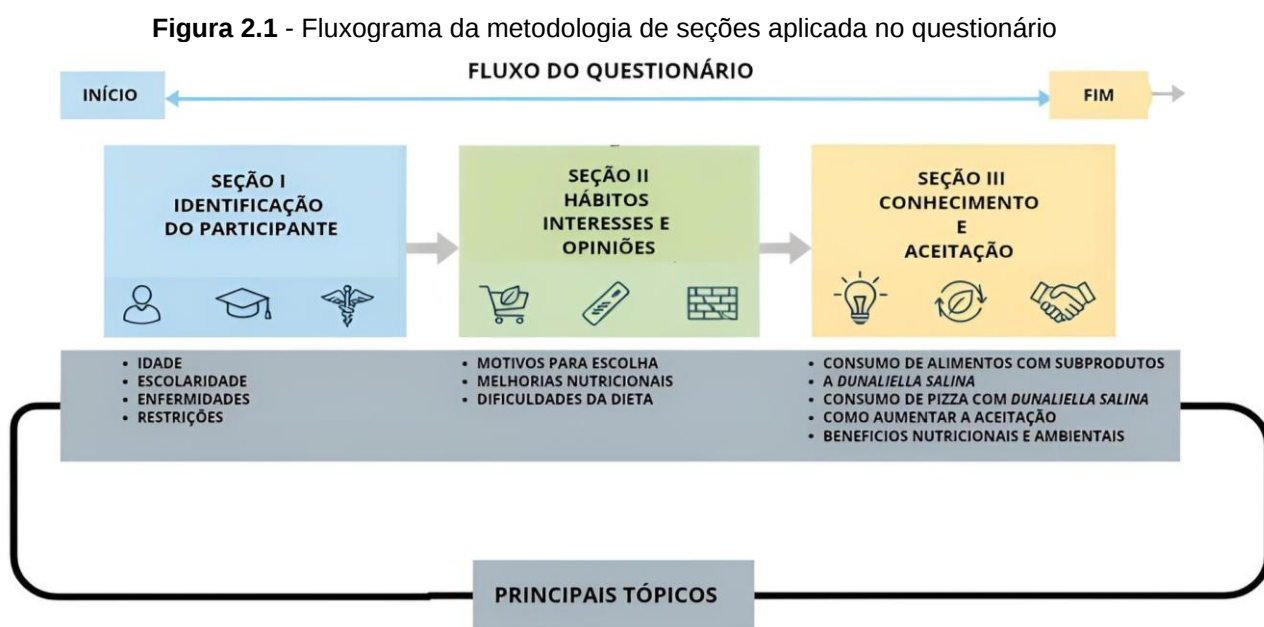
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

2.3.1 Questionário para Conhecimento Populacional Sobre o Tema

Para melhor entendimento sobre o conhecimento populacional em torno de alimentos isentos de glúten e de matérias-primas não convencionais foi realizada uma coleta de dados por meio de um questionário estruturado. Foi elaborado e administrado via *Google Forms*, disponível no período de abril a setembro de 2025, coletando um total de 210 respostas (Apêndice A).

A pesquisa foi desenvolvida para ser concluída em 5 a 10 min e amplamente divulgada por diferentes canais, incluindo *e-mail*, instituições de ensino superior e mídias sociais. A participação foi voluntária, condicionada à conhecimento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e CAAE: 84317024.6.0000.0105, aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) (Anexo A e B).

O questionário teve como finalidade avaliar a percepção, conhecimento e a satisfação dos consumidores em relação a alimentos isentos de glúten, farinhas alternativas e sobre a microalga *D. salina*. A estrutura do questionário foi organizada em três seções, expostas na Figura 1.



Fonte: A autora (2025).

Seção I – questões de identificação do participante, incluindo idade, nível de escolaridade, presença de restrições alimentares, enfermidades ou doenças crônicas;

Seção II – investigação dos hábitos, interesses e opiniões relacionados a produtos isentos de glúten;

Seção III - Conhecimento e aceitação de novas fontes alimentares e novos produtos.

2.3.2 Tratamento Estatístico dos Dados do Questionário

A análise estatística dos dados levantados com o questionário foi realizada por meio do software R (versão 2025.09.0), com uma Análise de Componentes Principais (ACP) para identificar os principais padrões de percepção dos consumidores sobre alimentos isentos de glúten.

A relevância dos componentes foi avaliada pelo Gráfico de Scree, com o intuito de demonstrar os componentes principais para explicar a variabilidade dos dados, sendo o "cotovelo" (ponto de inflexão) utilizado para definir a dimensionalidade da análise. Com base nesses componentes, uma análise de agrupamento foi utilizada para segmentar os participantes em perfis distintos (Jolliffe, 2002).

Para aprofundar as relações entre as variáveis, uma matriz de correlação foi desenvolvida para demonstrar as percepções gerais (correlações positivas e negativas) entre as variáveis motivos de consumo, necessidade de melhorias e dificuldades sentidas. Por fim, os dados analisados em relação aos subprodutos e a *D. salina* foram expostos em forma de gráficos de barras.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros dados obtidos a partir do questionário referiram-se à primeira seção, ou seja, ao perfil sociodemográfico das 210 pessoas que participaram do questionário. Em relação à faixa etária, observou-se uma distribuição diversificada, com 11,4% dos respondentes entre 16 e 18 anos, 26,1% entre 19 e 25 anos, 18% entre 26 e 35 anos, 16,1% entre 36 e 49 anos e 28,9% com 50 anos ou mais.

Quanto ao nível de escolaridade, nota-se que 3,3% concluíram apenas o ensino fundamental, 21,3% possuem apenas o ensino médio, enquanto a maior parte do grupo apresenta formação completa, sendo 40,8% com graduação e 37,9% com especialização ou pós-graduação.

Para ampliar a representatividade da amostra, sugere-se que pesquisas futuras adotem estratégias de coleta que ultrapassem os grupos de graduandos e pós-graduandos, como a aplicação do questionário em espaços comunitários, feiras livres, unidades básicas de saúde, associações de bairro e ambientes de trabalho.

A maior parte dos participantes (71%) reportou não possuir nenhuma restrição alimentar, indicando que a dieta utilizada pela maioria dos respondentes não é influenciada por restrições médicas.

Como perspectiva para trabalhos futuros, sugere-se a integração dos parâmetros de formulação, dos atributos sensoriais e do perfil dos consumidores em uma única análise multivariada, como a Regressão de Mínimos Quadrados Parciais (PLS) ou Análise de Múltiplos Fatores (MFA).

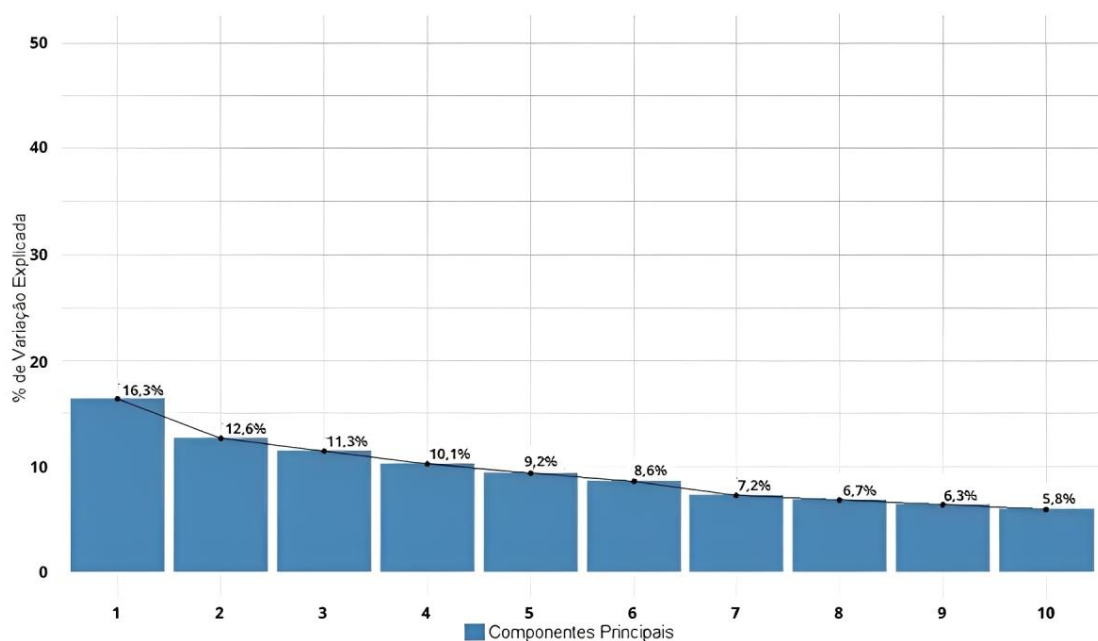
Em relação às enfermidades relatadas, as condições relacionadas ao glúten, como a doença celíaca, apresentaram uma prevalência baixa, afetando apenas 4,2% dos respondentes. Este dado sugere que, embora a doença celíaca seja um tema de crescente interesse clínico e público, sua prevalência documentada é estimada em média de 1% a 2% da população global (Singh *et al.*, 2018).

Portanto, a prevalência de 4,2% obtida no presente estudo, pode ser justificada pela combinação de outras condições como sensibilidade ao glúten não celíaco, alergia ao trigo e intolerância. Este achado é relevante, pois reforça a subnotificação dessas condições crônicas. Uma vez que a doença celíaca e as outras variantes relacionadas ao glúten não estão inclusas na Lista Nacional de Notificação Compulsória de Doenças (BRASIL, 2024), impedindo a mensuração precisa da real incidência.

Os dados seguintes abordados no questionário foram relacionados aos alimentos isentos de glúten. Nestes dados foi aplicado a Análise de Componentes Principais (ACP), com o objetivo de identificar padrões nas respostas relacionadas à opinião, ao conhecimento e à satisfação dos participantes em relação a alimentos isentos de glúten.

A Figura 2 demonstra a porcentagem de variância explicada por cada componente principal.

Figure 2.2 - Gráfico de *scree plot* com variação explicada pelos componentes principais



Fonte: A autora (2025).

Observa-se que o primeiro componente principal, explica 16,3% da variância total dos dados obtidos, seguido pelo segundo (12,6%), terceiro (11,3%) e quarto (10,1%), indicando que os quatro primeiros componentes juntos explicam cerca de 50% da variabilidade dos dados.

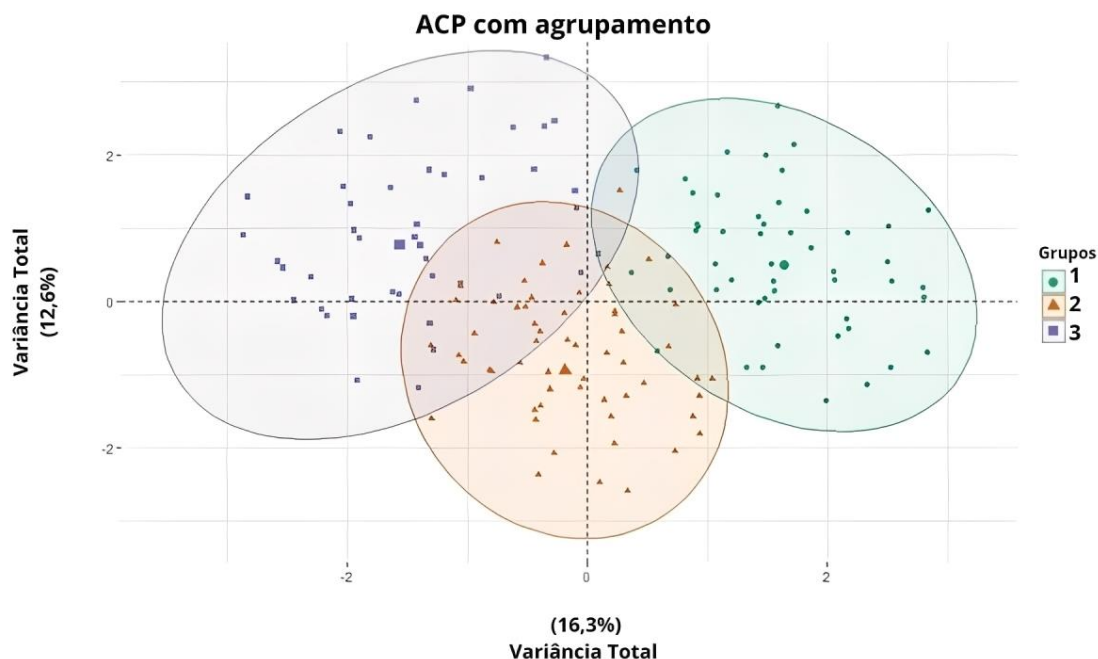
Entretanto, nota-se uma queda na variância entre o primeiro e o segundo componente (de 16,3% para 12,6%) e, a partir deste ponto, as reduções se tornam progressivamente menores. Esse comportamento caracteriza precisamente o “cotovelo” (*elbow*) do gráfico, que indica o ponto onde a adição de novos componentes passa a contribuir pouco para a variância explicada.

O ponto de inflexão ocorre entre o primeiro e o segundo componente principal, sugerindo que estes já concentram a maior parte da estrutura significativa dos dados, e que a inclusão de outros componentes acrescenta informações fragmentadas. Desta forma, os resultados alinham-se à análise visual proposta por Cattell (1966), em que o ponto de inflexão indica o número ótimo de fatores a manter na análise estatística.

Essa abordagem tem sido empregada em estudos de percepção do consumidor e comportamento alimentar. Trabalhos como o de Torri *et al.* (2013) e Mancini *et al.* (2020) utilizaram ACP para compreender fatores determinantes de aceitação sensorial e atitudes em relação a alimentos funcionais, destacando a utilidade dessa técnica para simplificar e interpretar dados.

Baseado nos dois componentes principais definidos pelo gráfico de Scree (Figura 2), os dados foram agrupados, gerando os gráficos apresentados nas Figuras 3 e 4.

Figura 2.3 - Análise de componentes principais com agrupamento



Notas: ACP - análise de componentes principais; Grupos 1, 2, 3 - os três grupos de respondentes observados a partir da estatística.

Fonte: A autora (2025).

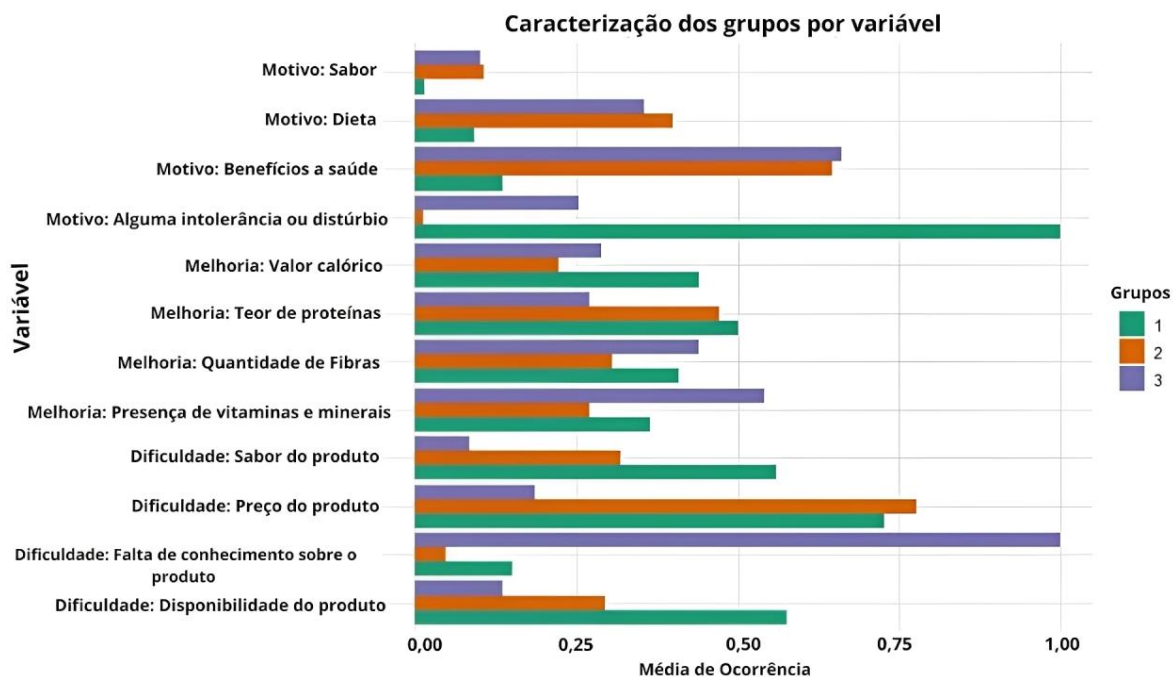
A partir da análise de componentes principais (ACP) com agrupamento (Figura 3), foi possível identificar três grupos distintos de consumidores de alimentos isentos de glúten respondentes do questionário. Sendo eles separados por três cores (verde, laranja e roxo), além das cores, cada grupo apresenta uma forma individual (quadrado, bola ou triângulo), que representa cada respondente do questionário.

Vale ressaltar, que um grupo com o maior número de pontos representa uma proporção maior da população total de respondentes. Desta forma, ao observar a Figura 3, pode-se notar que o Grupo 1 (verde) apresenta o maior número de respondentes, seguido pelo Grupo 2 (laranja) e o Grupo 3 (roxo) sendo o menor. Sugerindo que as características e o perfil do Grupo 1 são as mais comuns entre os participantes do questionário.

O gráfico da ACP evidencia uma separação clara entre os grupos, indicando diferenças comportamentais significativas entre os respondentes do questionário. Contudo, as Figuras 3 e 4 se relacionam, pois os grupos encontrados na análise de

componentes principais por agrupamentos (Figura 3), foram caracterizados na Figura 4.

Figura 2.4 - Caracterização dos grupos obtidos por meio da análise de componentes principais por variável



Fonte: A autora (2025).

O gráfico de barras (Figura 4) complementa essa análise ao caracterizar quais foram as variáveis predominantes para cada grupo. Observa-se que o Grupo 1 (verde) está associado à motivação do consumo de alimentos isentos de glúten por intolerância ou distúrbio, representando consumidores que buscam esses produtos por necessidade clínica. Este grupo também cita a disponibilidade como a dificuldade e o teor de proteínas como um ponto necessário de melhoria.

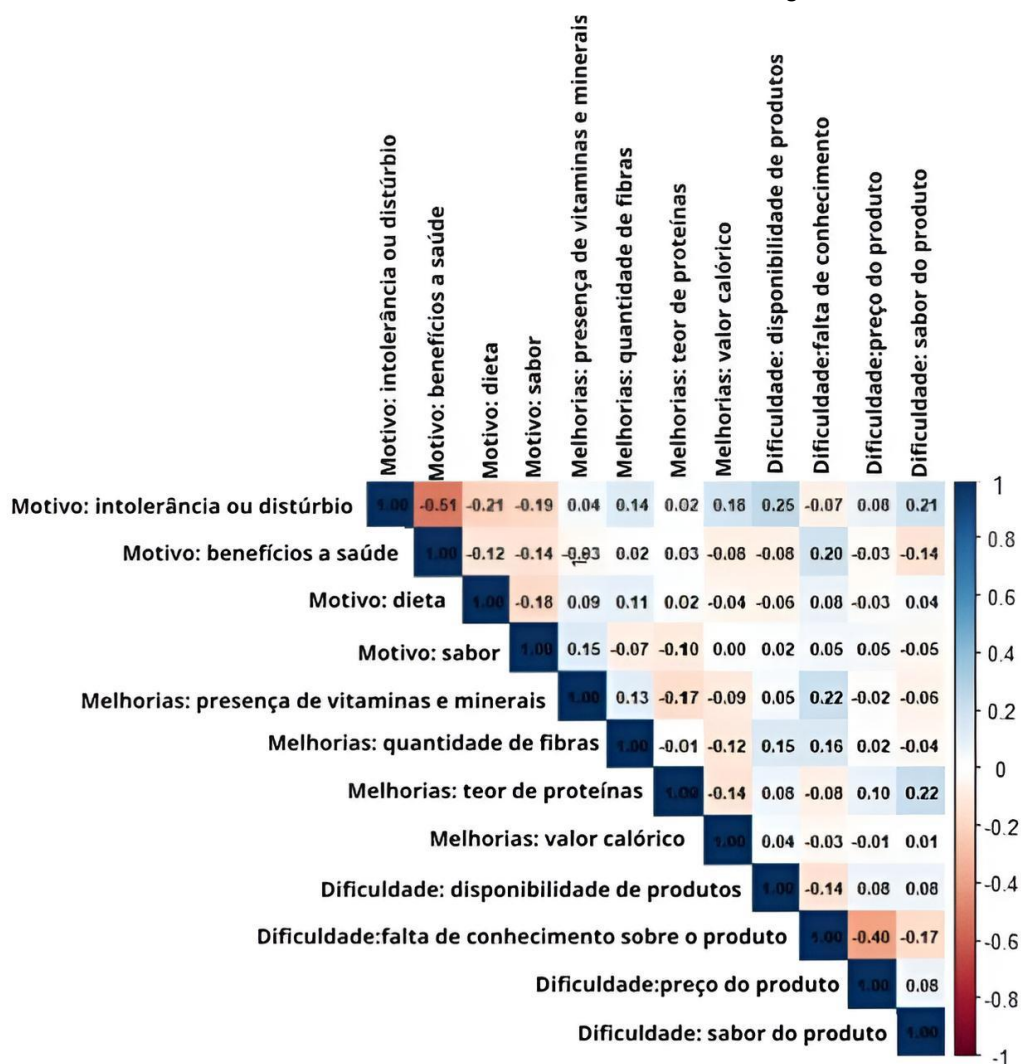
O Grupo 2 (laranja) revela que o consumo de alimentos isentos de glúten tem motivações relacionadas à dieta, sugerindo consumidores com maior interesse em valor nutricional, este mesmo grupo cita o preço dos produtos isentos de glúten como uma dificuldade.

O Grupo 3 (roxo), demonstra que consome alimentos isentos de glúten por interesse aos benefícios à saúde. Este grupo também apresenta a maior média para a variável dificuldade “falta de conhecimento sobre o produto”, indicando consumidores menos informados. Além disso, citam a necessidade de melhorias do conteúdo de vitaminas e minerais nos alimentos isentos de glúten.

Desta forma, a integração dos dois gráficos permitiu compreender que, embora o consumo de produtos isentos de glúten esteja difundido por motivações diversas, há diferenças marcantes entre os grupos que os consomem. Esses resultados reforçam a importância de estratégias diferenciadas para cada perfil de consumidor.

A matriz de correlação na Figura 5, evidencia como os diferentes fatores relacionados ao consumo, melhorias necessárias e dificuldade de alimentos isentos de glúten se relacionam. A interpretação dos coeficientes de correlação segue o proposto por Hair (2009), onde a análise da matriz de correlação permitiu observar a intensidade e o tipo de relação entre as variáveis estudadas. Valores próximos de 1 indicam correlação forte positiva, ou seja, quando uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar. Já valores próximos de -1 representam correlação forte negativa, mostrando que quando uma variável cresce, a outra diminui. Quanto à magnitude dessas relações, coeficientes entre 0,00 e 0,29 foram considerados fracos, entre 0,30 e 0,49 moderados e valores iguais ou superiores a 0,50 indicam correlação forte.

Figura 2.5 - Matriz de correlação entre variáveis relacionadas aos motivos de consumo, sugestões de melhoria e as dificuldades de alimentos isentos de glúten



Fonte: A autora (2025).

De modo geral, pode-se observar que as correlações entre as variáveis foram baixas, indicando que os participantes apresentaram percepções variadas quanto aos motivos que os levam a consumir produtos isentos de glúten e às melhorias ou barreiras percebidas. No entanto, algumas correlações merecem destaque.

O motivo “intolerância ou distúrbio” apresentou forte correlação negativa com o motivo “benefícios à saúde” (-0,51) e com o motivo “Sabor” (-0,19), o que sugere que indivíduos que consomem produtos isentos de glúten por necessidade clínica não associam esse consumo a benefícios à saúde ou o fazem por apreciação sensorial, mas por obrigação dietética.

Entretanto, nota-se que existe uma correlação positiva fraca (0,25) entre o motivo intolerância e a dificuldade disponibilidade, demonstrando que há uma tendência leve, de que pessoas que consomem produtos isentos de glúten por

intolerância ou distúrbio também relatam dificuldade na disponibilidade desses produtos.

Outra correlação fraca (0,20), pode ser percebida entre o motivo “benefícios à saúde” e a dificuldade “falta de conhecimento sobre o produto”. Isso indica que parte dos consumidores que associam o consumo de produtos isentos de glúten à promoção da saúde, apresentam desconhecimento sobre suas características nutricionais e funcionais.

Essa relação sugere que muitos indivíduos buscam esses produtos com base em percepções generalizadas de que seriam mais saudáveis, mesmo sem compreender sua composição. Esse comportamento já foi citado por Steinhauser *et al.* (2020), que apontam que a adesão a alimentos percebidos como saudáveis frequentemente ocorre de forma intuitiva e sem embasamento científico.

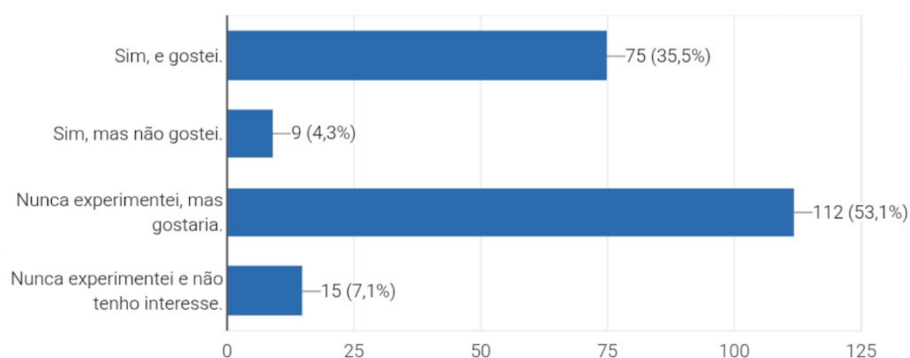
Uma correlação negativa moderada (-0,40) foi observada entre a dificuldade “falta de conhecimento sobre o produto” e “preço do produto”, indicando que os consumidores que relatam maior desconhecimento sobre os produtos isentos de glúten tendem a perceber menos o preço como uma dificuldade.

A ausência de correlações com magnitudes elevadas (próximas a 1) pode ser atribuída à dispersão das respostas. Portanto, para investigações futuras, recomenda-se a redução do número de alternativas utilizadas, visando diminuir a variabilidade dos dados

As respostas obtidas sobre as farinhas de subprodutos estão apresentadas na Figura 6 que revela que a maior parte dos participantes nunca experimentou alimentos inovadores feitos com farinhas de subprodutos agroindustriais, mas gostariam de experimentar (53,1%). Entre aqueles que já provaram, a maioria relatou boa aceitação (35,5%), enquanto que 4,3% não gostaram. Esses resultados sugerem um cenário promissor para o desenvolvimento de produtos com farinhas de subprodutos, visto que existe disposição do público em experimentar esses alimentos.

Outras questões abordadas no decorrer do questionário, foram perguntas em relação às farinhas derivadas de subprodutos e sobre a *D. salina*, visto que a mesma tem sido utilizada em formulações alimentícias para enriquecimento (Hyršlova *et al.*, 2022).

Figura 2.6 - Conhecimento sobre as farinhas de subprodutos
Você já experimentou algum alimento inovador feito com ingredientes sustentáveis, como farinhas de subprodutos agroindustriais ?

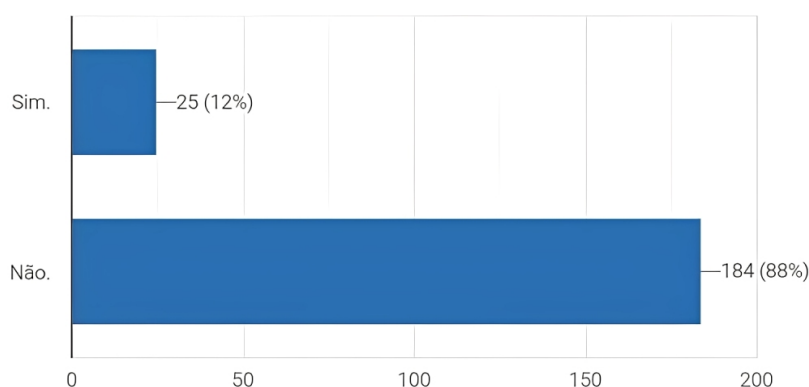


Fonte: A autora (2025).

Diversos estudos confirmam que farinhas de subprodutos podem ser incorporadas a alimentos de forma que garanta a aceitação sensorial. Por exemplo, Toledo *et al.* (2017) observaram que cookies formulados com farinha de coco e resíduo de abacaxi apresentaram excelente aceitação.

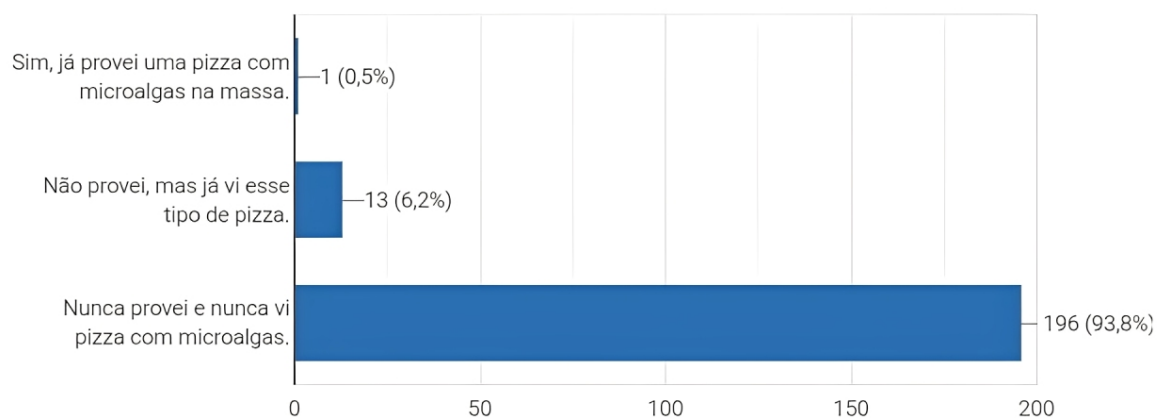
As Figuras 7 e 8 mostram os resultados do conhecimento dos respondentes em relação à *D. salina* e sua aplicação em massas de pizza.

Figura 2.7 - Conhecimento sobre a microalga *Dunaliella salina*
Você conhece a microalga *Dunaliella Salina* ?



Fonte: A autora (2025).

Figura 2.8 - Conhecimento sobre o produto a ser desenvolvido
Você já provou ou já viu alguma pizza com microalgas em sua massa ?



Fonte: A autora (2025).

Observa-se na Figura 7 que 88% dos respondentes não conhecem a *D. salina*, demonstrando que a falta de conhecimento sobre novas fontes alimentares ainda é um problema nos dias atuais.

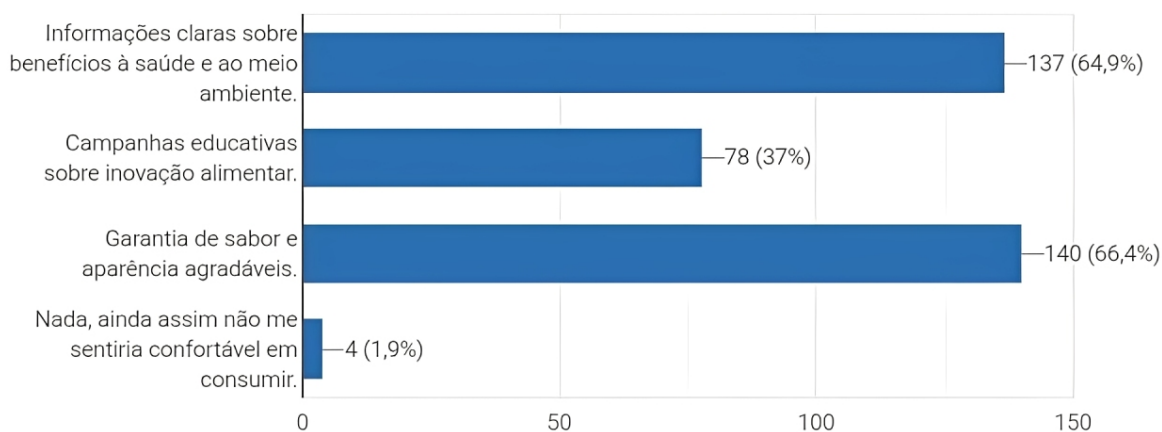
Na Figura 8, tem-se que 93,8% dos respondentes relataram que nunca provaram ou nunca ouviram falar sobre pizzas que continham microalgas em sua massa. Desta forma, as massas de pizzas a serem desenvolvidas neste trabalho podem ser consideradas um alimento inovador, contribuindo para o enriquecimento nutricional das formulações.

Observou-se que o melhoramento nutricional de alimentos isentos de glúten é uma necessidade notada por seus consumidores. Assim, considerando os fatores apontados, como as dificuldades percebidas e as melhorias necessárias em produtos isentos de glúten, as últimas questões do questionário buscaram identificar quais ações seriam necessárias para aumentar a aceitação desses alimentos.

Na Figura 9 estão apresentadas as opiniões dos respondentes a respeito das estratégias que poderiam favorecer a aceitação de alimentos isentos de glúten, especialmente daqueles desenvolvidos a partir de novas fontes alimentares.

Figura 2.9 - Motivos para aumento da aceitação de novos alimentos

Na sua opinião, o que ajudaria a aumentar a aceitação de novos alimentos ?



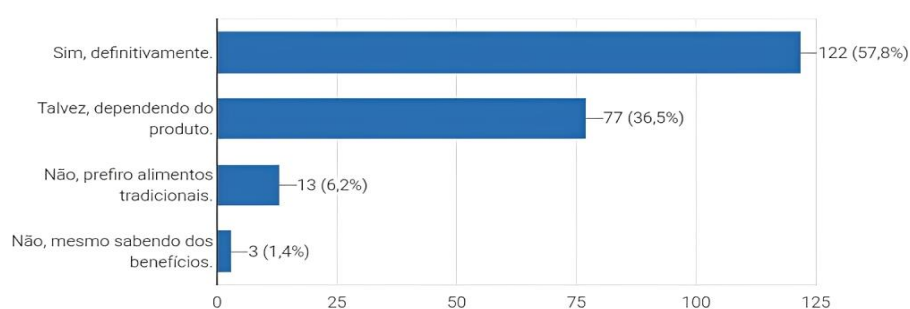
Fonte: A autora (2025).

Observa-se que a garantia de sabor e aparência agradáveis (66,4%) e a disponibilização de informações claras sobre benefícios à saúde e ao meio ambiente (64,9%), foram os aspectos mais citados como fatores motivacionais. Resultado similar ao encontrado por Shahbaz *et al.* (2016), que observaram que consumidores demonstram maior intenção de experimentar alimentos quando percebem segurança e familiaridade sensorial.

Ressalta-se também que os 37% de respondentes afirmaram que campanhas educativas ajudam na aceitação de alimentos inovadores. Esses resultados indicam que a aceitação desses alimentos está interligada com a aprovação sensorial e com o conhecimento do consumidor em relação aos seus benefícios nutricionais e ambientais.

Portanto, os estudos e estratégias de introdução de novas fontes devem focar simultaneamente na comunicação de benefícios e na aceitação sensorial. Pois, aumentar o conhecimento do consumidor com o ingrediente, pode facilitar a aceitação de novas formulações (Scheibenzuber *et al.*, 2025).

Figura 2.10 - Disposição dos respondentes em aceitar novos alimentos
Estudos demonstram maior aceitação em novos produtos alimentícios quando seus benefícios à saúde e ao meio ambiente são expostos a seus consumidores. Sabendo disto, você estaria disposto a tentar novos alimentos se soubesse que eles são benéficos para a sua saúde e para o meio ambiente ?



Fonte: A autora (2025).

A distribuição das respostas apresentadas na Figura 10 mostra que a maior parte dos participantes (57,8%) demonstraram estar dispostos a experimentar novos alimentos, caso soubesse que oferecem benefícios à saúde ou ao meio ambiente.

Outros 36,5% estariam dispostos, mas dependendo do tipo do produto. Estudos publicados demonstram que a comunicação clara sobre vantagens nutricionais aumenta a intenção de consumo de alimentos (Siegrist; Hartmann, 2019).

Lawley *et al.* (2019) relataram que consumidores têm maior probabilidade de aceitar alimentos inovadores quando seus benefícios à saúde são explicitamente apresentados. De forma semelhante, Siegrist e Hartmann (2019) destacam que atributos percebidos como “mais naturais”, “funcionais” ou “melhoradores da saúde” elevam a aceitação de novos alimentos.

Além disso, a quantidade de respostas positivas também se alinha a estudos que mostram que a sustentabilidade é um motivador crescente no comportamento alimentar. Clark *et al.* (2019) evidenciaram que consumidores tendem a apoiar e consumir alimentos produzidos com menor impacto ambiental, especialmente quando há redução mensurável de emissões de CO₂ ou quando subprodutos agroindustriais são aproveitados.

De maneira similar, Aschemann-Witzel *et al.* (2020) mostraram que a valorização de produtos oriundos de economia circular cresce quando o público entende que o uso de subprodutos contribui para reduzir desperdícios e impactos ambientais.

Os resultados refletem a necessidade de informação e divulgação sobre benefícios ambientais e nutricionais, visto que estes aumentam a aceitação de novas fontes alimentícias.

2.5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitiram identificar que a população investigada compartilha de percepções diversas sobre o consumo de alimentos isentos de glúten. A baixa prevalência observada de enfermidades relacionadas ao glúten aponta que, para muitos consumidores, esse tipo de produto é escolhido por motivos associados à dieta, à saúde preventiva ou à busca por alternativas percebidas como mais saudáveis.

A aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP) possibilitou identificar três grupos principais de consumidores, diferenciados por motivações e necessidades distintas. O primeiro grupo demonstrou consumo por necessidade clínica, o segundo, por motivos dietéticos e o terceiro, por benefícios percebidos à saúde, mas este grupo relatou não possuir conhecimento sobre esses alimentos.

Os resultados revelaram desafios importantes, incluindo preço elevado, falta de informação e limitações nutricionais. Por outro lado, foi observado que fatores como sabor, aparência e comunicação clara dos benefícios apresentam papel determinante para aumentar a aceitação de novos alimentos.

A percepção sobre farinhas de subprodutos e sobre a *D. salina* demonstrou que existe um desconhecimento sobre ambos, 53,1% dos participantes nunca haviam experimentado farinhas de subprodutos. Já a *D. salina* foi desconhecida por 88% dos respondentes, e 93,8% nunca haviam consumido pizza com microalgas em sua massa.

Contudo, 53,8% dos respondentes demonstraram boa disposição em experimentar alimentos inovadores quando suas propriedades nutricionais e impactos ambientais são divulgados. Assim, a aceitação desses ingredientes não depende apenas de suas características funcionais, mas também da educação do consumidor e de estratégias eficazes de divulgação.

Dessa forma, conclui-se que o desenvolvimento de alimentos isentos de glúten enriquecidos com fontes alternativas, como farinhas de subprodutos agroindustriais e *D. salina* pode ser uma proposta viável que apresenta potencial de aceitação.

REFERÊNCIAS

- ASCHEMANN-WITZEL, J. *et al.* Consumer-related food waste: Causes and potential for action. **Food Quality and Preference**, v. 79, p. 103-110, 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 648, de 2 de outubro de 2024. Define a Lista Nacional de Notificação Compulsória de Doenças, Agravos e Eventos de Saúde Pública nos serviços de saúde públicos e privados em todo o território nacional. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 1-13, 3 out. 2024
- CATTELL, R. B. The Scree Test for the Number of Factors. **Multivariate Behavioral Research**, v. 1, n. 2, p. 245-276, 1966.
- CLARK, M. A. *et al.* Global food system emissions could preclude achieving the 1.5 and 2 C climate change targets. **Science**, v. 370, n. 6517, p. 705-708, 2020.
- COZZOLINO, D.; POWER, A.; CHAPMAN, J. Interpreting and reporting principal component analysis in food science analysis and beyond. **Food Analytical Methods**, v. 12, n. 11, p. 2469-2473, 2019.
- DA SILVA, A. R. **Métodos de Análise Multivariada em R**. Digitaliza Conteúdo, 2023.
- FERREIRA, D. Q. C.; CASTRO, F. N.; LOPES, F. de A. Influência da formação acadêmica em Nutrição na expressão da neofobia alimentar. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, p. 339-346, 2017.
- HYRSLOVA, I. *et al.* Functional properties of *Dunaliella salina* and its positive effect on probiotics. **Marine Drugs**, v. 20, n. 12, p. 781, 2022.
- JOLLIFFE, I. T. **Principal Component Analysis**. 2. ed. New York: Springer, 2002.
- LAWLEY, M. *et al.* The role of seafood sustainability knowledge in seafood purchase decisions. **British Food Journal**, v. 121, n. 10, p. 2337-2350, 2019.
- MANCINI, P. *et al.* Consumers' attitude towards gluten-free food: Determinants and trends. **Foods**, v. 9, n. 7, p. 940, 2020.
- NÆS, T. *et al.* Principal components analysis of descriptive sensory data: Reflections, challenges, and suggestions. **Journal of Sensory Studies**, v. 36, n. 5, p. e12692, 2021.
- NAQASH, F. *et al.* Gluten-free baking: Combating the challenges-A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 66, p. 98-107, 2017.
- 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.

PLANTINGA, G. The perception of consumers about algae as alternative protein source: a systematic literature review. **Bachelor's Thesis**, p. 36, 2020.

SHAHBAZ, H. M. *et al.* Worldwide Status of Fresh Fruits Irradiation and Concerns about Quality, Safety, and Consumer Acceptance. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 11, p. 1790-1807, 2016.

SINGH, P. *et al.* Global prevalence of celiac disease: systematic review and meta-analysis. **Clinical Gastroenterology and Hepatology**, v. 16, n. 6, p. 823-836. e2, 2018.

SCHEIBENZUBER, S. *et al.* Consumers acceptance of new food ingredients from the food industry's by-products - A focus group study. **Frontiers in Nutrition**, v. 12, p. 1509833, 2025.

SIEGRIST, M.; HARTMANN, C. Consumer acceptance of novel food technologies. **Nature Food**, v. 1, n. 6, p. 343-350, 2020.

SILVA, F. M. *et al.* An Influence of academic training in nutrition on the incidence of neophobic feeding behavior. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. e368111537466-e368111537466, 2022.

STEINHAUSER, V.; KREIS, H.; JUNG, S. Consumer motivations and willingness to pay for healthy food attributes. **Food Quality and Preference**, v. 83, p. 103932, 2020.

TIAINEN, M. *et al.* Prevalence and characteristics of adults avoiding gluten without celiac disease: a long-term population-based follow-up study. **BMC Gastroenterology**, v. 25, n. 1, p. 199, 2025.

TOLEDO, N. M. V. *et al.* Influence of pineapple, apple and melon by-products on cookies: Physicochemical and sensory aspects. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 5, p. 1185-1192, 2017.

TORRI, L. *et al.* Acceptance of gluten-free bread: A study on sensory profile and consumer preference. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 481–490, 2013.

VIEIRA, M. V. *et al.* Microalgae as a potential functional ingredient: Evaluation of the phytochemical profile, antioxidant activity and in-vitro enzymatic inhibitory effect of different species. **Molecules**, v. 26, n. 24, p. 7593, 2021.

VILLARÓ, S.; VIÑAS, I.; LAFARGA, T. Consumer acceptance and attitudes toward microalgae and microalgal-derived products as food. In: **Cultured Microalgae for the Food Industry**. p. 367-385, 2021.

WILLETT, W. *et al.* Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. **The Lancet**, v. 393, n. 10170, p. 447-492, 2019.

CAPÍTULO 3 - FARINHAS DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS: UMA PROPOSTA SUSTENTÁVEL PARA PRODUTOS ISENTOS DE GLÚTEN

RESUMO

A geração massiva de subprodutos agroindustriais e a crescente demanda por produtos isentos de glúten representam um desafio ambiental e uma oportunidade de mercado. Este estudo teve como objetivo produzir e caracterizar farinhas de subprodutos agroindustriais de arroz (FA), mandioca (FM) e palmito pupunha (FP), visando sua aplicação em alimentos isentos de glúten. Os subprodutos foram processados em forma de farinhas e foram analisadas quanto à composição físico-química, propriedades tecnológicas e compostos bioativos. Foi realizada a caracterização do amido (amilose, amilopectina, morfologia por MEV e propriedades de pasta por RVA). Os resultados indicaram perfis distintos e complementares. As farinhas do subproduto de palmito (FP) e mandioca (FM) destacaram-se pelo alto teor de fibras ($49,97\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ e $47,11\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$, respectivamente). A farinha do subproduto de arroz (FA) apresentou maior teor proteico ($7,65\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$). A FP foi superior em compostos fenólicos ($117,57\text{ mgEAG}\cdot 100\text{g}^{-1}$), enquanto a FA apresentou a maior atividade antioxidante ($1,38\text{ mgET}\cdot \text{g}^{-1}$). Tecnicamente, a FP demonstrou maior índice de absorção de água (7,94). Foi possível observar pelo MEV o perfil das farinhas, de acordo com a composição proximal. A análise viscoamilográfica (RVA) mostrou que a FM possui $40,67\text{ g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de amido, exibindo alta viscosidade de pico e baixa retrogradação, sendo ideal para estabilidade e maciez de panificados. Concluiu-se que os subprodutos estudados podem ser considerados como ingredientes viáveis e com potencial para enriquecer nutricionalmente alimentos isentos de glúten, ao mesmo tempo que promovem a economia circular.

Palavras-chaves: Fibras alimentares, amido, antioxidantes, economia circular.

3.1 INTRODUÇÃO

A segurança alimentar e nutricional tem como agravante o crescimento populacional, pois estima-se que até 2050 se atinja 9,7 bilhões de pessoas no planeta (UNITED NATIONS, 2019). Em contrapartida, as práticas agroindustriais e padrões de consumo têm gerado grandes quantidades de resíduos e subprodutos (FAO, 2018).

Dessa forma, pode-se mitigar a insegurança alimentar e nutricional com o aproveitamento destes subprodutos agroindustriais, que são, em sua maioria, fontes ricas de nutrientes essenciais, incluindo proteínas, lipídios, amido, micronutrientes como minerais e vitaminas, compostos bioativos e fibras dietéticas (Torres-León *et al.*, 2018).

A gestão desses subprodutos transcende a oportunidade nutricional, sendo também uma obrigação legal e ambiental. O descarte inadequado é coibido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei nº 12.305/2010), que responsabiliza as indústrias. O não cumprimento da legislação acarreta sanções, que vão de multas severas à interdição da atividade. Ademais, a disposição incorreta desses materiais contribui para a emissão de gases de efeito estufa, agravando as mudanças climáticas (Bala *et al.*, 2023), e representa a subutilização de recursos valiosos.

Nesse contexto, a economia circular (EC) ganha força, pois defende práticas de produção que previnem a geração de resíduos, ao mesmo tempo que promove sua reutilização e valorização. Assim, contribui para se atingir vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Sarker *et al.*, 2024).

O mercado de produtos alimentícios isentos de glúten tem mostrado crescimento contínuo, impulsionado por indivíduos com sensibilidade ao glúten e doença celíaca, mas também pelo público que busca dietas percebidas como mais saudáveis (De Melo *et al.*, 2024). Desta forma, a valorização de subprodutos para a produção de farinhas emerge como uma solução promissora para abordar tanto a sustentabilidade quanto a melhoria do perfil nutricional desses alimentos (Barbosa *et al.*, 2011).

Entre os subprodutos, os de arroz, de mandioca e do palmito pupunha se destacam pela composição que apresentam. Em relação ao arroz, o Brasil é o principal consumidor e produtor fora da Ásia (Wander; Silva; Ferreira, 2021). Um de seus subprodutos, a quirera ou arroz quebrado, é gerada no beneficiamento do arroz,

correspondendo de 10 a 15% da matéria-prima processada (Miller *et al.*, 2020). Sua composição é comparável à do grão inteiro, apresentando grande potencial para o combate à fome, por seu valor nutricional e proteico (Cargin *et al.*, 2022; Souza, 2019).

Sobre a mandioca, o Brasil é o segundo maior produtor (Felipe, 2022). Além do consumo *in natura*, é utilizada como matéria-prima para diversos produtos industrializados, sendo os principais: farinhas, amidos e a farinha de tapioca (Ronko; Travalini; Demiate, 2020). No processamento são gerados diferentes tipos de resíduos e subprodutos (Alves *et al.*, 2019; Ronko; Travalini; Demiate, 2020). O bagaço de mandioca proveniente da extração do amido, contém quantidade significativa de amido e fibras e é considerado o principal resíduo sólido gerado no processamento da raiz (Picoli *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2024). Embora a composição de amido e fibras deste subproduto possa variar, dependendo do método de processamento industrial aplicado, a farinha produzida do bagaço de mandioca é notavelmente rica em fibras alimentares com 63,95 g.100g⁻¹ (Fiorda *et al.*, 2013).

O Brasil produz de palmito, um valor aproximado de US\$350 milhões por ano, com potencial de crescimento, se destacando como grande produtor e exportador de palmito em conservas, sendo responsável por 95% do produto em termos mundiais (EMBRAPA, 2019). Entretanto, a agroindústria do palmito pupunha produz um volume considerável de resíduos e subprodutos, principalmente porções caulinares não adequadas para o processamento tradicional. Estima-se que cerca de 84% da palmeira colhida seja descartada, representando um desperdício significativo. No entanto, pesquisas demonstram o potencial para a produção de farinhas ricas em fibras, vitaminas e minerais, abrindo novas possibilidades para sua utilização na indústria alimentícia (Danesi *et al.*, 2018; Santos; Danesi; Bolanho, 2021).

Desta forma, o desenvolvimento de farinhas de subprodutos emerge, como uma estratégia viável para aplicação em diversos alimentos, inclusive, naqueles isentos de glúten. Estas iniciativas contribuem para a segurança alimentar e nutricional, com a sustentabilidade e promoção da economia circular.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo Geral

Obter e caracterizar as farinhas de subprodutos agroindustriais de arroz, mandioca e palmito pupunha.

3.2.2 Objetivos Específicos

- Transformar os subprodutos em farinhas.
- Determinar a composição e as propriedades tecnológicas das farinhas.
- Avaliar o teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante.
- Analisar o amido presente nos subprodutos e avaliar seu comportamento.

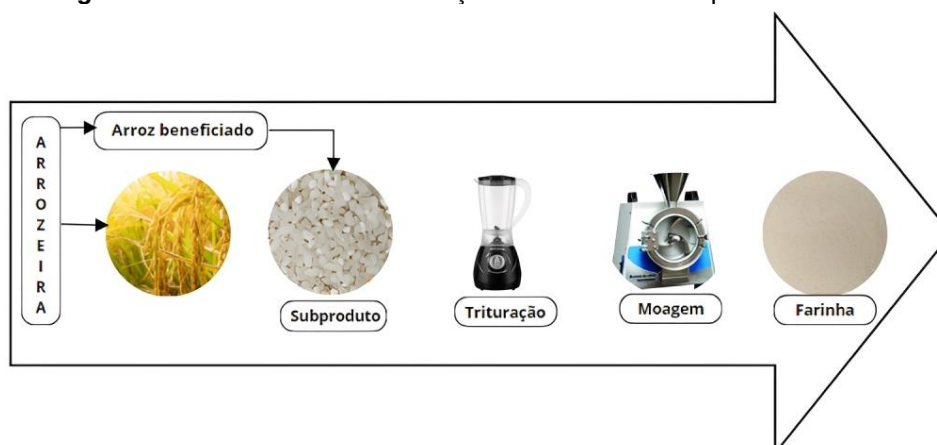
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Estadual de Ponta Grossa, nos laboratórios do Centro de Tecnologia Agroindustrial do Departamento de Engenharia de Alimentos e Complexo de Laboratórios Multiusuários (C-Labmu).

3.3.1 Obtenção das Farinhas

A farinha de arroz foi produzida a partir do arroz quebrado (quirera), adquirida em comércio local. A primeira etapa consistiu na trituração do arroz, utilizando liquidificador da marca Mundial, operado na velocidade 1, com o objetivo de reduzir o tamanho das partículas e facilitar o processo de moagem subsequente (Figura 1). A moagem final foi realizada utilizando um moedor STAR-FT51®.

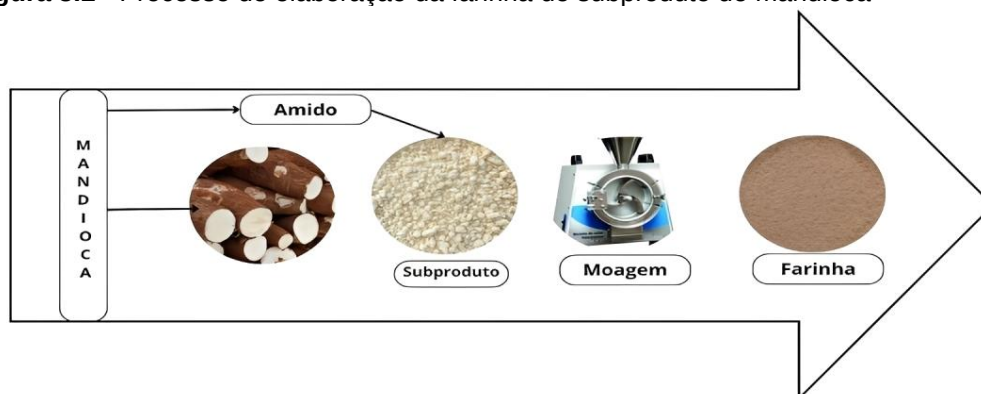
Figura 3.1 - Processo de elaboração da farinha de subproduto de arroz



Fonte: A autora (2025).

O subproduto de mandioca foi doado pela *Amifec* de Maria Helena/PR. Este material proveniente da extração do amido, foi recebido seco, sendo submetido a moagem em moedor STAR-FT51[®], conforme Figura 2.

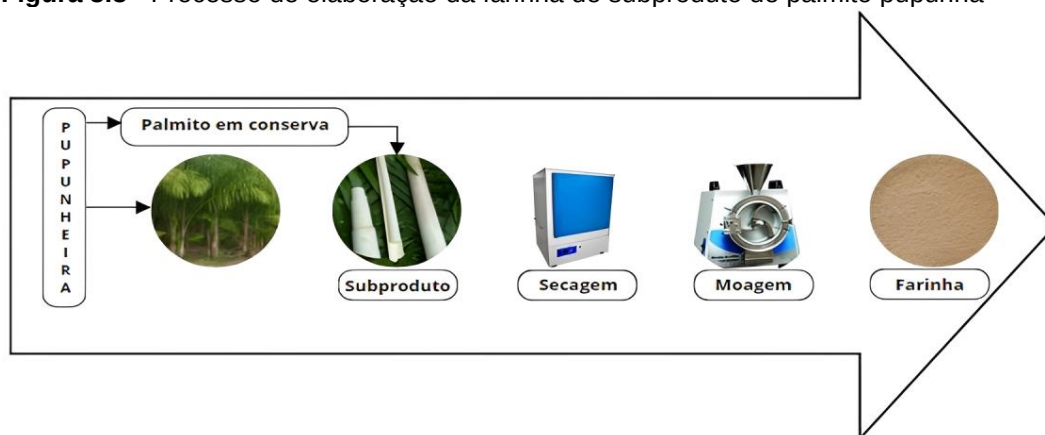
Figura 3.2 - Processo de elaboração da farinha de subproduto de mandioca



Fonte: A autora (2025).

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 em imersão com 5 mL de solução clorada (hipoclorito de sódio 2%) para 1 litro de água por 15 min, seguida de enxague em água corrente. Após, 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). O processo está ilustrado na Figura 3.

Figura 3.3 - Processo de elaboração da farinha de subproduto de palmito pupunha



Fonte: A autora (2025).

3.3.2 Características Físico-Químicas das Farinhas dos Subprodutos

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). Para o cálculo do teor de proteínas se usou 6,25 como fator de conversão (método nº 920,87). Os carboidratos foram calculados por diferença dos outros componentes, conforme Equação 1.

$$\text{Carboidratos} = [100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{proteínas} + \text{lipídios} + \text{fibras})] \quad (1)$$

As fibras alimentares foram determinadas utilizando o método enzimático-gravimétrico conforme descrito pela AOAC (nº 985.29), com o uso do kit enzimático *Sigma-Aldrich*® (St. Louis, MO, EUA). Aproximadamente 1 g da amostra foi submetida à digestão enzimática sequencial, sendo realizada em quadruplicata, pois é necessário para ao final que as cinzas e proteínas sejam calculadas em médias. Em um béquer contendo 40 mL de tampão fosfato (pH 6,0), adicionou-se 50 µL de α-amilase e a mistura foi incubada em banho-maria a 100°C por 30 min.

Após o resfriamento em temperatura ambiente até 60°C, adicionou-se 100 µL de protease, com incubação por mais 30 min em banho-maria com agitação a 60°C, seguida da adição de amiloglucosidase e nova incubação nas mesmas condições. Ao término da digestão, adicionaram-se quatro volumes de etanol 95% aquecido a 60°C, promovendo a precipitação dos resíduos de fibras, que foram mantidos em repouso por 12 h.

O material precipitado foi filtrado em cadinho previamente calcinado e pesado, sendo o resíduo lavado com etanol 78% e etanol 95%, e posteriormente seco em estufa a 105°C por pelo menos 12 h. Após resfriamento em dessecador, os cadinhos foram novamente pesados para determinação do resíduo final.

O teor de fibras alimentares foi calculado pela diferença de massa do resíduo, com correção para o conteúdo de proteínas (determinado por método de Kjeldahl) e cinzas (obtidas após incineração a 550°C por 5 h em mufla).

A determinação de açúcares redutores totais (AR) foi realizada pelo método de Somogy-Nelson (SN), onde a amostra foi diluída e hidrolisada previamente. Então 1 mL da amostra, junto com 2 mL de reagente SN-I foram ao banho em ebulição por 6 min e após resfriamento foi adicionado mais 2 mL de SN-II e completado para 25 mL com água destilada, após repouso de 5 min, o material foi lido em espectrofotômetro em 540 nm (Nelson, 1960).

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

3.3.3 Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante

Para determinação dos compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante foram obtidos extratos a partir de 1 g de amostra com 30 mL de etanol 80%. Essa mistura foi submetida à agitação em banho ultrassom USC 1400 à temperatura ambiente durante 3 h. A seguir foram centrifugadas a 1000 rpm por 20 min. O sobrenadante foi recolhido em um tubo e ao material foi adicionado 5 mL de etanol 80% e centrifugado novamente por 20 min, o sobrenadante foi adicionado ao anterior (Bolanho; Danesi; Beleia, 2014).

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 (Equação 2) (Singleton; Orthofer; Lamuela-Raventos, 1999).

$$y = 0,0103x - 0,0315 \quad (2)$$

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. 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 80% (Brand-Willians; Cuvelier; Berset, 1995). Os resultados foram expressos em mg ET. g⁻¹, a partir da curva analítica de Trolox (Equação 3).

$$y = -0,0101x + 0,5066 \quad (3)$$

3.3.4 Características Tecnológicas das Farinhas

3.3.4.1 Granulometria

Para a granulometria, 100 g de cada amostras foi disposta em 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. Com base nos pesos obtidos para o material remanescente em cada peneira, foram calculados os percentuais retidos e passantes acumulados, de acordo com as Equações 4, 5 e 6 descritas abaixo (Gomide, 1983).

Na Equação 4, foi calculado a porcentagem de material que ficou retido em cada peneira individualmente. O percentual retido acumulado (Equação 5) foi a soma progressiva dos percentuais retidos nas peneiras, começando pela peneira de maior abertura (menor número de mesh). O percentual passante (Equação 6) é o valor final que define a granulometria.

$$\% \text{ RetidoAcumulado} = \frac{\text{Peso do material retido na peneira (g)}}{\text{Peso total da amostra (g)}} \quad (4)$$

$$\% \text{ Retido Acumulado} = \Sigma \% \text{ Retido em cada peneira} \quad (5)$$

$$\% \text{ Passante} = 100 - \% \text{ Retido acumulado} \quad (6)$$

3.3.4.2 Atividade de água, índice de absorção em água, óleo e solubilidade em água das farinhas

A atividade de água (a_w) foi determinada a partir de 1 g da amostra acomodada no porta amostra do equipamento AquaLab, o qual foi previamente calibrado com amostra de carvão padrão fornecida pelo fabricante à temperatura de 25°C.

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).

O índice de absorção em água (IAA) foi obtido preparando uma suspensão de 2,5 g de amostra e 30 mL de água, a qual foi agitada por 5 min no vórtex TECNAL-162®, sendo necessária a centrifugação (CELM-COMBATE®) por 20 min e 1000 rpm, separou-se o sobrenadante e o material remanescente foi pesado.

O líquido sobrenadante foi utilizado para a determinação do índice de solubilidade em água (ISA) das amostras, evaporando a água em uma placa de Petri, previamente tarada, em estufa a 105°C (TECNAL-TE® 394/1) até massa constante.

Para a determinação do índice de absorção de óleo (IAO) utilizou-se metodologia adaptada do IAA, e substituiu-se a água por óleo de soja. Os índices foram calculados conforme descrito nas equações 7, 8 e 9 a seguir.

$$IAA (g/g) = \frac{\text{água absorvida pela amostra (g)}}{\text{peso da amostra (g)}} \quad (7)$$

$$IAO (g/g) = \frac{\text{óleo absorvido pela amostra (g)}}{\text{peso da amostra (g)}} \quad (8)$$

$$ISA \% = \frac{\text{resíduo de evaporação (g)}}{\text{peso da amostra (g)}} \times 100 \quad (9)$$

3.3.4.3 Análise colorimétrica

A avaliação da coloração das farinhas foi realizada com colorímetro digital (Miniscan EZ, Hunterlab®, EUA), previamente calibrado. As amostras foram colocadas em superfícies planas e espalhadas de forma homogênea, de maneira que não

apareça o fundo da placa. As leituras foram feitas dentro da capela, para evitar interferência da luz externa do meio.

Foram avaliados parâmetros: L^* - luminosidade ($L^* = 0$ - preto e $L^* = 100$ - branco), a^* e b^* coordenadas cromáticas ($+a^*$ vermelho e $-a^*$ verde; $+b^*$ amarelo e $-b^*$ azul). A cromaticidade (croma C) e ângulo de tonalidade ($^{\circ}H$), foram calculados de acordo com as Equações 10 e 11, respectivamente (Bible; Singha, 1997).

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (10)$$

$$^{\circ}H = \tan^{-1} \frac{b}{a} \quad (11)$$

3.3.4.4 Teor de amido

Para a análise do teor de amido presente nas farinhas, foram pesados 100 mg de cada amostra desengordurada, aos quais se adicionaram 5 mL de etanol 80%, com homogeneização em vórtex e aquecimento em banho-maria por 5 min. Em seguida, a amostra foi submetida a centrifugação (2000 rpm), o sobrenadante foi descartado e adicionaram-se 2 mL de DMSO, com agitação em vórtex e nova fervura por 5 min.

Após esse processo, foram adicionados 3 mL de α -amilase termoestável seguida por incubação em banho-maria por 6 min. Após o resfriamento, foram adicionados 4 mL de tampão acetato de sódio e cloreto de cálcio, seguidos da enzima amiloglucosidase, com nova incubação a 50°C por 60 min. O volume foi ajustado para 100 mL com tampão acetato, transferido para tubos de centrifuga e centrifugados a 13.000 rpm por 5 min.

Para quantificação da glicose, o sobrenadante foi usado 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 leitura foi realizada em espectrofotômetro (UVmini-1240, SHIMADZU®) a 510 nm. O branco foi preparado seguindo o mesmo procedimento, mas sem a amostra (AACC, 2000).

3.3.4.5 Extração do amido para determinação de amilose e amilopectina

A extração do amido das farinhas foi pelo método de Wang *et al.* (2020), a partir de maceração alcalina. As farinhas foram homogeneizadas com água deionizada na proporção 1:1 (p/v) com uso de liquidificador (MONDIAL®, modelo L-99-FB). Posteriormente a suspensão foi passada em peneiras de 150 e 270 mesh. O líquido residual do peneiramento foi submetido a imersão em NaOH 0,1% por 12 h. O amido precipitado foi centrifugado (HIMAC, modelo CR-21 GII) 1000 rpm por 5 min, sendo que a camada superior escura formada foi removida (Maior *et al.*, 2024).

A neutralização foi realizada com HCl 1,0 M e centrifugada sob as condições acima. O amido ainda úmido foi seco em estufa de ar forçado a 40 °C por 24 h, seguido de peneiração através de 150 mesh.

3.3.4.6 Teor de amilose e amilopectina

O conteúdo de amilose foi obtido com base na afinidade do iodo (IA), determinada usando um autotitulador potenciométrico, pelo método aplicado por Demiate *et al.* (2016).

As amostras foram previamente desengorduradas pelo método de Soxhlet. Foram misturadas 100 mg da amostra com 1 mL de água deionizada e 5 mL de KOH (1 N). A mistura foi agitada por 30 min à temperatura ambiente até ocorrer a gelatinização do amido.

O indicador de pH utilizado foi o laranja de metila e HCl (0,5 N) foi adicionado como solução neutralizante. Em seguida, 10 mL de KI (0,5 N) e água deionizada foi inserida até atingir a massa de 100 g, para correção do iodo. A titulação foi realizada utilizando um equipamento de auto-titulação (Titrino Plus, Metrohm®, Suíça) com eletrodo, bureta e software de titulação.

Para o cálculo do conteúdo de amilose, o valor de afinidade ao iodo do amido (IAs) é obtido por meio do autotitulador e representa a quantidade de iodo em gramas que a sua amostra de amido consegue ligar, dividido pelo IA da amilose (20%) de acordo com a Equação 12.

$$\% \text{ Amilose} = \frac{IAs}{0,2} \times 100 \quad (12)$$

O teor de amilopectina foi determinado pela Equação 13.

$$\textit{Amilopectina} = 100 - \textit{amilose} \quad (13)$$

3.3.4.7 Propriedades de pasta das farinhas (RVA)

A medida de viscosidade aparente foi realizada nas farinhas com registros de dados de temperatura (°C), rotação (160 rpm) no Analisador Rápido de Viscosidade RVA-4 (Newport Scientific®). As amostras foram suspensas em água deionizada.

Cada análise durou 23 min, partindo de 50°C, com manutenção desta temperatura por 1 min para estabilizar, sendo elevada até 95°C, retornando para 50°C. As amostras foram preparadas com 10% de matéria seca, determinada a umidade em balança de infravermelho (Marte ID200) e distribuídas no tubo do equipamento que suporta 28 g (Zortéa *et al.*, 2011).

3.3.4.8 Microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo (MEV) dos amidos e da mistura das farinhas

A avaliação morfológica (Microscopia Eletrônica MEV) das farinhas foi realizada em microscópio eletrônico de emissão de campo FEG-SEM (Mira 3, TESCAN®, Kohout Vice, 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).

3.3.5 Análise Estatística

As análises foram realizadas em triplicata e os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e, quando significativa ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com 95% de confiança.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Composição Físico-Química das Farinhas dos Subprodutos

As farinhas elaboradas a partir dos subprodutos podem ser observadas na Figura 5.



Fonte: A autora (2025)

Na Tabela 1 estão expostos os resultados para a composição das farinhas de subprodutos.

Tabela 3.1 - Determinações físico-químicas das farinhas elaboradas (média $\pm$ desvio padrão)

Determinações (g.100g ⁻¹)	Farinha de subproduto de palmito pupunha (FP)	Farinha de subproduto de mandioca (FM)	Farinha do subproduto de arroz (FA)
Umidade	4,66 ^b $\pm$ 0,14	5,48 ^b $\pm$ 0,42	11,00 ^a $\pm$ 0,63
Cinzas	3,97 ^b $\pm$ 0,09	1,20 ^c $\pm$ 0,09	4,18 ^a $\pm$ 0,50
Proteínas	4,87 ^b $\pm$ 0,26	1,90 ^c $\pm$ 0,03	7,65 ^a $\pm$ 0,04
Lipídios	1,35 ^a $\pm$ 0,02	0,32 ^c $\pm$ 0,14	0,96 ^b $\pm$ 0,05
Fibras alimentares	49,97 ^a $\pm$ 0,31	47,11 ^a $\pm$ 0,67	2,62 ^b $\pm$ 0,25
Carboidratos Totais	35,18 ^c	44,10 ^b	73,59 ^a
Açúcares	20,18 ^a $\pm$ 0,17	0,23 ^b $\pm$ 0,01	0,21 ^b $\pm$ 0,09
pH	4,98 ^c $\pm$ 0,03	5,42 ^b $\pm$ 0,01	5,86 ^a $\pm$ 0,03
Acidez*	1,91 ^a $\pm$ 0,15	1,66 ^b $\pm$ 0,08	1,39 ^c $\pm$ 0,03

Notas: * - mL de NaOH.100g⁻¹; Médias $\pm$ desvio padrão seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: A autora (2025).

De acordo com a legislação brasileira, pela RDC nº 711, de 1º de julho de 2022 (ANVISA), a umidade de farinhas e farelos deve ser de no máximo 15%. As três farinhas estão dentro do estabelecido pela legislação, a farinha de subproduto de arroz apresentou o valor mais alto ($11,00 \text{ g.100g}^{-1}$) e o palmito a mais baixa ($4,66 \text{ g.100g}^{-1}$). A farinha de subproduto de mandioca apresentou $5,48 \text{ g.100g}^{-1}$ de umidade, valores abaixo dos encontrados na literatura, que ficaram entre 12,40 (Ronko; Travalini; Demiate, 2020) e $9,20 \text{ g.100g}^{-1}$ (Fiorda *et al.*, 2013), sendo um fator crucial para a estabilidade no armazenamento.

Com relação às cinzas, as três farinhas apresentaram diferenças significativas, sendo as farinhas de subproduto de arroz e de palmito pupunha as que apresentaram maior concentração mineral, com $4,18 \text{ g.100g}^{-1}$ e $3,97 \text{ g.100g}^{-1}$, respectivamente, a farinha de subproduto de mandioca registrou $1,20 \text{ g.100g}^{-1}$. A importância nutricional desses resultados fica evidente quando comparados aos da farinha de trigo refinada utilizada em panificados. Os valores encontrados para as três farinhas de subprodutos são superiores aos resultados relatados por Lanzarini (2020) para a farinha de trigo de 0,40 a $0,78 \text{ g.100g}^{-1}$ de cinzas. Assim, a substituição parcial ou total da farinha de trigo por esses subprodutos tem o potencial de enriquecer nutricionalmente os alimentos, fornecendo um aporte mineral maior.

Quanto ao teor de proteínas, os valores encontrados mostraram-se coerentes com suas respectivas matérias-primas. Estudos similares reportam teores para a farinha de subproduto do palmito entre 4,4 e $6,3 \text{ g.100g}^{-1}$ (Helm *et al.*, 2021), e para a farinha de subproduto de mandioca entre 1,42 e $1,82 \text{ g.100g}^{-1}$ (Ronko; Travalini; Demiate, 2020).

A farinha de subproduto de arroz, embora apresente um teor proteico mais baixo, quando comparada a farinha de trigo, entre 10 e 15 g.100g^{-1} , é reconhecida por sua boa digestibilidade e, por possuir um perfil de aminoácidos mais completo, destacando-se o maior teor de lisina (Junqueira *et al.*, 2009; Siddiqi *et al.*, 2020). Este resultado é relevante, visto que a lisina é o principal aminoácido limitante no trigo, o que significa que a farinha de subproduto de arroz, mesmo com menores teores de proteínas, pode atuar como um ingrediente valioso para melhorar o equilíbrio nutricional de formulações alimentícias isentas de glúten (Junqueira *et al.*, 2009).

O teor de lipídios variou significativamente entre as farinhas. A farinha de subproduto de palmito apresentou resultado de $1,35 \text{ g.100g}^{-1}$, igual ao encontrado por Bolanho, Danesi e Beleia (2014). A farinha de subproduto de mandioca apresentou

valor de 0,32 g.100g⁻¹, dentro da média de 0,31 a 0,43 g.100g⁻¹ encontrada por segundo Ronko; Travalini; Demiate, (2020). Para a farinha de subproduto de arroz os resultados na literatura são de 1,14 g.100g⁻¹ (Rostagno *et al.*, 2011).

Para o teor de fibras alimentares, os resultados foram o ponto de maior destaque entre as farinhas de subprodutos, não diferindo significativamente entre a FP e a FM. A farinha de subproduto de palmito pupunha apresentou o índice mais elevado 49,97 g.100g⁻¹, seguida pela farinha de subproduto de mandioca com 47,11 g.100g⁻¹. O teor encontrado para o subproduto de mandioca é superior ao reportado por De Carvalho *et al.* (2017), que, ao estudarem o bagaço de uma indústria no Paraná, encontraram 16,98 g.100g⁻¹. Essa diferença é atribuída aos diferentes níveis tecnológicos das unidades processadoras nas operações de extração do amido.

Estes altos valores favorecem questões nutricionais, pois as fibras são ideais para o desenvolvimento de alimentos funcionais, ajudando na saúde e no funcionamento intestinal (Dhingra *et al.*, 2012). Já nas questões tecnológicas, as fibras melhoram a textura e a retenção de umidade, favorecendo a estabilidade estrutural durante o processamento (Vieira *et al.*, 2015).

O teor de carboidratos apresentou diferença significativa entre as farinhas. A farinha de subproduto de arroz apresentou o maior teor de carboidratos, isto se justifica por ser constituída basicamente por endosperma amiláceo (Carvalho *et al.*, 2012).

Além do elevado teor de fibras, a farinha de subproduto de palmito apresentou uma concentração considerável de açúcares (20,18 g.100g⁻¹). Entretanto, os resultados indicam uma variação nesses teores entre as farinhas, com valores baixos para farinha de arroz (0,21 g.100g⁻¹) e para a farinha de subproduto de mandioca (0,23 g.100g⁻¹).

O pH foi diferente para as três farinhas, com resultados de 4,98 a 5,86, o que indica diferença na composição das farinhas (Vieira, 2015). Para a farinha de palmito pupunha, o índice de pH encontrado na literatura foi de 5,74 (Souza *et al.*, 2022), acima do valor 4,98 encontrado no presente estudo.

Para comparação dos resultados, foi considerada a acidez recomendada para a farinha de trigo com valor máximo tolerável de acidez de 4,0 mL de solução de NaOH 0,1N por 100g de amostra. Portanto, como todas as farinhas apresentaram baixa acidez, sugere-se condições ótimas de processamento e armazenamento, indicando que não houve fermentação dos materiais.

3.4.2 Análise de Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante das Farinhas

Conforme demonstrado na Tabela 2, as farinhas de subprodutos apresentaram compostos bioativos, agregando potencial antioxidante aos produtos a serem desenvolvidos.

Tabela 3.2 - Teores de compostos fenólicos, atividade antioxidante das farinhas elaboradas

Análises	Farinha de subproduto de palmito pupunha (FP)	Farinha de subproduto de mandioca (FM)	Farinha de subproduto de arroz (FA)
Compostos fenólicos totais (mgEAG.100g ⁻¹)	117,57 ^a ± 2,03	35,78 ^c ± 0,96	71,11 ^b ± 2,05
Atividade antioxidante (mgET.g ⁻¹)	1,34 ^a ± 0,04	0,55 ^b ± 0,02	1,38 ^a ± 0,10

Notas: Médias ± desvio padrão seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: A autora (2025).

Os compostos fenólicos são responsáveis pela atividade antioxidante dos alimentos. Neste estudo, a farinha de subproduto de palmito pupunha destacou-se com o maior teor (117,57 mgEAG.100g⁻¹), apresentando diferença significativa entre as outras farinhas. A seguir, veio a farinha de subproduto de arroz que atingiu 71,11 mgEAG.100g⁻¹.

Este resultado é promissor quando comparado às farinhas de trigo, pois está dentro da faixa encontrada para a farinha de trigo integral de 65,31 a 125,13 mgEAG.100g⁻¹ (Grande *et al.*, 2023), e superior ao da farinha de trigo refinada, que possui teores fenólicos reportados de 10 a 15 mgEAG.100g⁻¹ (Adom *et al.*, 2005).

Os antioxidantes protegem as células dos danos causados por radicais livres (Hudson *et al.*, 2000). Os resultados da atividade antioxidante foram coerentes com o teor de fenólicos. O subproduto de arroz (1,38 mgET.g⁻¹) reflete a riqueza em compostos bioativos, que vão além dos fenólicos simples, incluindo o complexo da vitamina E (tocoferóis e tocotrienóis), conhecidos por sua potente capacidade antioxidante (Goufo; Trindade, 2014).

O subproduto de palmito, com 1,34 mgET.g⁻¹, embora inferior ao reportado por Bolanho, Danesi e Beleia (2014) (3,74 mgET.g⁻¹), ainda apresenta atividade bioativa. Esses resultados reforçam o potencial dos subprodutos avaliados como fontes viáveis de compostos bioativos.

3.4.3 Propriedades Tecnológicas das Farinhas

Além da composição nutricional das farinhas, é de importância entender suas características tecnológicas e como podem interferir, quando adicionadas às formulações alimentícias. Desta forma, as características tecnológicas das farinhas estão expostas na Tabela 3.

Tabela 3.3 - Características tecnológicas das farinhas de subprodutos agroindustriais

Análises	Farinha de subproduto de palmito pupunha (FP)	Farinha de subproduto de mandioca (FM)	Farinha de subproduto de arroz (FA)
Granulometria (mm)	0,27	0,72	0,32
IAA (g/g)	7,94 ^a ± 0,43	4,95 ^b ± 0,08	3,39 ^b ± 0,22
ISA %	11,53 ^a ± 1,17	4,63 ^b ± 0,44	3,37 ^c ± 1,61
IAO (g/g)	3,59 ^a ± 0,26	3,40 ^b ± 0,19	3,29 ^c ± 0,32
Aw	0,39 ^b ± 0,01	0,38 ^b ± 0,01	0,52 ^a ± 0,03
Cor			
L	87,43 ^b ± 0,54	79,68 ^c ± 0,51	90,40 ^a ± 1,54
a*	0,23 ^c ± 0,14	3,51 ^a ± 0,07	0,64 ^b ± 0,13
b*	21,06 ^a ± 0,52	15,13 ^b ± 0,19	13,05 ^c ± 1,00
H°	89,37 ^a ± 0,40	79,64 ^c ± 0,04	87,12 ^b ± 0,80
Croma	21,06 ^a ± 0,80	15,54 ^b ± 0,02	13,07 ^c ± 0,99

Notas: IAA = Índice de absorção em água; ISA = Índice de solubilidade em água; IAO = Índice de absorção em óleo; Aw = Atividade de água; L = Luminosidade; H° = Ângulo hue. Médias ± desvio padrão seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: A autora (2025).

A granulometria para farinhas é muito importante, pois está ligada às características de solubilidade (Almeida *et al.*, 2017). As amostras apresentaram uma variação granulométrica, com partículas variando de 0,27 mm a 0,72 mm. É importante ressaltar que, devido às limitações nos equipamentos de moagem, não foi possível padronizar a granulometria das farinhas. Na tecnologia de alimentos, especialmente em produtos isentos de glúten, partículas mais finas são associadas a uma melhor homogeneização e maior absorção de água (Sciarini *et al.*, 2020).

Na substituição da farinha de trigo por fontes que possuem fibras, é possível que ocorram problemas tecnológicos, sendo indicado o acréscimo de maior quantidade de água na formulação, para que a massa não fique seca e quebradiça (Gómez *et al.*, 2007).

Desta forma, observa-se que entre as farinhas estudadas, a de subproduto de palmito apresentou os maiores valores de absorção (IAA) de 7,94 g/g e solubilidade em água (ISA) de 11,53%, o que pode ser justificado devido seu alto teor de fibras, favorecendo sua aplicação em produtos que demandam alta hidratação (Fiorda *et al.*, 2013).

Fiorda *et al.* (2013), relataram que a farinha de bagaço de mandioca apresenta propriedades tecnológicas desejáveis para a panificação sem glúten, com capacidade de absorção de água (IAA) de 6,73 g/g, semelhante ao encontrado no presente estudo. Vale ressaltar, que quanto maior o IAA, melhor é a qualidade da massa produzida, pois há maior acesso da água ao amido, o que promove melhor homogeneização dos ingredientes (Cayres, 2014).

A atividade de água variou significativamente entre 0,38 e 0,52, o que indica que as farinhas apresentaram baixa disponibilidade de água para reações químicas e microbiológicas. Este índice está associado à migração de umidade entre os ingredientes de uma formulação, influenciando na textura final (Aravind; Sissons; Fellows, 2012).

A cor é um atributo sensorial fundamental para a aceitação de alimentos (Motoki; Togawa, 2022). A análise revelou diferenças na luminosidade (L^*) entre as amostras. A farinha de subproduto de arroz (FA) destacou-se como a mais clara ($L^* = 90,40$), aproximando-se do branco e sendo ideal para formulações que exigem a manutenção de cores claras. Em contrapartida, a farinha de subproduto de mandioca (FM) foi a mais escura ($L^* = 79,68$), enquanto a farinha de palmito (FP) apresentou um valor intermediário ($L^* = 87,43$).

Em relação às tonalidades, todas as farinhas tendem ao amarelo (valores de b^* positivos). A farinha de palmito (FP) foi a que apresentou a cor amarela mais intensa e saturada ($b^* = 21,06$; Croma = 21,06), confirmada pelo Ângulo Hue ($H^\circ = 89,37^\circ$). A farinha de arroz (FA) foi a mais neutra, com a menor saturação de cor (Croma = 13,07). Esses resultados indicam que, enquanto a farinha de subproduto de arroz possui baixo impacto na cor, a farinha de subproduto de palmito tem potencial para conferir tonalidades amareladas aos produtos elaborados.

Porém, além dos resultados já discutidos, para aplicação destas farinhas de subprodutos em formulações alimentícias, é importante entender as quantidades e o comportamento do amido presente em cada farinha. Em produtos de panificação

isentos de glúten, o amido desempenha função estrutural, substituindo a rede proteica ausente (Horstmann; Lynch; Arendt, 2017).

Na literatura, as proporções de amilose e amilopectina variam de acordo com a origem botânica, o amido normalmente possui teores de 20 a 30% de amilose e 70 a 80% de amilopectina. Porém, essas diferentes proporções afetam as propriedades físicas, químicas e funcionais da fonte amilácea, diversificando sua aplicação (Leeman *et al.*, 2006; Seugn, 2020).

Os teores de amido, amilose e amilopectina dos amidos extraídos dos subprodutos podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 3.4 - Quantificação do teor amido, amilose e amilopectina das farinhas de subprodutos agroindustriais

Componente	Farinha de subproduto de mandioca (FM)	Farinha de subproduto de arroz (FA)
Amido (g.100g⁻¹)	40,67 ± 0,28	73,41 ± 1,05
Amilose (%)	22,53	27,26
Amilopectina (%)	77,47	72,47

Notas: Médias ± desvio padrão.

Fonte: A autora (2025).

Embora, a intenção não seja a aplicação do amido extraído, e sim das farinhas como um todo, entender em quais proporções estão presentes e o seu comportamento é importante, quando se trata da aplicação em produtos isentos de glúten.

A farinha de subproduto de mandioca apresentou teor de amido de 40,67 g.100g⁻¹, apesar de ser inferior ao da farinha de mandioca padrão, por se tratar de um subproduto, este resultado demonstra a viabilidade do aproveitamento deste material, visto que 40% do amido permaneceu no bagaço mesmo após o processo de extração industrial. Sendo assim, observa-se que dependendo do método e da tecnologia utilizada para a extração do amido, grande parte pode permanecer no material (Coutinho, 2007).

A farinha de subproduto de arroz apresentou teor de amido de 73,41 g.100g⁻¹, valor similar ao encontrado por Rostagno *et al.* (2011), que foi de 74,45 g.100g⁻¹.

Para o subproduto de palmito, Helm *et al.* (2021) relatam 3,56 g.100g⁻¹ resultado baixo em relação às demais farinhas, sendo irrelevante para a quantificação.

No entanto, a importância deste subproduto não reside na sua fração de amido, mas sim no seu potencial funcional, derivado do teor de fibras alimentares, que o mantém em posição de destaque.

Para Ribeiro *et al.* (2024), a variabilidade no conteúdo de amilose pode influenciar a qualidade e a textura dos alimentos à base de amido. Portanto, entender a correlação entre as propriedades da pasta e o conteúdo de amilose é fundamental.

De acordo com Schamne, Dutcosky, Demiate (2010), o amido de arroz e de mandioca têm níveis baixos de amilose, conforme mostrado na Tabela 4. Estes resultados são promissores para o desenvolvimento de produtos isentos de glúten, visto que altos níveis de amilose estão relacionados com o aumento da firmeza do miolo de pães após o cozimento (Roman *et al.*, 2020).

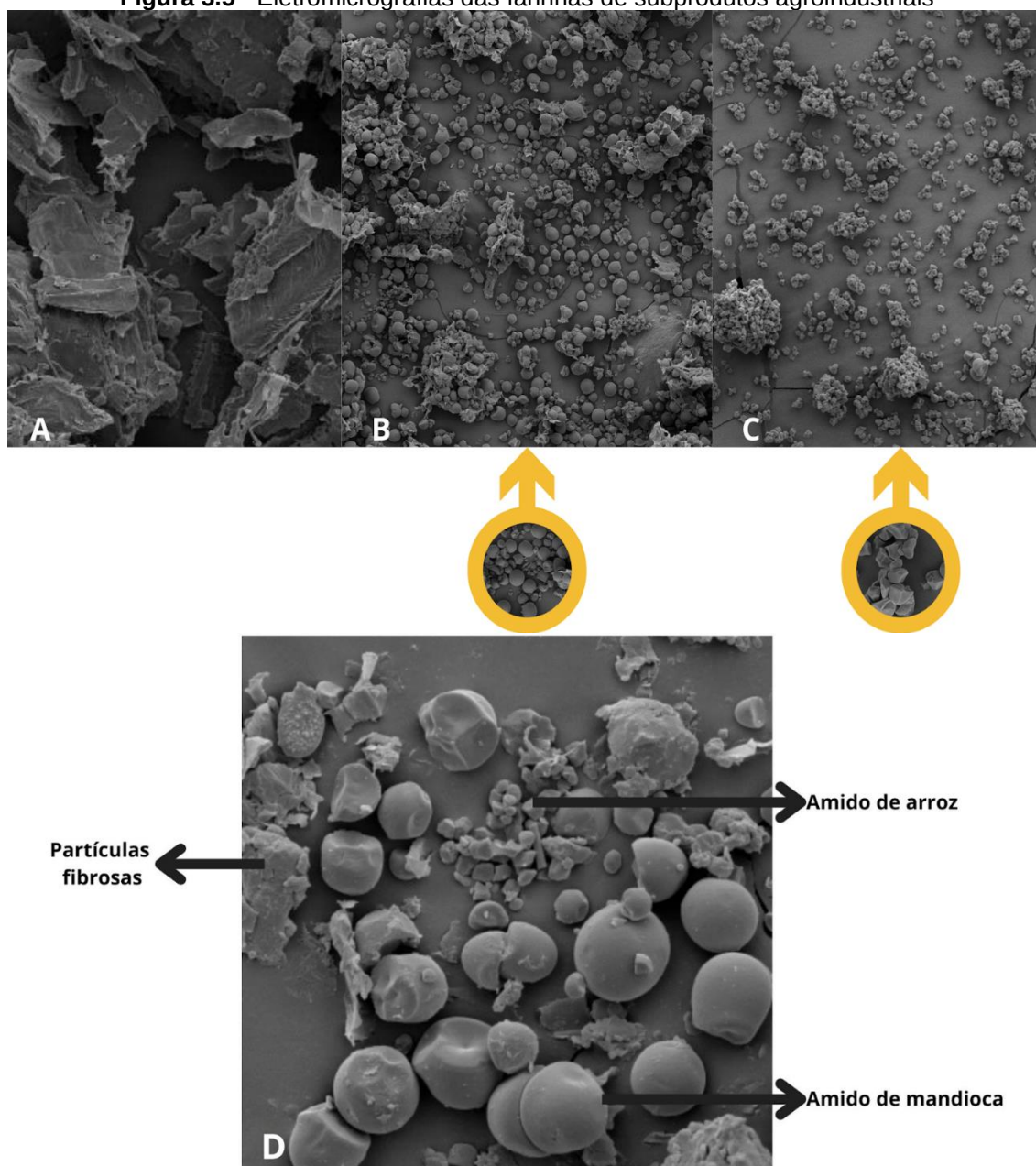
Na farinha de subproduto de arroz, a amilose correspondeu a 27,27%. Na literatura, o amido de arroz possui um teor de amilose entre 15 e 30%. Isso lhe confere boas propriedades de formação de estrutura, mas, em contrapartida, o torna suscetível à retrogradação (Varavinit *et al.*, 2002; Wu *et al.*, 2010).

O teor de amilose para o amido do subproduto de mandioca foi de 22,53%. Entretanto, o método de extração do amido de sua fonte, influencia as proporções de amilose e amilopectina. Em estudo realizado por Farias (2022), o teor de amilose apresentou diferenças entre três métodos de extração, variando de 22,27% a 25,86%, similar ao resultado encontrado no presente estudo.

Por outro lado, por possuir menor teor de amilose, o amido de mandioca apresenta menor tendência à retrogradação e boa estabilidade ao congelamento e descongelamento (Lu *et al.*, 2020).

A amilopectina do amido de mandioca foi de 77,47%, resultado maior que encontrado para a amilopectina do amido de arroz, que foi de 72,47%. Resultados positivos, pois de acordo com Da Rosa, Dias, (2011), a amilopectina do amido de mandioca é pouco propensa a recrystalizar, resultando em panificados com maciez por mais tempo.

Na Figura 6, estão expostas as imagens obtidas pelo MEV a partir dos amidos do subproduto de mandioca, de arroz e da mistura das três farinhas de subprodutos.

Figura 3.5 - Eletromicrografias das farinhas de subprodutos agroindustriais

Notas: (a) subproduto do palmito pupunha, 500x; (b) amido de mandioca, 500x; (c) amido do arroz, 500x, (d) amostra composta formada pela mistura em proporções iguais das três farinhas 2000x.

Fonte: A autora (2025).

Na Figura 5(A), a eletromicrografia da farinha de subproduto de palmito pupunha apresenta elementos fibrosos típicos da parte caulinar da planta. Em trabalho de Bolanho, Danesi e Beleia (2014), alguns elementos observados na imagem podem ser descritos como resíduos de tecidos de parênquima e esclerênquima.

Na Figura 5(B), pode-se observar os grânulos de amido de mandioca. De acordo com Moorthy (2002) esses grânulos são arredondados e ovais, com formas relativamente regulares, com tamanhos na faixa de 12 a 20 μm .

Segundo Juliano (1985), Franco, Cabral, Tavares (2001) e Qi-hua *et al.* (2009), o tamanho dos grânulos do amido de arroz é muito pequeno variando de 3 a 9 μm em formas poligonais irregulares, como demonstrado no centro da Figura 6(C).

As imagens dos grânulos complementam as análises tecnológicas e físico-químicas, pois estudos relatam que grânulos pequenos como o do amido de arroz possuem digestão mais rápida. Já os grânulos médios como o da mandioca, possuem maior capacidade de retenção de água e expansão durante a gelatinização, formando géis mais viscosos (Hoover, 2001; Juliano, 1993; Tester; Karkalas; Qi, 2004).

Na Figura 5(D), que apresenta a mistura composta das três farinhas com aumento de 2000x, fica possível observar a presença de material fibroso que pode ser proveniente da farinha de subproduto de palmito, bem como dos amidos provenientes dos subprodutos de mandioca e arroz.

Desta forma, a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) torna-se essencial para a análise de farinhas e amido, pois permite visualizar a morfologia dos grânulos e das fibras, como o tamanho do grânulo, que demonstra possuir impacto direto nas propriedades do amido (Hoover, 2001; Pérez; Bertoft, 2010).

A Tabela 5 e a Figura 6 apresentam o perfil viscoamilográfico das farinhas de subprodutos de mandioca e de arroz.

Tabela 3.5 - Parâmetros viscoamilográficos (RVA) das farinhas de subprodutos de mandioca e de arroz

Amostra	V de pico (mPa·s)	Quebra de viscosidade (mPa·s)	V Final (mPa·s)	Tendência a retrogradação (mPa·s)	Tempo pico de viscosidade (s)	TE (°C)
FM	5150	4536	629	15	6,4	64,65
FA	824	2	1895	1073	13	93,8

Notas: FM - Farinha de subproduto de mandioca; FA - Farinha de subproduto de arroz; V – Viscosidade; TE - Temperatura de empastamento.

Fonte: A autora (2025).

Observa-se diferenças nos perfis viscoamilográficos das farinhas de subprodutos de mandioca e de arroz, revelando comportamentos distintos de gelatinização, estabilidade térmica e retrogradação. A farinha de subproduto de mandioca apresentou viscosidade de pico elevada de 5150 mPa·s, enquanto a de arroz atingiu 824 mPa·s.

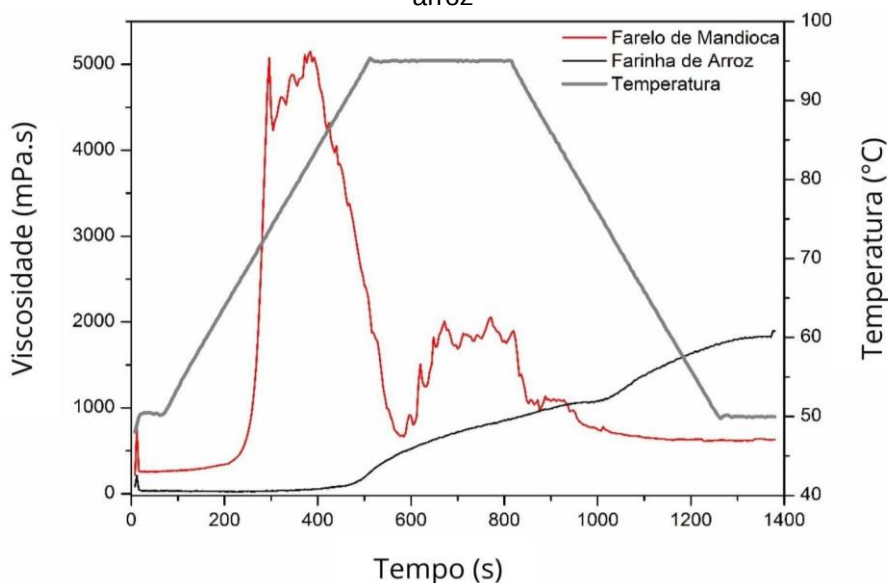
Essa diferença reforça o comportamento descrito na literatura, no qual amidos de mandioca exibem grande capacidade de inchaço e intensa formação de gel, resultando em picos elevados (Ashogbon; Akintayo, 2012; Silva *et al.*, 2020).

A viscosidade final revelou que a farinha de subproduto de mandioca apresentou 629 mPa·s, enquanto a de arroz atingiu 1895 mPa·s. Essa diferença está ligada à retrogradação do amido, que foi maior no arroz (1073 mPa·s) do que na mandioca (15 mPa·s).

De acordo com os resultados apresentados, pode-se observar a tendência à retrogradação do amido, recristalizando no resfriamento. O arroz com maior teor de amilose apresentou elevada propensão à retrogradação. A mandioca, rica em amilopectina e com baixa amilose, exibiu comportamento oposto, indicando retrogradação lenta e formação de gel mais estável (Singh *et al.*, 2003).

Para evidenciar esse comportamento das farinhas, o gráfico viscoamilografico pode ser observado na Figura 6.

Figura 3.6 - Viscoamilogramas das farinhas de subproduto de mandioca (FM) e do subproduto de arroz



Fonte: A autora (2025).

As farinhas de subprodutos de mandioca e de arroz apresentaram diferentes perfis em termos de propriedades viscoelásticas. Pode-se observar que o subproduto de mandioca apresentou grande capacidade de inchar e formar gel, originando picos altos. Estudos já demonstram que o amido da mandioca produz altas viscosidades de pico em RVA, em contraste com farinhas de arroz (Surfiana *et al.*, 2023).

O aparecimento de mais de um pico de viscosidade pode ser justificada pela presença de fibras na farinha de subproduto de mandioca. Misturas de frações ricas em fibras e em amido podem gerar múltiplos picos, porque diferentes frações gelatinizam ou degradam em temperaturas diferentes (Ashogbon; Akintayo, 2012).

A farinha de subproduto de arroz apresentou viscosidade pico mais baixa quando comparada à FM. Isto pode ser porque farinhas provenientes da quirera de arroz podem conter atividade enzimática (amilase) maior do que o amido isolado. Portanto, se as amilases estiverem ativas durante o ensaio, podem degradar polímeros de amido durante o aquecimento, reduzindo o pico de viscosidade (Chen; Lii; Lu, 2003).

Além disso, a quirera de arroz possui grande parte do seu amido danificado, o que reduz a estabilidade do gel ao aquecer e pode reduzir o pico observado (Hasjn; Li; Dhital, 2013). Essas diferenças refletem implicações diretas em panificados isentos de glúten, sendo que apresentam propriedades distintas.

3.5 CONCLUSÃO

Os subprodutos do arroz (FA), da mandioca (FM) e do palmito pupunha (FP) são fontes viáveis e sustentáveis de ingredientes para potencial uso em produtos isentos de glúten.

A caracterização físico-química demonstrou diferença significativa entre as farinhas. As farinhas de subprodutos de palmito ($49,97 \text{ g.100g}^{-1}$) e mandioca ($47,11 \text{ g.100g}^{-1}$) destacaram-se como fontes de fibras alimentares, enquanto a farinha de arroz apresentou os maiores teores de proteínas ($7,65 \text{ g.100g}^{-1}$) e cinzas ($4,18 \text{ g.100g}^{-1}$).

Em relação aos compostos bioativos, a farinha de subproduto de palmito demonstrou o maior teor de compostos fenólicos ($117,57 \text{ mgEAG.100g}^{-1}$), enquanto a farinha de arroz exibiu a maior atividade antioxidante ($1,38 \text{ mgET.g}^{-1}$). Essas características posicionam esses subprodutos com potenciais alegações funcionais.

A farinha do subproduto de palmito pupunha apresentou o maior índice de absorção de água (IAA $7,94 \text{ g/g}$), e a de arroz a cor mais clara ($L^* = 90,40$), portanto quando aplicadas podem proporcionar características específicas aos panificados convencionais.

A morfologia (MEV) confirmou a estrutura fibrosa da farinha de subproduto de palmito e os grânulos distintos das de arroz e mandioca. Além disso, a análise do amido revelou que a farinha de subproduto de mandioca, apesar de possuir menor teor de amido de $40,67 \text{ g.100g}^{-1}$, quando comparada à de arroz com $73,41 \text{ g.100g}^{-1}$, possui propriedades de pasta superiores para panificação isenta de glúten, com alta viscosidade de pico e uma tendência à retrogradação baixa, indicando maior estabilidade e potencial para manutenção da maciez.

Portanto, os resultados destacaram a funcionalidade da farinha de subproduto de mandioca como agente estruturante, a do palmito como ingrediente funcional rico em fibras e o potencial da farinha de subproduto de arroz como fonte de antioxidantes. Assim, a utilização desses subprodutos, de forma combinada, representa uma inovação tecnológica se alinhando aos princípios da economia circular e da segurança alimentar.

REFERÊNCIAS

- 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.
- ALVES, R. N. B. *et al.* Rentabilidade e características da produção de tucupi e fécula derivados da mandioca. **EMBRAPA Amazônia Oriental**, 2019.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 2005. (18th ed). Gaithersburg: AOAC International.
- APLEVICZ, K. S.; DEMIATE, I. M. Characterization of native and modified cassava starches and their use in baked products. **Food Science and Technology**, v. 27, p. 478-484, 2007.
- ARAVIND, N.; SISSONS, M.; FELLOWS, C. M. Effect of soluble fibre (guar gum and carboxymethylcellulose) addition on technological, sensory and structural properties of durum wheat spaghetti. **Food Chemistry**, v. 131, n. 3, p. 893-900, 2012.
- ASHOGBON, A. O.; AKINTAYO, E. T. Morphological, functional and pasting properties of starches separated from rice cultivars grown in Nigeria. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 2, p. 665-671, 2012.
- BALA, S. *et al.* Transformation of agro-waste into value-added bioproducts and bioactive compounds: Micro/nano formulations and application in the agri-food-pharma sector. **Bioengineering**, v. 10, n. 2, p. 152, 2023.
- BARBOSA, J. R. *et al.* Avaliação da composição e dos parâmetros tecnológicos de farinhas produzidas a partir de subprodutos agroindustriais. Edição especial V Simpósio de Engenharia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 5, p. 8-21, 2011.
- 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.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Food Science and Technology**, n.28, p.25-30. 1995.
- BRUNATTI, A. C. S. *et al.* Farinhas em foco: estudo das propriedades e aplicações na indústria alimentícia. **Revista Delos**, v. 17, n.62, p. 1-12, 2024.

CARGNIN, G. *et al.* Technology for the valorization of rice by-product with potential applicability in fish farming. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, p.1-9, 2022.

CARVALHO, A. V. *et al.* Processing and characterization of an extruded snack made from broken rice flour and broken common bean flour. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, p. 72-83, 2012.

CARVALHO, R. V. **Formulações de Snacks de Terceira Geração por Extrusão: Caracterização Texturométrica e Microestrutural**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

CHEN, J. C.; LII, C. Y.; LU, S. Effects of alpha-amylase on the pasting and retrogradation properties of rice starches with different amylose contents. **Cereal Chemistry**, v. 80, n. 4, p. 382-387, 2003.

COUTINHO, A. P. C. **Produção e caracterização de maltodextrinas a partir de amidos de mandioca e batata-doce**. 2007. 137f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

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.

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

DE MELO, T. S. *et al.* Desafios da panificação sem glúten: uma breve revisão. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 9, p. e6866-e6866, 2024.

DEMIATE, I. M. *et al.* Physicochemical characterization of starches from dry beans cultivated in Brazil. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 812 - 820, dez. 2016.

DHINGRA, D. *et al.* Dietary fibre in foods: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 3, p. 255-266, 2012.

ELIOPOULOS, C.; ARAPOGLOU, D.; HAROUTOUNIAN, S. A. Bioconversion of Agro-Industrial Byproducts by Applying the Solid-State Fermentation Bioprocess to Increase Their Antioxidant Potency. **Antioxidants**, v. 14, n. 8, p. 910, 2025.

EMBRAPA. Pupunha. Embrapa Florestas, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/pupunha/tema>
Acesso em: 05 jun. 2025.

FAO. **The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. 224 p.

FELIPE, J. A importância da mandioca na economia brasileira. **Revista de Agricultura Tropical**, v. 15, n. 3, p. 45-56, 2022.

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

FRANCO, C. M. L.; CABRAL, R. A. F.; TAVARES, D. Q. Structural and physicochemical of lintnerized native and sour cassava starches. **Starch/Starke**, v. 54, p. 469-475, 2002.

GÓMEZ, M. *et al.* Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 2, p. 167-173, 2007.

GOMIDE, R. **Operações Unitárias** - Operações com sistemas sólidos granulares. São Paulo. v.1, p. 187-215. 1983.

GOUFO, P.; TRINDADE, H. Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, γ -oryzanol, and phytic acid. **Food Science & Nutrition**, v. 2, n. 2, p. 75-104, 2014.

GRANDE, T. *et al.* Evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of whole flours obtained from different species of *Triticum* genus. **European Food Research and Technology**, v. 249, n. 6, p. 1575-1587, 2023.

HASJIM, J.; LI, E.; DHITAL, S. Milling of rice grains: Effects of starch/flour structures on gelatinization and pasting properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, n. 1, p. 682-690, 2013.

HE, W.; GUO, X.; HAN, J. Management of urban manufacturing by-products: food circular economy and safety aspects. **CyTA-Journal of Food**, v. 23, n. 1, p. 2477659, 2025.

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

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, n. 3, p. 253-267, 2001.

HORSTMANN, S. W.; LYNCH, K. M.; ARENDT, E. K. Starch characteristics linked to gluten-free products. **Foods**, v. 6, n. 4, p. 29, 2017.

HUDSON, E. A. *et al.* Characterization of Potentially Chemopreventive Phenols in Extracts of Brown Rice That Inhibit the Growth of Human Breast and Colon Cancer Cells. **Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention**, v. 9, n. 11, p. 1163-1170, 2000.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ [2008]. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Int. Rice Res. Inst., 1993.

JUNQUEIRA, O. M. *et al.* Composição química, valores de energia metabolizável e aminoácidos digestíveis de subprodutos do arroz para frangos de corte. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2497-2503, 2009.

LANZARINI, D. P. *et al.* Quality control applied to bread-making wheat flour produced in mills in the state of Paraná. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 16919-16929, 2020.

LEEMAN, A. M. *et al.* Resistant starch formation in temperature treated potato starches varying in amylose/amylopectin ratio. **Carbohydrate Polymers**, v. 65, n. 3, p. 306-313, 2006.

LI, J. *et al.* Long-term retrogradation properties of rice starch modified with transglucosidase. **Food Hydrocolloids**, v. 121, p. 107053, 2021.

LU, H. *et al.* Study on quality characteristics of cassava flour and cassava flour short biscuits. **Food Science & Nutrition**, v. 8, n. 1, p. 521-533, 2020.

LUTHRIA, D. L.; LU, YINGJIAN.; JOHN, K.M. M. Bioactive phytochemicals in wheat: Extraction, analysis, processing, and functional properties. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 910-925, 2015.

MAIOR, O. L. *et al.* Impact of cyclic and continuous dry heat modification on the structural, thermal, technological, and in vitro digestibility properties of potato starch (*Solanum tuberosum* L.): A comparative study. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 263, p. 130370, 2024.

MARETI, M. C.; GROSSMANN, M. V. E.; BENASSI, M. T. Características físicas e sensoriais de biscoitos com farinha de soja e farelo de aveia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 4, p. 878-883, 2010.

MILLER, J. *et al.* **Rice processing and by-products**. 1. ed. London: Academic Press, 2020.

MOORE, J. *et al.* Carotenoid, tocopherol, phenolic acid, and antioxidant properties of Maryland-grown soft wheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 17, p. 6649-6657, 2005.

MOTOKI, K.; TOGAWA, T. Multiple senses influencing healthy food preference. **Current Opinion in Behavioral Sciences**, v. 48, p. 101223, 2022.

MOORTHY, S. N. Propriedades físico-químicas e funcionais de amidos de tubérculos tropicais: uma revisão. **Starch-Stärke**, v. 54, n. 12, p. 559-592, 2002.

NELSON, N. A photometric adaptation of Somogyi method for determination of glucose. **Journal of Biologic Chemistry**, v. 153, n. 2, p. 375-380, 1944.

PANDOLFI, L. *et al.* Utilização da casca de ovo de galinha como estratégia de aumento de cálcio em alimentos. **Saúde e Meio Ambiente: Revista Interdisciplinar**, v. 11, p. 59-70, 2022.

PÉREZ, S.; BERTOFT, E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. **Starch/Stärke**, v. 62, n. 8, p. 389-420, 2010.

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.

QI-HUA, L. *et al.* Effects of chalkiness on cooking, eating and nutritional qualities of rice in two indica varieties. **Rice Science**, v. 16, n. 2, p. 161-164, 2009.

RAHMAN, M. S. (Ed.). **Handbook of food preservation**. CRC press, 2020.

RIBEIRO, N. R. *et al.* Variability of amylose content and its correlation with the paste properties of cassava starch. **Plos one**, v. 19, n. 10, p. e0309619, 2024.

ROMAN, L. *et al.* Intermediate length amylose increases the crumb hardness of rice flour gluten-free breads. **Food Hydrocolloids**, v. 100, p. 105451, 2020.

RONKO, L. Z.; TRAVALINI, A. P.; DEMIATE, I. M. Amido e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta*): obtenção e caracterização de diferentes variedades. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 14, n. 1, p. 55-68, 2020.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* Composição de alimentos e exigências nutricionais. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**, v. 2, p.233-254, 2011.

SANDHU, K. S.; LIM, S. T. Digestibility of legume starches as influenced by their physical and structural properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 71, n. 2, p. 245-252, 2008.

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

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.

SARKER, A. *et al.* A comprehensive review of food waste valorization for the sustainable management of global food waste. **Sustainable Food Technology**, v. 2, n. 1, p. 48-69, 2024.

SCHAMNE, C.; DUTCOSKY, S. D.; DEMIATE, I. M. Obtenção e caracterização de produtos de panificação sem glúten. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 741-750, 2010.

SCIARINI, L. S. *et al.* Gluten-free breadmaking affected by the particle size and chemical composition of quinoa and buckwheat flour fractions. **Food Science and Technology International**, v. 26, n. 4, p. 321-332, 2020.

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

SIDDIQI, R. A. *et al.* Diversity in grain, flour, amino acid composition, protein profiling, and proportion of total flour proteins of different wheat cultivars of North India. **Frontiers in Nutrition**, v. 7, p. 141, 2020.

SILVA, F. I.; CABELLO, C. Caracterização das estruturas moleculares de amido de mandioca utilizando metodologia de permeação em gel. **Energia e Agricultura**, v. 21, n. 1, p. 50-68, 2006.

SINGH, N. *et al.* Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 4, p. 532-542, 2006.

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.

SJÖÖ, M.; NILSSON, L. (Ed.). **Amido em alimentos: estrutura, função e aplicações**. Woodhead Publishing, 2017.

SOUZA, José da Silva. **História e cultivo do arroz**. 1. ed. São Paulo: Editora Agro, 2019.

SURFIANA, S. M. *et al.* Evaluation of physicochemical, pasting, and thermal properties of various native and modified starch sources for food applications: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 230, p. 123013, 2023.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch - composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 151-165, 2004.

TORRES-LEÓN, C. *et al.* Food waste and byproducts: An opportunity to minimize malnutrition and hunger in developing countries. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, p. 52, 2018.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Population Prospects 2019: Highlights**. ST/ESA/SER.A/423. New York: United Nations, 2019.

VARAVINIT, S. *et al.* Freezing and thawing conditions affect the gel stability of different varieties of rice flour. **Starch-Stärke**, v. 54, n. 1, p. 31-36, 2002.

VIEIRA, T. S. *et al.* Effect of wheat flour substitution on the development of gluten-free cookies. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p.285-292, 2015.

WANDER, A. E.; SILVA, O. F.; FERREIRA, C. M. O arroz e o feijão no Brasil e no mundo. **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**, p. 81-100, 2021.

WANG, J. *et al.* Preparation and characterization of sweet potato starch modified by dry heat treatment and its application in gluten-free bread. **Food Science and Technology**, v. 129, p. 109520, 2020.

WU, Y. *et al.* Retrogradation properties of high amylose rice flour and rice starch by physical modification. **Food Science and Technology**, v. 43, n. 3, p. 492-497, 2010.

ZORTÉA, M. P. *et al.* Physical-chemical, thermal and paste properties of cassava starches modified by annealing and acid hydrolysis. **Food Science and Technology**, v. 44, n. 3, p. 772-777, 2011.

CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO DE MASSAS DE PIZZA ISENTAS DE GLÚTEN COM SUBPRODUTOS DE ARROZ, PALMITO PUPUNHA E MANDIOCA

RESUMO

O setor de alimentos isentos de glúten, impulsionado por consumidores com restrições dietéticas e por aqueles que buscam um estilo de vida percebido como mais saudável, enfrenta o desafio de oferecer produtos de qualidade nos aspectos nutricional e sensorial. Os consumidores que evitam o glúten, relatam que as pizzas são um dos alimentos que mais sentem falta de consumir. Desta forma, a valorização de subprodutos agroindustriais surge como uma estratégia sustentável e inovadora para o desenvolvimento de massas de pizza isentas de glúten. O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade de utilizar farinhas de subprodutos do processamento de arroz (quirera), palmito pupunha e mandioca para elaborar massas de pizzas isentas de glúten. Para isso, foi empregado um planejamento de misturas com restrições com dez formulações, com repetição do ponto central, variando as proporções de farinhas de subprodutos de mandioca (FM), palmito (FP) e de arroz (FA). As massas de pizzas elaboradas foram submetidas a análises de composição proximal, compostos fenólicos totais, atividade antioxidante, propriedades tecnológicas de cor, expansão, volume específico e dureza, perda de massa no forneamento e comparadas com uma formulação comercial com glúten. Os resultados foram avaliados por meio de gráficos ternários, superfícies de respostas, sendo a melhor formulação escolhida por desejabilidade. As farinhas de subprodutos exerceram impacto nutricional positivo nas massas. Houve aumento significativo no teor de fibras alimentares (variando de 8,95 a 19,50 g.100g⁻¹), permitindo que a maioria das formulações recebesse a alegação de "Alto Teor de Fibras". Observou-se redução nos teores de carboidratos e valor calórico, que chegou a ser 40% menor, em comparação ao produto comercial com glúten. Os teores de compostos fenólicos variaram de 34,70 a 66,92 mgEAG.100g⁻¹ e a atividade antioxidante variou de 4,69 a 9,52 mgET.g⁻¹, demonstrando o potencial funcional das massas elaboradas. No aspecto tecnológico, a ausência de glúten e o alto teor de fibras ocasionaram uma estrutura mais compacta, com menores índices de expansão e volume específico nas massas. Contudo, a análise de dureza revelou que as formulações apresentaram textura de 291,14 N a 425,79 N, na faixa da amostra comercial com glúten de 349,95 N, indicando potencial aceitabilidade sensorial. A desejabilidade apontou que entre as formulações a F4 foi a mais promissora, por apresentar balanço entre as variáveis analisadas. Conclui-se que a utilização dos subprodutos é uma estratégia viável para desenvolver massas de pizza isentas de glúten com perfil nutricional, apelo funcional e alinhadas aos princípios da economia circular.

Palavras-chave: Planejamento de misturas, fibras alimentares, dureza, compostos fenólicos.

4.1 INTRODUÇÃO

O mercado global de produtos alimentícios tem passado por transformações, impulsionado pela crescente conscientização dos consumidores sobre a relação entre dieta e saúde. Neste sentido, o segmento de produtos isentos de glúten é um dos que necessita ser aprimorado. Antes este mercado era destinado apenas a consumidores com doença celíaca, sensibilidade ao glúten não celíaca e alergia ao trigo. Mas a demanda tem-se expandido, envolvendo também consumidores que buscam um estilo de vida percebido como mais saudável (Hossain *et al.*, 2025). Essa tendência reflete em mudanças significativas nos padrões de consumo e impõe à indústria alimentícia o desafio contínuo de inovar e melhorar a qualidade de seus produtos (Capriles *et al.*, 2023).

O glúten, um grupo de proteínas presentes no trigo, é o principal responsável pelas propriedades viscoelásticas que conferem estrutura, extensibilidade e leveza a produtos de panificação, como as massas de pizza. Sua ausência representa um desafio tecnológico complexo para panificados, exigindo a busca por ingredientes alternativos capazes de replicar suas funcionalidades (Matos; Sanz; Rosell, 2014).

Contudo, apesar da evolução na variedade de produtos disponíveis, a qualidade nutricional e sensorial de muitas opções isentas de glúten, ainda é um ponto crítico. Uma análise da composição desses alimentos realizada por Melini e Melini (2019) revela que, frequentemente, são formulados a base de amidos e farinhas de baixo valor proteico, resultando em produtos com teores baixos de fibras, proteínas, vitaminas do complexo B e minerais essenciais, como ferro e zinco, quando comparados aos seus análogos com glúten.

Essas questões nutricionais são observadas como uma das maiores preocupações para indivíduos que dependem exclusivamente dessa dieta a longo prazo, como no caso dos celíacos. Muitos produtos isentos de glúten podem apresentar índice glicêmico mais elevado e maior teor de gorduras saturadas, utilizadas para compensar a perda de textura e palatabilidade (Santos *et al.*, 2019).

Nesse contexto, emerge uma oportunidade de inovação por meio da valorização de subprodutos da agroindústria, alinhando a melhoria da qualidade dos alimentos isentos de glúten com os princípios da economia circular. Desta forma, a quirera de arroz quando utilizada em forma de farinha pode contribuir para a melhoria da textura, aumento da capacidade de retenção de água, resultando em massas mais

macias e úmidas (Capriles; Arêas, 2014). É uma fonte de proteínas de alta qualidade, lipídios benéficos e uma gama de compostos fitoquímicos, incluindo tocoferóis, tocotrienóis e γ -orizanol, que possuem notável atividade antioxidante (Zhu; Li; Li, 2022).

As hastes de palmito pupunha (*Bactris gasipaes* Kunt), contém partes inadequadas para o tratamento de minimamente processados e conservas, gerando grandes quantidades de resíduos e subprodutos. A transformação deste material em farinhas pode disponibilizar um ingrediente inovador no mercado, pois apresenta em sua composição minerais, fibras alimentares e compostos fenólicos (Clement; Cristo; Coppens, 2022).

O bagaço de mandioca, principal resíduo da indústria de extração de amido, é gerado em grandes quantidades, caracterizado por seu elevado teor de fibras e amido (Fiorda *et al.*, 2013). A sua aplicação em produtos isentos de glúten tem-se mostrado eficiente para melhorar as propriedades reológicas das massas e as características texturais do produto, como maciez e umidade, além de aumentar o conteúdo de fibras dietéticas. A inclusão do bagaço de mandioca não só melhora o perfil nutricional da massa de pizza, como também favorece a textura, superando o problema do esfarelamento comum em produtos isentos de glúten (Gomes *et al.*, 2024).

A valorização de subprodutos agroindustriais é um dos fundamentos da economia circular, modelo que busca minimizar o desperdício e maximizar o aproveitamento de recursos, além de possibilitar a investigação de ingredientes para produtos alimentícios com apelo funcional (Bekavac *et al.*, 2025).

Portanto, formulações de massas de pizza combinando os subprodutos de arroz, mandioca e palmito pupunha, além de possibilitar a obtenção de um produto com atributos nutricionais e sensoriais satisfatórios, traz um apelo sustentável à esta proposta, que constitui o objetivo deste estudo.

4.2 OBJETIVOS

4.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver massas de pizza isentas de glúten a partir de farinhas subprodutos do processamento do arroz, palmito pupunha e mandioca.

4.2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar diferentes formulações de massas, variando as proporções das farinhas de subprodutos.
- Determinar a composição proximal e avaliar as propriedades tecnológicas das massas.
- Avaliar o teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante das massas.
- Aplicar a metodologia de superfície de resposta e desejabilidade para tratamento dos dados obtidos.
- Definir a formulação ótima com base na desejabilidade.

4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

4.3.1 Obtenção das Farinhas

As farinhas foram obtidas conforme o item 3.3.1 apresentado no capítulo 3.

4.3.2 Obtenção das Massas de Pizza

Foram realizados testes a fim de definir as proporções das matérias-primas, insumos e/ou parâmetros de processo a serem utilizados na elaboração de massas de pizza. As formulações foram elaboradas com base nas características das farinhas dos subprodutos de palmito, mandioca e arroz, visto que cada uma apresenta propriedades tecnológicas e nutricionais distintas, que influenciam o comportamento das massas em termos de estrutura, hidratação e textura.

Os testes demonstraram a inviabilidade de formulações compostas exclusivamente por farinha de subproduto de palmito ou de mandioca, devido à textura quebradiça resultante do alto teor de fibras. Em contrapartida, a farinha de subproduto de arroz mostrou-se necessária em todas as formulações, pois garantiu sabor neutro e homogeneidade à massa. Diante dessas limitações técnicas, adotou-se um delineamento experimental de misturas com restrições.

O planejamento de misturas com restrição é uma técnica estatística de planejamento de experimentos usada para otimizar a composição de um produto (mistura) quando há limites (restrições) nas proporções dos componentes (Neto; Scarminio; Bruns 2010).

Desta forma, o desenvolvimento das formulações foi baseado em um planejamento de misturas para regiões restritas. Inicialmente, estabeleceram-se os limites inferiores de restrição (li) para cada componente, fundamentados na viabilidade tecnológica da mistura, relacionando a capacidade de formação de massa e quantidade mínima de fibras.

Os componentes avaliados foram farinha de subproduto de mandioca (FM), farinha de subproduto de palmito (FP) e farinha de subproduto de arroz (FA). Devido à natureza dessas matérias-primas e a impossibilidade de elaborar formulações com 100% de cada farinha, a região experimental não compreendeu o triângulo equilátero completo (0 a 100%), mas uma sub-região do simplex definida pelos seguintes limites mínimos:

Farinha de subproduto de mandioca (FM): 15%

Farinha de subproduto de palmito (FP): 10%

Farinha de subproduto de arroz (FA): 50%

Baseado nos limites mínimos de cada farinha, os valores reais para cada formulação estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 4.1 - Valores reais de cada farinha para cada formulação de pizzas

Ensaio	FM	FP	FA
1	15	10	75
2	30	10	60
3	15	20	65
4	30	20	50
5	30	15	55
6	20	20	60
7	15	15	70
8	20	10	70
9	20	15	65
10	20	15	65

Notas: FM - Farinha de subproduto de mandioca; FP - Farinha de subproduto de palmito pupunha; FA - Farinha de subproduto de arroz.

Fonte: A autora (2025).

Entretanto, para reduzir a multicolinearidade entre os componentes e permitir o ajuste adequado do modelo estatístico, os limites reais foram normalizados para pseudocomponentes (x'_i). A redefinição dos componentes é chamada de pseudocomponentes, esta transformação redefine a sub-região restrita como um novo sistema simplex, facilitando a construção do delineamento e o ajuste do modelo conforme Neto, Scarminio e Bruns (2010).

Os pseudocomponentes x'_i foram definidos utilizando as transformações abaixo (Equação 1 e 2) e na Tabela 2 estão apresentados os resultados.

$$x'_i = \frac{(x_i - l_i)}{(1 - L)} \quad (1)$$

$$L = \sum_{i=1}^3 l'_i FM + l'_i FP + l'_i FA \quad (2)$$

Onde: Componentes Originais são x_i FM (Farinha de subproduto de mandioca), x_i FP (Farinha de subproduto de palmito), x_i FA (Farinha de subproduto de arroz) em fração mássica.

Limites inferiores: l'_i FM = 0,15; l'_i FP = 0,10; l'_i FA = 0,50.

Soma dos limites inferiores (L) = 0,75.

Sendo imposta a restrição matemática de que a soma das frações deve ser igual à [FM + FP + FA = 1].

Tabela 4.2 - Transformação dos valores reais em pseudocomponentes

Ensaio	FM (x'_1)	FP (x'_2)	FA (x'_3)
	$x'_i \frac{(x_i - l_i)}{(1 - L)}$		
1	$x' = \frac{(0,15 - 0,15)}{0,25} = 0,00$	$x' = \frac{(0,10 - 0,10)}{0,25} = 0,00$	$x' = \frac{(0,75 - 0,50)}{0,25} = 1,00$
2	$x' = \frac{(0,30 - 0,15)}{0,25} = 0,60$	$x' = \frac{(0,10 - 0,10)}{0,25} = 0,00$	$x' = \frac{(0,60 - 0,50)}{0,25} = 0,40$
3	$x' = \frac{(0,15 - 0,15)}{0,25} = 0,00$	$x' = \frac{(0,20 - 0,10)}{0,25} = 0,40$	$x' = \frac{(0,65 - 0,50)}{0,25} = 0,60$
4	$x' = \frac{(0,30 - 0,15)}{0,25} = 0,60$	$x' = \frac{(0,20 - 0,10)}{0,25} = 0,40$	$x' = \frac{(0,50 - 0,50)}{0,25} = 0,00$
5	$x' = \frac{(0,30 - 0,15)}{0,25} = 0,60$	$x' = \frac{(0,15 - 0,10)}{0,25} = 0,20$	$x' = \frac{(0,55 - 0,50)}{0,25} = 0,20$
6	$x' = \frac{(0,20 - 0,15)}{0,25} = 0,20$	$x' = \frac{(0,20 - 0,10)}{0,25} = 0,40$	$x' = \frac{(0,60 - 0,50)}{0,25} = 0,40$
7	$x' = \frac{(0,15 - 0,15)}{0,25} = 0,00$	$x' = \frac{(0,15 - 0,10)}{0,25} = 0,20$	$x' = \frac{(0,70 - 0,50)}{0,25} = 0,80$
8	$x' = \frac{(0,20 - 0,15)}{0,25} = 0,20$	$x' = \frac{(0,10 - 0,10)}{0,25} = 0,00$	$x' = \frac{(0,70 - 0,50)}{0,25} = 0,80$
9	$x' = \frac{(0,20 - 0,15)}{0,25} = 0,20$	$x' = \frac{(0,15 - 0,10)}{0,25} = 0,20$	$x' = \frac{(0,65 - 0,50)}{0,25} = 0,60$
10	$x' = \frac{(0,20 - 0,15)}{0,25} = 0,20$	$x' = \frac{(0,15 - 0,10)}{0,25} = 0,20$	$x' = \frac{(0,65 - 0,50)}{0,25} = 0,60$

Notas: FM - Farinha de subproduto de mandioca; FP - Farinha de subproduto de palmito pupunha; FA - Farinha de subproduto de arroz; x'_1 ; x'_2 ; x'_3 - Pseudocomponentes.

Fonte: A autora (2025)

O planejamento de mistura com restrições para três componentes foi composto por oito pontos de mistura distribuídos na região experimental viável e duas repetições no ponto central, totalizando dez formulações. As repetições no ponto central foram

utilizadas para a estimativa do erro experimental puro e para a realização do teste de falta de ajuste do modelo.

A equação de Scheffé (Equação 3) em termos dos pseudocomponentes foi utilizada para modelar e prever o comportamento das variáveis resposta em função das proporções dos componentes da sua mistura de farinhas (mandioca, palmito e arroz).

$$y = \beta_1 x'_1 + \beta_2 x'_2 + \beta_3 x'_3 + \beta_{12} x'_1 x'_2 + \beta_{13} x'_1 x'_3 + \beta_{23} x'_2 x'_3 \quad (3)$$

Onde:

x'_1 é FM (fração de pseudocomponente de farinha de subproduto de mandioca).

x'_2 é FP (fração de pseudocomponente de farinha de subproduto de palmito).

x'_3 é FA (fração de pseudocomponente de farinha de subproduto de arroz).

Os termos lineares (β_1 , β_2 , β_3) representam o efeito individual de cada componente sobre a resposta, enquanto os termos de interação (β_{12} , β_{13} , β_{23}) indicam possíveis efeitos de sinergismo ou antagonismo entre as farinhas.

A significância global do modelo foi testada por meio da análise de variância, utilizando o teste F ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Esse procedimento permitiu verificar se o modelo explica uma parcela significativa da variabilidade da resposta em relação ao erro experimental. Foram calculados os coeficientes de determinação (R^2) e os coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}), com o objetivo de quantificar a proporção da variação do teor da variável explicada pelo modelo matemático ajustado.

A soma dos quadrados residuais foi decomposta em componentes de erro puro e falta de ajuste, conforme a metodologia de análise de variância para modelos de mistura, para verificar se o modelo quadrático é adequado para descrever os dados experimentais. A partir do modelo ajustado, foi gerada uma malha de pontos dentro da região experimental válida, respeitando a restrição de mistura ($FM + FP + FA = 1$). A Tabela 3 apresenta os valores reais e os pseudocomponentes para cada ensaio.

Tabela 4.3 - Planejamento de misturas com restrições

Ensaio	Valores Reais			Pseudocomponentes		
	FM (g)	FP (g)	FA (g)	FM (x'₁)	FP (x'₂)	FA (x'₃)
1	15	10	75	0,00	0,00	1,00
2	30	10	60	0,60	0,00	0,40
3	15	20	65	0,00	0,40	0,60
4	30	20	50	0,60	0,40	0,00
5	30	15	55	0,60	0,20	0,20
6	20	20	60	0,20	0,40	0,40
7	15	15	70	0,00	0,20	0,80
8	20	10	70	0,20	0,00	0,80
9	20	15	65	0,20	0,20	0,60
10	20	15	65	0,20	0,20	0,60

Notas: FM - Farinha de subproduto de mandioca; FP - Farinha de subproduto de palmito pupunha; FA - Farinha de subproduto de arroz; x'₁; x'₂; x'₃ - Pseudocomponentes.

Fonte: A autora (2025).

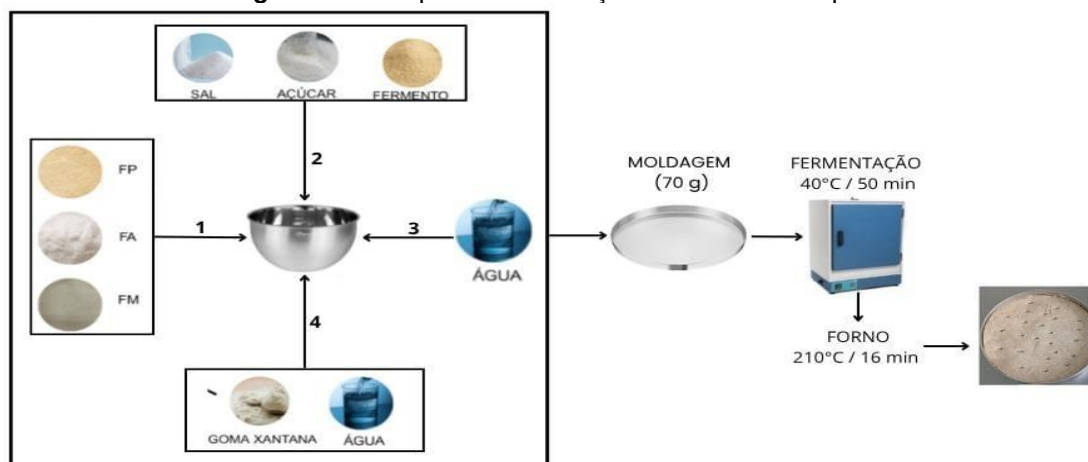
Além das farinhas, foram utilizados goma xantana (2%), fermento biológico instantâneo (6%) (Fleischmann), sal (2%), açúcar refinado (4%), nas mesmas proporções em todas as formulações. A quantidade de água foi ajustada, variando de 60 a 120 mL para cada formulação, a fim de compensar as diferentes taxas de absorção de cada mistura de farinhas e alcançar uma consistência similar.

O processo de mistura iniciou-se pela homogeneização de todos os ingredientes secos (farinhas, sal, açúcar e fermento). Em seguida, foi adicionada a água necessária para cada formulação a 34°C para ativar o fermento e o processo de homogeneização foi realizado manualmente. A goma xantana foi hidratada em um recipiente separado com 60 mL de água fervente, promovendo sua solubilização. Por último, foi adicionada à mistura, garantindo a distribuição na massa.

As massas foram divididas em porções de 70 g e moldadas em formato de discos, utilizando fôrmas de alumínio 12 cm x 1 cm. Em seguida, as fôrmas foram cobertas com um pano e colocadas para fermentar em estufa New Lab Modelo: NL-81-150, a 40°C por 50 min. Para evitar o ressecamento das massas, foi inserido um recipiente com água no interior da estufa.

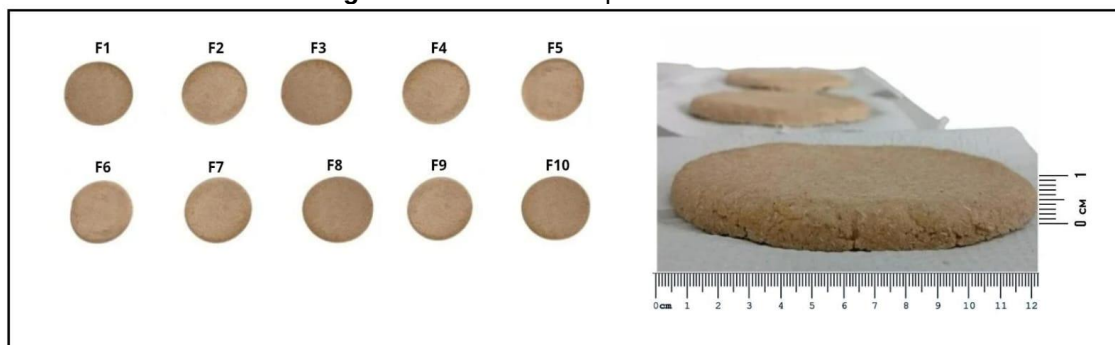
O forno foi pré-aquecido por 10 min a 240°C e os discos de pizza foram assados por 16 min a 210°C. O processo pode ser observado na Figura 1 e as massas elaboradas na Figura 2. Para facilitar o assamento, foram perfuradas na superfície.

Figura 4.1 - Etapas de elaboração das massas de pizza



Fonte: A autora (2025).

Figura 4.2 - Massas de pizzas elaboradas



Fonte: A autora (2025).

Uma amostra comercial de massa de pizza com glúten foi utilizada para comparação dos resultados da composição e das características tecnológicas.

4.3.3 Composição Proximal das Massas de Pizza

A composição proximal das massas foi realizada por metodologias oficiais propostas pela AOAC (2005) citadas no item 3.3.2 apresentado no capítulo 3. Assim como as fibras alimentares que foram determinadas utilizando o método enzimático-gravimétrico conforme descrito pela AOAC (nº 985.29). Os carboidratos foram calculados por diferença dos demais componentes.

Para calcular o valor energético (VEA), foram usados fatores de conversão para carboidratos 4 kcal (ou 17 kJ), lipídios 9 kcal (ou 37 kJ), e proteínas 4 kcal (ou 17 kJ). Para o cálculo do valor energético com inclusão de fibras (VNE) adicionou-se o fator de conversão 2 kcal (8 kJ) em relação a cada grama de fibras, estando alinhadas com a IN nº 75/2020 e com Menezes *et al.* (2016).

4.3.4 Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante

Determinados conforme metodologias descritas no item 3.3.3 do capítulo 3.

4.3.5 Características Tecnológicas e Propriedades Mecânicas

4.3.5.1 Atividade de água

A atividade de água (a_w) foi determinada a partir de 1 g da amostra acomodada no porta amostra do equipamento AquaLab 3TE, o qual foi previamente calibrado com amostra de carvão padrão fornecida pelo fabricante à temperatura de 25°C.

4.3.5.2 Análise colorimétrica

A avaliação da coloração das massas foi realizada de acordo com a metodologia citada no item 3.3.4.3 do capítulo 3.

4.3.5.3 Índice de expansão

Na análise do índice de expansão, as massas foram moldadas para medição da altura e diâmetro, com o auxílio de um paquímetro de precisão (0,02 mm, INSIZE) (Silva, 2022). O cálculo foi realizado pela Equação 4.

$$\text{Índice de expansão} = \frac{\frac{dpq+apq}{2}}{\frac{dmm+amm}{2}} \quad (4)$$

Onde:

dpq é o diâmetro da massa de pizza (mm)

apq: altura da massa de pizza (mm)

dmm: diâmetro da massa moldada (mm)

amm: altura da massa de pizza moldada (mm)

4.3.5.4 Volume específico

O volume específico (VE) das massas de pizza foi obtido pela razão entre o volume deslocado pelo produto (cm³) e a sua massa (g), de acordo com a Equação 5. Considerou-se o volume final da pizza após o assamento (Vf) e o volume da massa moldada antes do assamento (Vi).

$$VE (cm^3 \cdot g^{-1}) = \frac{Vf - Vi (cm^3)}{Peso da amostra assada (g)} \quad (5)$$

4.3.5.5 Perda de massa no assamento

A avaliação da perda de massa no assamento foi realizada pelo método descrito por Gheno *et al.* (2022). As massas de pizza foram pesadas antes e após serem assadas. Essa comparação permitiu determinar a redução de umidade durante o assamento. Para o cálculo, foi utilizado a Equação 6.

$$Perda de massa = \frac{Peso massa crua - Peso massa assada}{Peso massa crua} \times 100 \quad (6)$$

4.3.5.6 Análise de textura: dureza das massas de pizza

Para a análise de dureza o teste consistiu em duas compressões na amostra, em um movimento repetido. Inicialmente realizou-se a calibração do equipamento com um peso de 5 kg e as configurações de altura foram de acordo com as medidas específicas das amostras analisadas (1,5 cm). O equipamento de modelo TA.XTplus (Stable Micro Systems®, UK) equipado com um probe P36-R foi configurado com os parâmetros de velocidade de pré teste 1,00 mm.s⁻¹, teste de velocidade 5,00 mm.s⁻¹, velocidade de pós teste 5,00 mm.s⁻¹, tempo 5 s (Arribas *et al.*, 2020; El-Sohaimy *et al.*, 2020). Toda a análise foi realizada em quadruplicata utilizando diferentes áreas da amostra.

4.3.6 Análise Estatística

As determinações foram realizadas em triplicata, e os resultados expressos como médias e desvio padrão. A análise estatística foi realizada utilizando o programa R® (R CORE TEAM, 2025). Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e, quando significativa ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com 95% de confiança.

Para o planejamento de misturas com restrições, a qualidade dos modelos foi verificada por meio de Análise de Variância (ANOVA), teste de falta de ajuste e coeficiente de determinação. As análises estatísticas e a construção dos modelos e gráficos foram realizadas no ambiente R utilizando os pacotes *tidyverse*, *rsm*, *mixexp*, *car*, *ggplot2*, *ggtern* e *plotly*.

4.3.7 Avaliação da Desejabilidade

Foram avaliadas as 10 formulações elaboradas, sendo caracterizadas por critérios estabelecidos com o intuito maximizar ou minimizar variáveis dependentes. Utilizou-se o método de desejabilidade de Derringer e Suich (1980) para transformar múltiplas respostas em uma única métrica de otimização. Cada parâmetro foi convertido em uma função de desejabilidade individual (d_i) variando de 0 (completamente indesejável) a 1 (ideal), considerando o objetivo específico para cada variável. Para cálculo de desejabilidade com o intuito de maximização, utilizou-se a Equação 7 e para cálculo com intuito de minimização, utilizou-se a Equação 8.

$$d_{max} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (7)$$

$$d_{min} = \frac{x_{max} - x}{x_{max} - x_{min}} \quad (8)$$

Onde: x é o valor observado do parâmetro.

x_{min} é o menor valor encontrado entre todas as formulações.

x_{max} é o maior valor encontrado entre todas as formulações.

Para cálculo de desejabilidade de alguma variável com valor alvo, utilizou-se a Equação 9.

$$d_{(v)} = 1 - \frac{v - T}{\max(|v_i - T|)} \quad (8)$$

Onde: v é o valor da variável.

T é o valor alvo.

v_i = todos os valores observados da variável.

$\max(|v_i - T|)$ = maior distância encontrada entre qualquer valor e o alvo.

A desejabilidade global (D) para cada formulação foi calculada pela média geométrica das desejabilidades individuais (Equação 10).

$$D_{global} = \left(\prod_{i=1}^n d_i \right)^{\frac{1}{x}} \quad (10)$$

Onde: d_i é desejabilidade individual de cada parâmetro.

$\frac{1}{x}$ raiz (x parâmetros).

Utilizou-se a média geométrica para assegurar que a formulação ótima atenda a todos os critérios de qualidade simultaneamente, uma vez que essa métrica penaliza resultados individuais insatisfatórios, impedindo que um alto desempenho em um parâmetro compense a falha do outro.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Composição Proximal dos Discos de Pizza

Os resultados das análises de composição proximal podem ser observados na Tabela 4. A Tabela 5 expressa os resultados da modelagem estatística para avaliar o efeito das farinhas de subprodutos de mandioca (FM, X'_1), de palmito (FP, X'_2) e de arroz (FA, X'_3) sobre as características de composição proximal das massas de pizza isentas de glúten.

Tabela 4.4 - Composição proximal das massas de pizzas elaboradas

FORMULAÇÃO				DETERMINAÇÕES					
	FM (x'1)	FP (x'2)	FA (x'3)	Umidade (g.100g ⁻¹)	Proteínas (g.100g ⁻¹)	Lipídios (g.100g ⁻¹)	Cinzas (g.100g ⁻¹)	Fibras alimentares (g.100g ⁻¹)	CHO (g.100g ⁻¹)
1	15(0,00)	10(0,00)	75(1,00)	33,24±0,01	6,43±0,05	3,11±0,06	2,03±0,07	12,89±1,10	45,30
2	30(0,60)	10(0,00)	60(0,40)	38,71±0,01	4,89±0,22	3,14±0,05	2,18± 0,09	14,03±1,35	40,05
3	15(0,00)	20(0,40)	65(0,60)	36,34±0,03	5,34±0,02	3,11±0,07	2,06± 0,12	14,85±1,20	41,30
4	30(0,60)	20(0,40)	50(0,00)	35,95±0,02	4,00±0,04	3,21±0,18	1,84±0,08	19,50±1,40	33,54
5	30(0,60)	15(0,20)	55(0,20)	42,23±0,02	4,01±0,01	3,19±0,01	2,33±0,07	17,43±0,95	33,81
6	20(0,20)	20(0,40)	60(0,40)	42,93±0,02	4,28±0,24	3,11±0,03	2,01±0,10	14,21±1,25	35,45
7	15(0,00)	15(0,20)	70(0,80)	40,22±0,05	4,53±0,07	3,20±0,10	2,03±0,05	8,95±1,70	44,07
8	20(0,20)	10(0,00)	70(0,80)	42,99±0,02	5,19±0,41	3,25±0,10	2,12±0,15	10,89±1,50	38,56
9	20(0,20)	15(0,20)	65(0,60)	41,15±0,01	4,65±0,35	3,29±0,06	2,13±0,13	14,03±0,90	37,75
10	20(0,20)	15(0,20)	65(0,60)	40,81±0,04	4,81±0,01	3,23±0,01	2,20±0,05	14,98±1,10	37,13
CG Come rcial				17,87±0,03	8,00±0,25	5,50±0,20	2,25±0,12	1,70±1,20	57,00

Notas: FM - Farinha de subproduto de mandioca; FP - Farinha de subproduto de palmito pupunha; FA - Farinha de subproduto de arroz; x'1, x'2, x'3 - valores em pseudocomponentes; CG - Com glúten comercial; CHO = carboidratos.

Fonte: A autora (2025).

Tabela 4.5 - Coeficientes de efeito linear, coeficientes de determinação (R^2) e níveis descritivos (p) para a composição proximal das massas de pizza isentas de glúten

Coeficientes	Umidade	Proteínas	Lipídios	Cinzas	Fibras	CHO	VNA	VNE
$\beta_1 (x'_1)$ (FM)	22,05	4,45	2,85	2,27	17,49	39,17	233,08	268,36
$\beta_2 (x'_2)$ (FP)	9,22	3,75	2,01	0,09	22,10	28,88	218,39	262,02
$\beta_3 (x'_3)$ (FA)	34,60	7,13	3,15	1,98	11,33	53,19	205,98	229,02
R^2	0,99	0,98	0,98	0,99	0,97	0,99	0,99	0,97
p	0,015	0,025	0,004	0,013	0,000	0,010	0,008	0,009

Notas: Farinha de subproduto de mandioca (FM); Farinha de subproduto de palmito (FP); Farinha de subproduto de arroz (FA); x'_1 , x'_2 , x'_3 - valores em pseudocomponentes; β_1 , β_2 , β_3 - coeficientes lineares; CHO = Carboidratos; VNA - Valor energético sem as fibras; VNE - Valor energético com as fibras.

Fonte: A autora (2025).

Todos os modelos para as variáveis respostas apresentadas na Tabela 5 foram significativos, pois apresentaram valores de $p < 0,05$. Os coeficientes de determinação encontrados foram elevados, indicando que os modelos explicam entre 97 e 99% da variação dos dados.

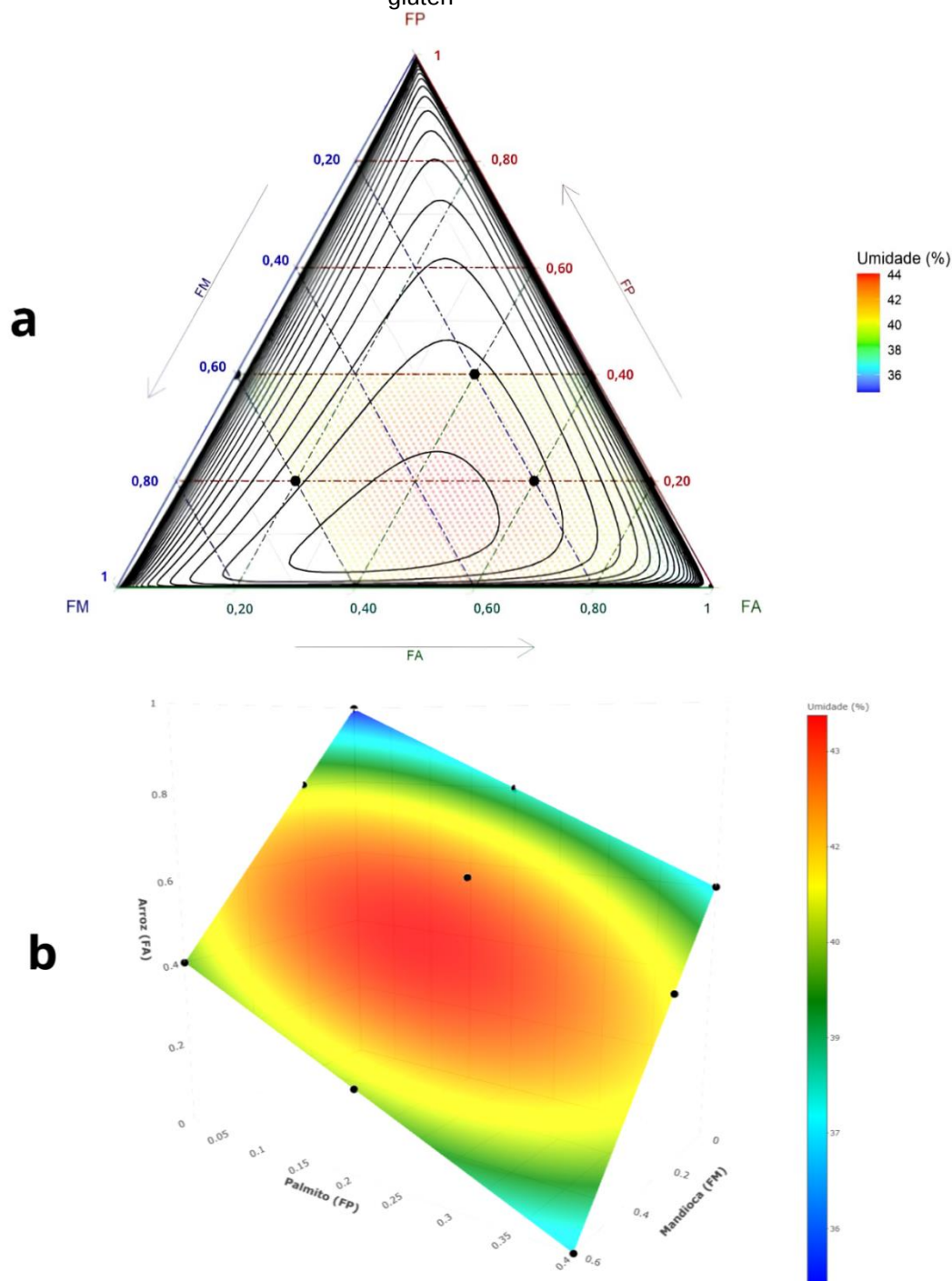
Os resultados dos coeficientes lineares revelam que a farinha de subproduto de arroz (x'_3) foi o componente predominante para proteínas e carboidratos. As fibras foram dependentes da farinha de subproduto de palmito (x'_2), que apresentou o coeficiente de efeito mais expressivo para esta variável (22,10), seguido pela farinha de subproduto de mandioca (x'_1) (17,49).

As farinhas de arroz e mandioca demonstraram ser as principais influências para o aumento dos teores de umidade, lipídios e cinzas. Outro resultado relevante encontrado foram os coeficientes lineares positivos, indicando que cada uma das farinhas, contribuíram para o incremento das variáveis analisadas, demonstrando que nenhum dos ingredientes atuam de forma negativa, quando analisadas individualmente.

As superfícies de resposta foram construídas a partir do modelo de regressão completo, incluindo todos os termos lineares e de interação, de modo a garantir a correta representação geométrica da região experimental e das interações entre os componentes da mistura. A significância estatística de cada coeficiente foi indicada por asteriscos (*) para $p < 0,05$.

A Figura 3 a e b apresentam o gráfico ternário e a superfície de resposta bem como a equação gerada para predição dos resultados encontrados para o teor de umidade das massas de pizza.

Figura 4.3 - Efeito das farinhas de subprodutos no teor de umidade das massas de pizza isentas de glúten



$$y = 22,05 \cdot x'_1 + 9,52 \cdot x'_2 + 34,61 \cdot x'_3 + 82,13 \cdot x'_1 x'_2 + 52,91 \cdot x'_1 x'_3 + 52,57 \cdot x'_2 x'_3$$

Notas: a - Gráfico ternário; b - superfície de resposta.

Para a variável umidade, o modelo apresentou qualidade estatística com um R^2 de 0,99, que explica 99% da variação observada nos dados experimentais. A significância do modelo (p -valor 0,015) e a falta de ajuste ($p > 0,05$), confirmou que existe uma relação comprovada entre a composição da mistura e o teor de umidade final da pizza elaborada.

A sensibilidade da resposta à variação dos componentes pode ser inferida pela densidade das linhas de contorno no gráfico ternário. De acordo com Montgomery (2017), regiões com maior proximidade entre as linhas de contorno indicam zonas onde pequenas alterações nas proporções da mistura resultam em alterações significativas na variável resposta, já áreas com maior espaçamento sugerem regiões de maior robustez e estabilidade do modelo.

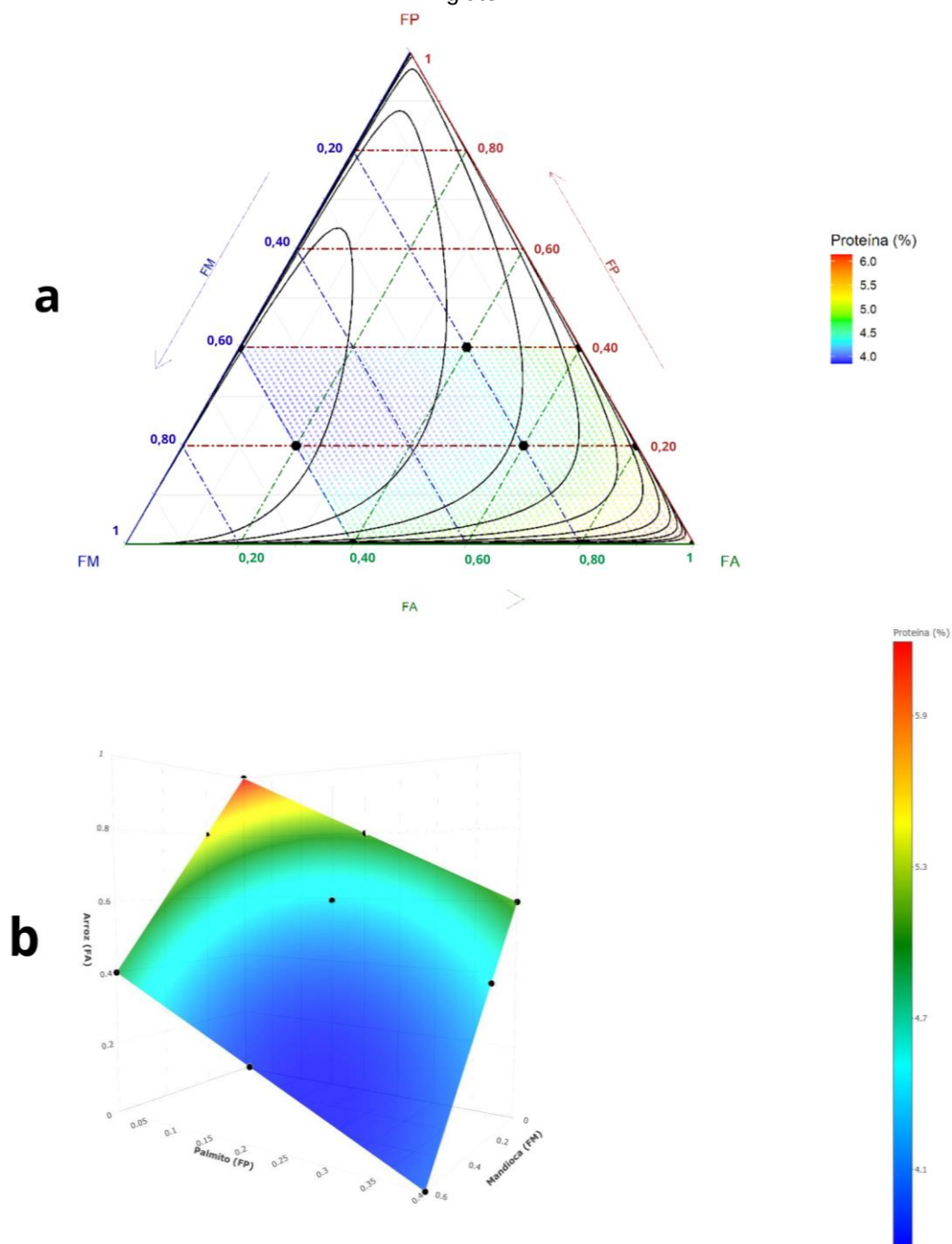
Assim, observou-se na Figura 3a que as linhas formam elipses que se fecham na região inferior do gráfico. A tendência dessas linhas mostra que o teor máximo de umidade ocorreu em uma região entre alta proporção da farinha de subproduto de arroz (FA) e quantidades intermediárias de farinha de subproduto de mandioca (FM). Resultados comprovados por seus coeficientes lineares apresentados, onde a FA apresentou maior coeficiente (x'_3 34,60) seguida pela FM (x'_1 22,95), sendo os componentes que mais contribuíram para o aumento do teor de umidade.

Pode-se notar na Figura 3b os valores no vértice da farinha de subproduto de palmito (FP), apresentaram uma queda no teor umidade com cores verde e azul. As linhas ficaram mais próximas umas das outras conforme se aproximaram dos vértices puros das farinhas, demonstrando que pequenas variações na formulação nessas áreas podem causar mudanças significativas no teor de umidade final.

Na Tabela 4, a umidade das formulações variou significativamente, de 33,24 g.100g⁻¹ a 42,93 g.100g⁻¹, superior ao encontrado para a formulação comercial com glúten que apresentou 17,87 g.100g⁻¹. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de as farinhas utilizadas para substituir a farinha de trigo, como as de subproduto de mandioca e de arroz, apresentarem alta capacidade de absorção de água, o que resulta em massas com maior teor de umidade (Culetu *et al.*, 2021).

A Figura 4a revelou que a composição das farinhas de subprodutos influenciou significativamente o perfil proteico das massas. Ao observar as linhas de contorno, pode-se observar que se inclinam em direção ao vértice da farinha de subproduto de arroz (FA), demonstrando que a FA foi a principal responsável pelo aumento do conteúdo proteico.

Figura 4.4 - Efeito das farinhas de subprodutos no teor de proteínas das massas de pizza isentas de glúten



$$y = 5,46 \cdot x'_1 + 11,75 \cdot x'_2 + 6,14 \cdot x'_3 - 16,37 \cdot x'_1 x'_2 - 3,46 \cdot x'_1 x'_3 - 13,70 \cdot x'_2 x'_3$$

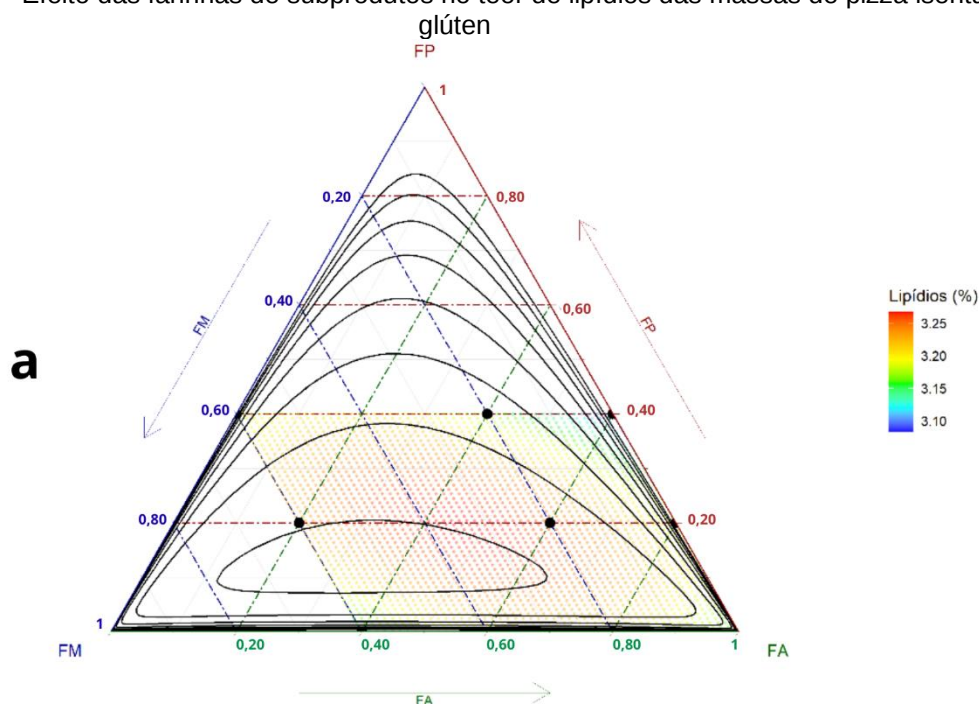
Notas: a - Gráfico ternário; b - superfície de resposta.

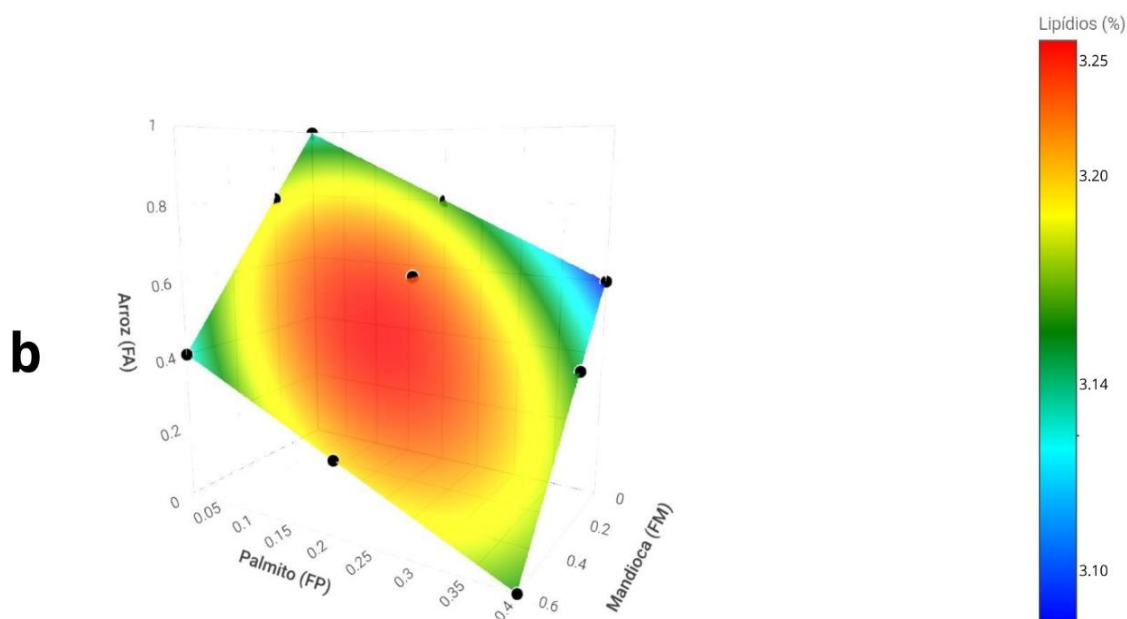
As farinhas de subprodutos de mandioca (FM) e palmito (FP) mostraram impacto significativo no perfil proteico das massas de pizza isentas de glúten. A análise por superfície de resposta (Figura 4b), confirmou que a adição dessas duas farinhas não contribuiu para o aumento no teor de proteínas, podendo ser observada pela presença da cor azul que representa os menores teores de proteínas em seus

vértices. O modelo apresentou R^2 0,98 e p-valor (0,025), demonstrando a validação do método.

Em estudo realizado por Brum *et al.* (2000), ao avaliarem a composição dos subprodutos do beneficiamento de arroz, relataram os teores de proteínas das quireras variando de 7,71 a 8,72 g.100g⁻¹. Desta forma, os teores de proteínas encontrados no presente estudo, estão entre 3,5 e 6,0 g.100g⁻¹, sendo consistentes com a faixa de 2,5 a 7,5 g.100g⁻¹ observado por Sciarini *et al.* (2010) em análise da composição de pães isentos de glúten comerciais. Esses valores são positivos frente às limitações proteicas típicas de produtos isentos de glúten, demonstrando que a farinha de quirera de arroz agiu incrementando esse perfil das formulações (Phongthai *et al.*, 2017).

Figura 4.5 - Efeito das farinhas de subprodutos no teor de lipídios das massas de pizza isentas de glúten





$$y = 2,86 * x'_1 + 2,02 * x'_2 + 3,15 * x'_3 + 2,74 x'_1 x'_2 + 0,69 x'_1 x'_3 + 1,61 x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

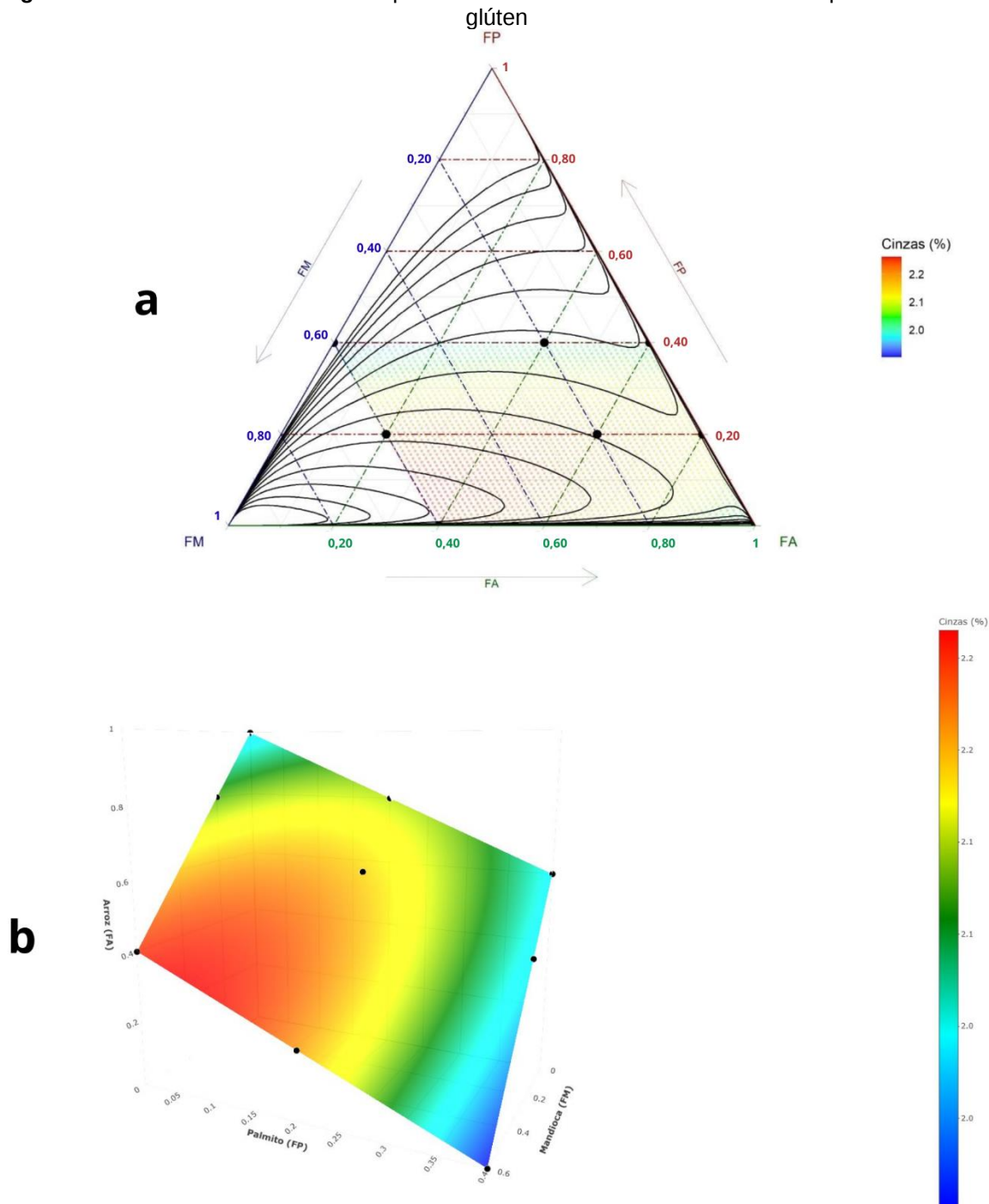
Com base nos resultados, o teor de lipídios foi influenciado pelos componentes da formulação (FM, FP e FA). Entre eles, a FA apresentou o maior coeficiente estimado (x'_3 3,15), indicando maior contribuição para o aumento do teor lipídico, seguido por FM (x'_1 2,85) e FP (x'_2 2,01). A alta qualidade do ajuste do modelo é evidenciada pelos elevados valores de R^2 ajustado (0,98), p-valor de 0,004 e pela ausência de falta de ajuste ($p > 0,05$), indicando que o modelo descreveu o comportamento experimental dos lipídios.

Ao analisar o gráfico ternário apresentado na Figura 5a, observou-se a formação de linhas de contorno com tendência a formatos mais circulares, indicando a existência de uma região de máximo local, na qual o teor de lipídios é favorecido por proporções específicas dos componentes da mistura, região essa que contempla a utilização da FA, FM e FP. Além da visualização através das linhas de contorno, esse comportamento foi confirmado pela Figura 5b e pela equação gerada.

A modelagem estatística para o conteúdo de cinzas apresentada na Tabela 5 demonstrou alto ajuste, com um coeficiente de determinação R^2 de 0,99, sendo capaz de explicar 99% da variabilidade observada nos dados, conferindo alta confiabilidade às predições. A significância do modelo foi reforçada pelo p-valor de 0,0131 ($p < 0,05$),

confirmando que as variáveis independentes exercem efeito significativo sobre as cinzas.

Figura 4.6 - Efeito das farinhas de subprodutos no teor de cinzas das massas de pizza isentas de glúten



$$y = 2,28 * x'_1 + 0,09 x'_2 + 1,98 * x'_3 + 2,07 x'_1 x'_2 + 0,34 x'_1 x'_3 + 3,25 x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

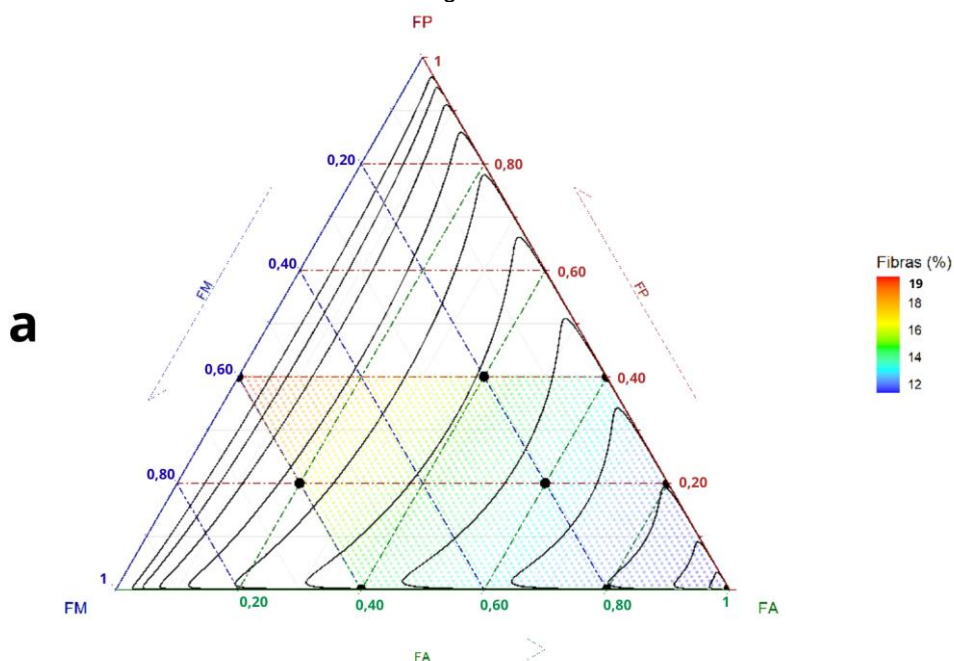
A Figura 6a apresenta linhas de contorno que tendem aos vértices das farinhas de subproduto de mandioca (FM) e de arroz (FA), assim como seus coeficientes que indicam que a FM foi a principal contribuinte para o do teor de cinzas nas formulações

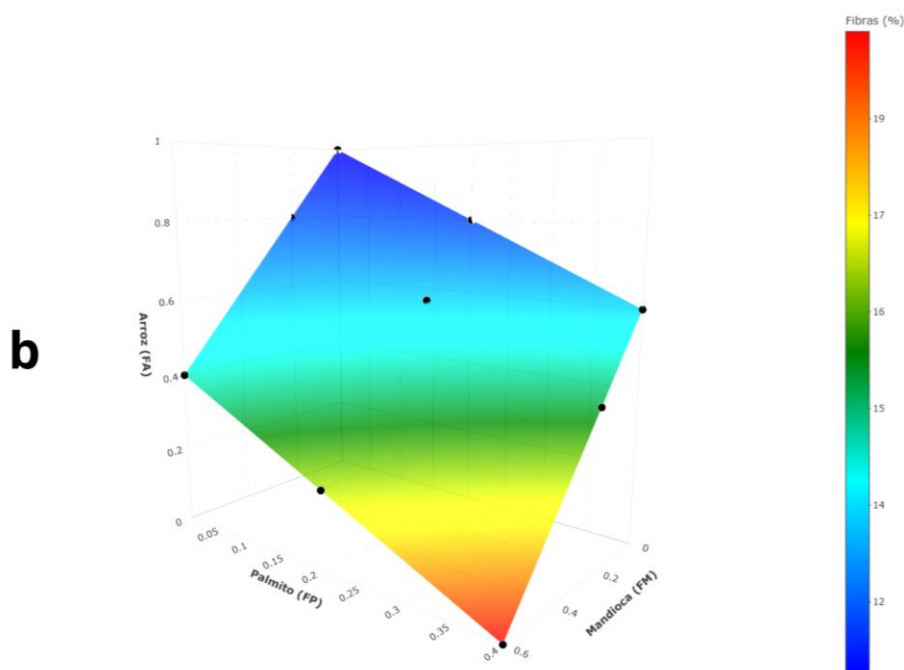
(x'_1 2,27), seguida pela (FA) (x'_3 1,98), e a equação correspondente. O mesmo comportamento foi comprovado pela Figura 6b, onde à medida que se adicionou maiores porções da farinha de subproduto de palmito as cores na superfície de resposta passaram para verde e azul, representando os menores teores de cinzas no experimento.

Na Figura 7 a e b e correspondente equação, pode-se observar a superfície de resposta obtida para variável fibras das pizzas elaboradas. Os coeficientes de regressão da Tabela 5, demonstram que as farinhas de subprodutos de palmito pupunha (FP) e de mandioca (FM) apresentaram os maiores coeficientes positivos para o parâmetro fibras (x'_2 22,10 e x'_1 17,49), respectivamente.

Em contrapartida, a farinha de subproduto de arroz (FA) apresentou o menor coeficiente (x'_3 11,33), indicando que sua contribuição para o enriquecimento de fibras foi inferior às demais. O alto valor de R^2 (0,97) e o p-valor significativo (0,000) confirmaram que o modelo matemático é preditivo para descrever esse comportamento.

Figura 4.7 - Efeito das farinhas de subprodutos no teor de cinzas das massas de pizza isentas de glúten





$$y = 17,49 x'_1 + 22,11 x'_2 + 11,33 x'_3 + 2,19 x'_1 x'_2 - 2,81 x'_1 x'_3 - 9,45 x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

A interação entre os três componentes pode ser visualizada no gráfico ternário apresentado. A proximidade e inclinação das linhas de contorno em direção ao vértice FM e aos valores mais altos da FP indicou uma maior sensibilidade da massa a essas farinhas. O gradiente de cores indicou aumento do teor de fibras, evidenciando que a predominância da tonalidade vermelha, nas regiões de maior concentração de farinhas de subprodutos palmito (FP) e de mandioca (FM), comprovando que esses dois subprodutos foram os principais agentes enriquecedores da massa.

Esse comportamento pode ser observado, ao aproximar-se da região da farinha de subproduto de arroz (FA), a coloração migrou para o azul, com diminuição do teor de fibras quanto mais se adiciona desta farinha na formulação.

Foi possível avaliar que houve variação significativa no teor de fibras alimentares das massas, cujos valores variaram de 8,95 a 19,55 g·100g⁻¹. Estudos como os de Kumar *et al.* (2021) e Djordjevic *et al.* (2022), relataram que, além do aumento de fibras, tal enriquecimento pode conferir melhorias texturais e reduzir a resposta glicêmica ao consumir produtos isentos de glúten.

Do ponto de vista regulatório, o enriquecimento atingido nas formulações desenvolvidas acarreta implicações diretas para a rotulagem nutricional. De acordo com a legislação brasileira vigente (ANVISA IN nº 75/2020 e RDC nº 54/2012), e considerando o Valor Diário de Referência (VDR) de 25 g dia⁻¹ para fibras alimentares,

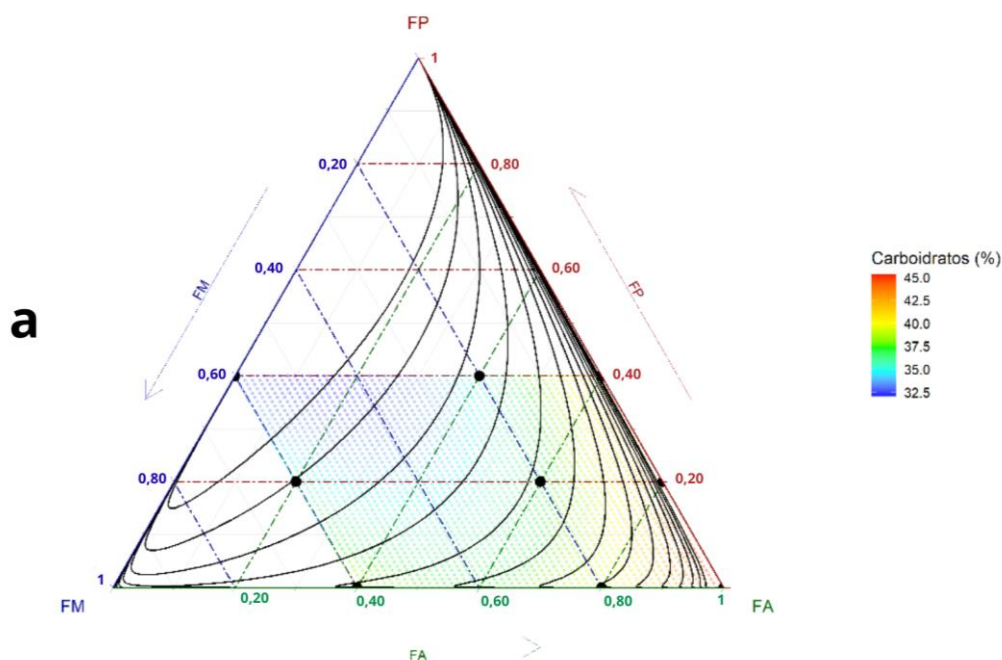
a alegação nutricional “Alto teor de fibras” exige um mínimo de 5,0 g por porção de referência, enquanto a alegação “Fonte de fibras” requer 2,5 g por porção.

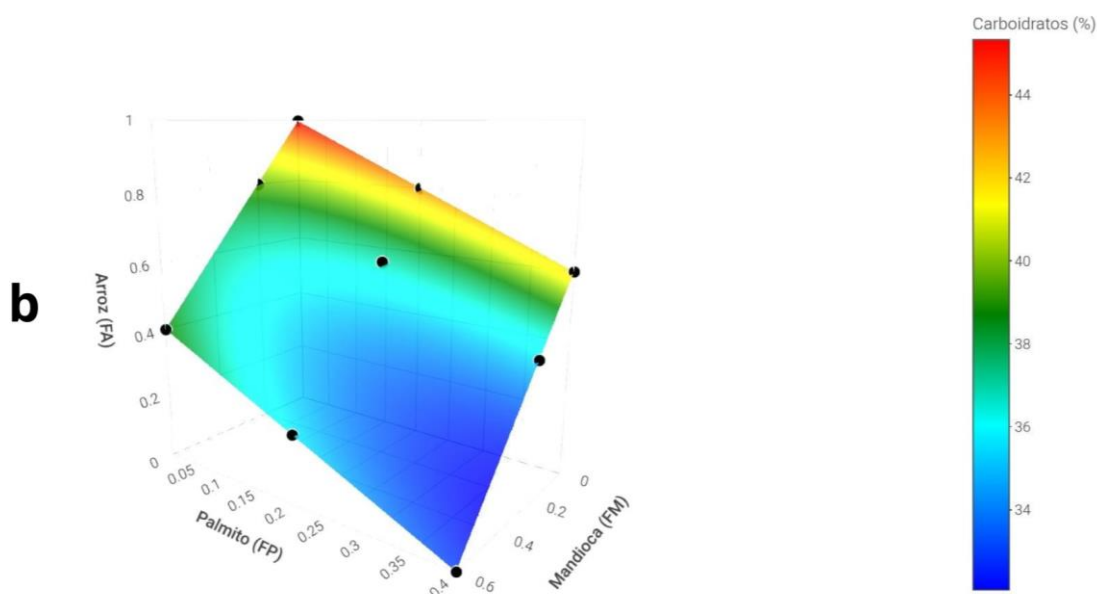
Para massas de pizza, a porção de referência estabelecida pela IN nº 75/2020 é de 40 g. Nesse contexto, a formulação 7, correspondeu a 3,6 g por 40 g, enquadrando-se como “Fonte de fibras”, porém sem atingir o limite mínimo para a alegação de alto teor. As demais formulações, atingiram valores superiores a 5,0 g, qualificando-se para a alegação “Alto teor de fibras”. O produto comercial com glúten, que apresentou 0,68 g de fibras por 40 g não atende aos requisitos mínimos para qualquer alegação nutricional relacionada ao conteúdo de fibras, evidenciando o diferencial nutricional das massas desenvolvidas neste estudo.

A utilização dos subprodutos de mandioca e palmito demonstrou ser uma estratégia eficaz para elaborar massas de pizza isentas de glúten que atuam como fonte de fibras, alinhando-se às demandas por alimentos mais nutritivos e com apelo sustentável.

A Figura 8 apresenta o gráfico ternário e a superfície de resposta gerada para a variável carboidratos, bem como a equação correspondente.

Figura 4.8 - Efeito das farinhas de subprodutos no teor de carboidratos das massas de pizzas isentas de glúten





$$y = 45,33 * x'_1 + 43,88 * x'_2 + 53,17 * x'_3 - 69,08 x'_1 x'_2 - 45,92 * x'_1 x'_3 - 11,16 x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

Ao analisar os valores apresentados na Tabela 4, observou-se que todas as formulações elaboradas (variando de 33,54 a 45,30 g.100g⁻¹), apresentaram teores de carboidratos inferiores ao do controle comercial com glúten (57,00 g.100g⁻¹). A redução de carboidratos totais foi uma consequência da substituição parcial da farinha base utilizada, no caso, a farinha de quirera de arroz, que é rica em amido, por farinhas com alta concentração de fibras alimentares.

A modelagem apresentada na Tabela 5 indicou que o teor de carboidratos foi significativamente influenciado pelo tipo de farinha utilizado na formulação, com um R² de 0,99. A farinha de subproduto de arroz (FA) apresenta o maior coeficiente de regressão (x'₃ 53,17), sendo a principal fonte de carboidratos nas massas de pizza isentas de glúten. As farinhas de subprodutos de mandioca (FM) e palmito (FP) apresentam coeficientes menores, sendo x'₁ 45,33 e x'₂ 43,88, respectivamente. A interação entre FM:FA (x'₁x'₂ -45,92) foi negativa, indicando que, ao misturar estas farinhas o teor de carboidratos final diminui.

A interação entre esses componentes pode ser visualizada pelo gráfico ternário (Figura 8a). A tendência e a proximidade das linhas de contorno em direção ao vértice da FA indicaram maior sensibilidade ao aumento dos carboidratos com a adição dessa farinha. Este comportamento é evidenciado pela superfície de resposta apresentada na Figura 8b, onde foi possível observar que os teores mais baixos de carboidratos

são representados pela cor azul, presente nas zonas de maior concentração de farinha de subproduto palmito e mandioca.

Os dados confirmaram que a inclusão de subprodutos de palmito e mandioca, além de enriquecer a massa com fibras, contribuíram para a obtenção de um produto com menor densidade de carboidratos em comparação às formulações tradicionais à base de arroz.

Do ponto de vista nutricional, a diminuição de carboidratos, especialmente em produtos de panificação que costumam ter alto índice glicêmico, representa uma vantagem estratégica. A redução da carga glicêmica é benéfica não apenas para indivíduos com restrições metabólicas, como diabetes, mas também para o público geral que busca dietas com melhor controle glicêmico e maior saciedade, conforme destacado por Romão *et al.* (2021).

O comportamento observado corrobora com a literatura científica sobre o desenvolvimento de alimentos funcionais. Estudos como os de Morales *et al.* (2015), que utilizaram farinha de lentilha para enriquecer massas, relataram uma diminuição significativa nos carboidratos digestíveis e um aumento nas fibras. A vantagem destas substituições está na criação de um produto com menor densidade calórica e perfil nutricional mais equilibrado.

A fim de complementar a caracterização nutricional, a Tabela 6 apresenta os valores energéticos das formulações, permitindo uma avaliação mais ampla do perfil das massas de pizza, com comparações entre as formulações desenvolvidas com a comercial com glúten.

Tabela 4.6 - Valores energéticos das massas de pizza isentas de glúten em comparação ao produto comercial

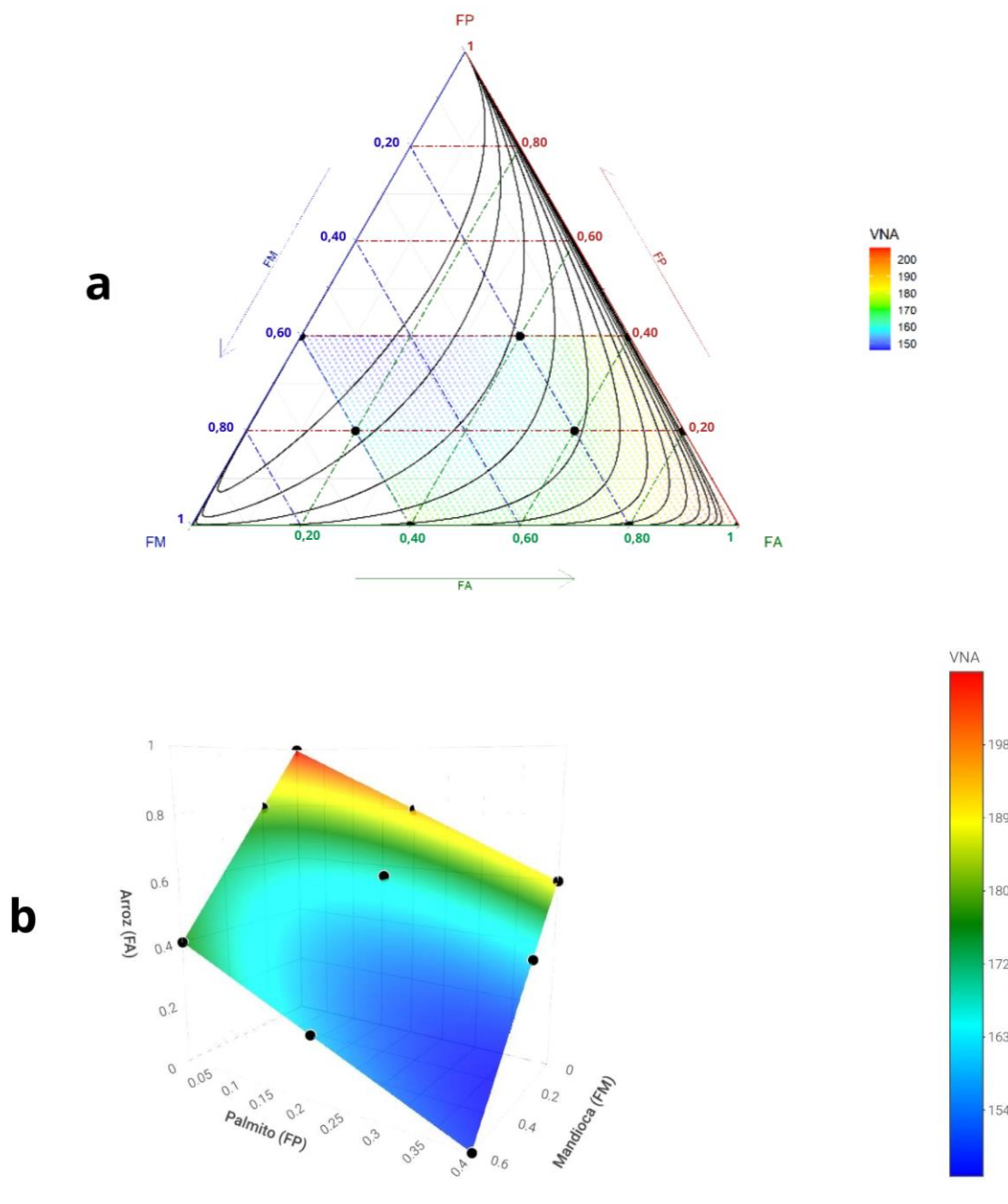
	FORMULAÇÃO			ANÁLISE	
	(FM) (x'_1)	(FP) (x'_2)	(FA) (x'_3)	VNA (kcal)	VNE (kcal)
1	15(0,00)	10(0,00)	75(1,00)	207,91±2,10	233,69±2,40
2	30(0,60)	10(0,00)	60(0,40)	181,02±1,80	209,08±2,10
3	15(0,00)	20(0,40)	65(0,60)	188,45±2,00	218,15±2,30
4	30(0,60)	20(0,40)	50(0,00)	150,89±1,70	189,89±2,00
5	30(0,60)	15(0,20)	55(0,20)	152,99±1,70	187,85±1,90
6	20(0,20)	20(0,40)	60(0,40)	160,18±1,90	188,60±1,70
7	15(0,00)	15(0,20)	70(0,80)	195,64±2,0	213,54±2,40
8	20(0,20)	10(0,00)	70(0,80)	177,25±1,90	199,03±2,20
9	20(0,20)	15(0,20)	65(0,60)	172,21±1,80	200,07±2,10
10	20(0,20)	15(0,20)	65(0,60)	169,19±1,90	199,15±2,10
Com glúten Comercial				312,00	315,40

Notas: FM - Farinha de subproduto de mandioca; FP - Farinha de subproduto de palmito pupunha; FA - Farinha de subproduto de arroz; x'_1 , x'_2 , x'_3 - valores em pseudocomponentes; VNA = valor energético antes das fibras; VNE = valor energético após inclusão das fibras.

Fonte: A autora (2025).

Para melhor visualização dos resultados, a Figura 9 a e b e a equação correspondente representa as superfícies e equações geradas para o valor energético antes da inclusão das fibras.

Figura 4.9 - Efeito das farinhas de subprodutos no valor energético antes da inclusão das fibras (VNA) nas massas de pizzas



$$y = 233,08 \cdot x'_1 + 218,39 \cdot x'_2 + 206,98 \cdot x'_3 - 328,36 \cdot x'_1 x'_2 - 189,11 \cdot x'_1 x'_3 - 89,48 \cdot x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

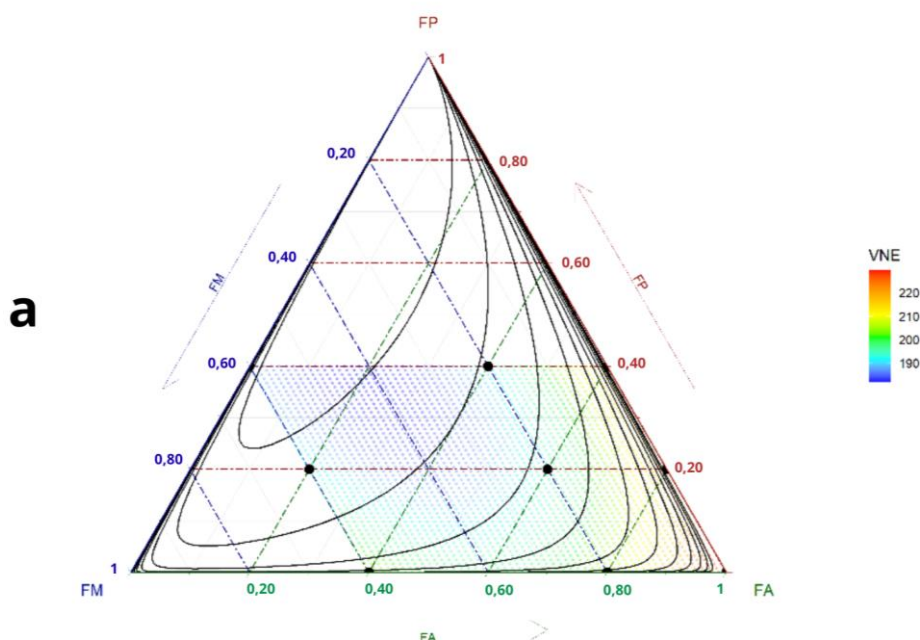
Os parâmetros estatísticos obtidos demonstraram que o modelo de mistura foi adequado para descrever o comportamento do valor energético antes da inclusão das fibras (VNA). O modelo apresentou elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,99$), indicando que 99% da variação da resposta é explicada pelas proporções dos componentes da formulação. O valor de p do modelo (0,008) confirmou sua significância estatística, evidenciando o efeito das variáveis estudadas. Além disso, o

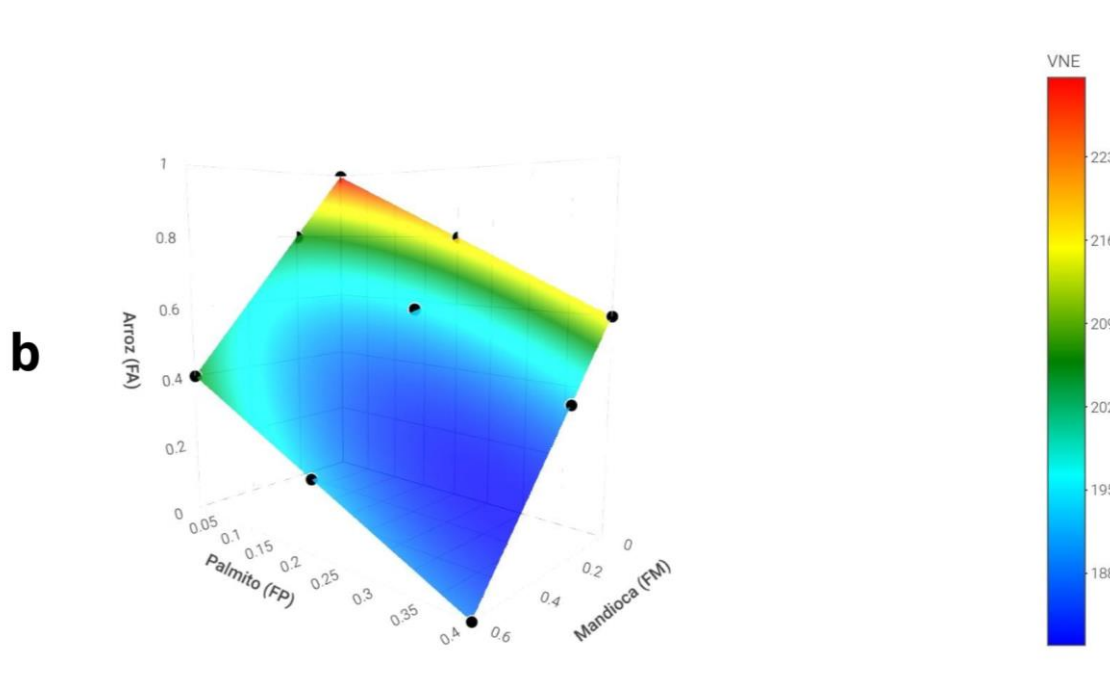
teste de falta de ajuste não significativo ($p>0,05$) reforçou que o modelo é confiável para predição dos dados.

O gráfico de contorno apresentado na Figura 9a, permitiu visualizar como as combinações dos componentes influenciam o valor energético. A formação das linhas de contorno em direção a FA, confirmam que essa farinha foi a que mais contribuiu para a variável analisada. As interações apresentadas na equação entre farinha de subproduto de mandioca (FM) e de palmito (FP) ($x'_1x'_2 -328,36$), indicam que, ao misturar FM com FP, o valor de VNA tendeu a diminuir.

Na superfície de resposta apresentada na Figura 9b, observou-se que os maiores teores de adição de farinha de subproduto de arroz (FA) refletiram em cores vermelhas na superfície, indicando que sua presença elevou significativamente o valor energético das massas. Este resultado é relevante, pois produtos isentos de glúten são frequentemente criticados pelo alto valor calórico, muitas vezes acima de 300 kcal, como relatado por Capriles e Arêas (2013). Assim, a utilização da FA em conjunto com a FM e FP demonstrou viabilidade para uma redução calórica substancial, alinhada à demanda por alimentos mais saudáveis.

Figura 4.10 - Efeito das farinhas de subprodutos no valor energético depois da inclusão das fibras (VNE) nas massas de pizzas





$$y = 268,36 \cdot x'_1 + 263,02 \cdot x'_2 + 229,68 \cdot x'_3 - 325,35 \cdot x'_1 x'_2 - 195,48 \cdot x'_1 x'_3 - 109,01 x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

Para o valor energético após a inclusão das fibras (VNE), os parâmetros estatísticos também validaram a adequação do modelo de mistura. Com $R^2 = 0,97$ e valor de p significativo (0,009), demonstrando confiabilidade, além do teste de falta de ajuste não significativo ($p > 0,05$).

Ao analisar o gráfico ternário e a superfície de resposta do VNE apresentada na Figura 10 a e b e equação correspondente, foi possível observar que a inclusão de subprodutos ricos em fibras alterou significativamente o perfil energético da massa. Enquanto a farinha de arroz (FA) manteve a tendência de elevar o valor energético (áreas vermelhas no gráfico), a adição de FM e FP reduziu esses valores (áreas azuis).

Apesar de reduzirem o valor calórico total, as fibras contribuem com 2 kcal no cálculo do valor energético total (VNE). Em produtos isentos de glúten, o alto teor de fibras eleva o valor nutricional e assegura que o produto mantenha um aporte energético menor, com diminuição de picos glicêmicos. Este comportamento corrobora os achados de Menezes *et al.* (2019), que destacam que farinhas ricas em fibras diminuem o valor energético total das formulações.

Os resultados obtidos para o VNE permitiram demonstrar a viabilidade de formular massas de pizza com uma redução calórica que pode chegar a 40%, quando

comparada a produtos comerciais com glúten. Esse efeito ligado ao alto conteúdo de fibras, posiciona o produto como uma alternativa de baixa densidade energética e alta concentração de nutrientes, atendendo a um nicho de mercado que busca benefícios nutricionais e compostos bioativos.

4.4.2 Compostos Fenólicos Totais e Atividade Antioxidante

Os compostos fenólicos totais e atividade antioxidante das massas de pizza estão expressos na Tabela 7.

Tabela 4.7 - Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante das massas de pizza elaboradas em comparação com produto comercial com glúten

	FORMULAÇÃO			ANÁLISE	
	FM (x' ₁)	FP (x' ₂)	FA (x' ₃)	Compostos fenólicos (mg EAG.100g ⁻¹)	AA (mgET.g ⁻¹)
1	15(0,00)	10(0,00)	75(1,00)	38,10±4,80	4,95±3,03
2	30(0,60)	10(0,00)	60(0,40)	34,70±2,75	4,80±3,69
3	15(0,00)	20(0,40)	65(0,60)	44,46±2,68	4,69±3,83
4	30(0,60)	20(0,40)	50(0,00)	46,84±2,70	5,42±5,42
5	30(0,60)	15(0,20)	55(0,20)	48,55±6,52	6,02±5,02
6	20(0,20)	20(0,40)	60(0,40)	60,95±3,43	6,64±3,43
7	15(0,00)	15(0,20)	70(0,80)	66,92±3,08	9,52±4,00
8	20(0,20)	10(0,00)	70(0,80)	58,75±3,10	8,50±3,78
9	20(0,20)	15(0,20)	65(0,60)	59,46±1,37	8,06±5,90
10	20(0,20)	15(0,20)	65(0,60)	61,32±2,00	8,98±3,67
CG Comercial				94,90±4,11	14,23±4,89

Notas: CG - Com glúten comercial; FM - Farinha de subproduto de mandioca; FP - Farinha de subproduto de palmito pupunha; FA - Farinha de subproduto de arroz; x'₁, x'₂, x'₃ - valores em pseudocomponentes; AA - Atividade antioxidante. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

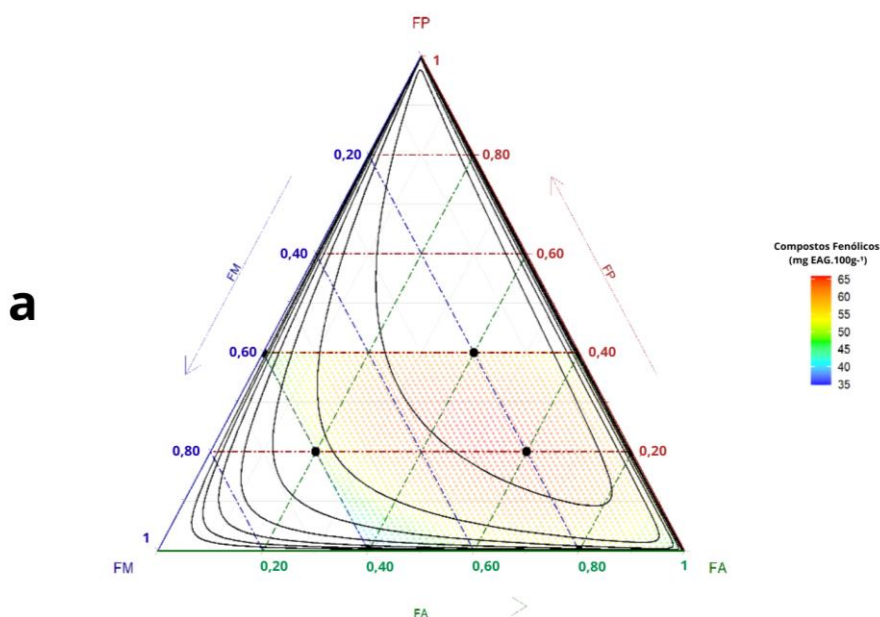
Fonte: A autora (2025).

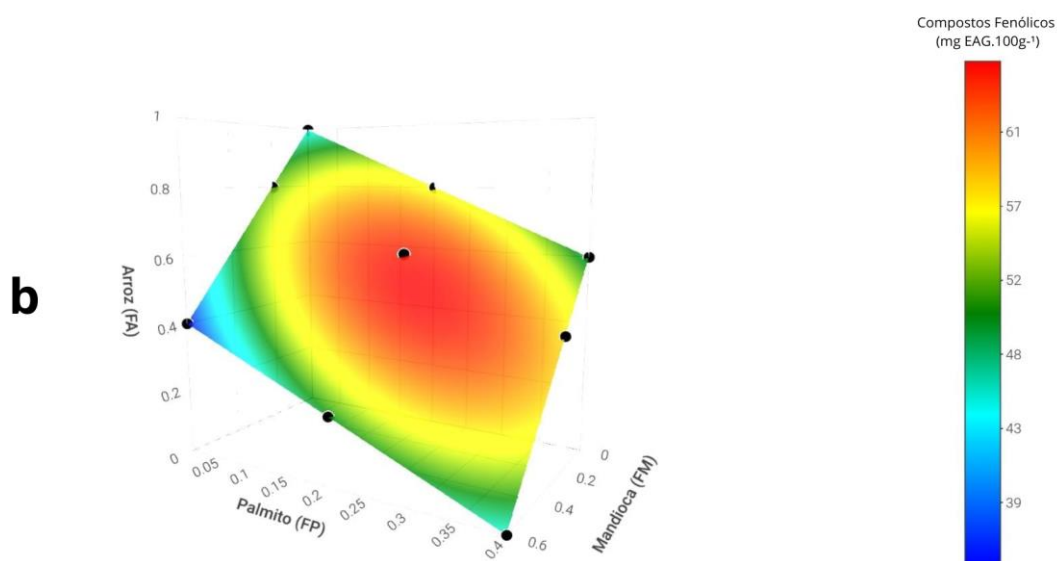
Para os compostos fenólicos, o resultado obtido para o modelo apresentou um coeficiente de determinação (R² = 0,99) revelando que o modelo explica 99% da

variabilidade dos dados. A significância estatística foi confirmada pelo Teste F ($p < 0,05$), demonstrando que o modelo é adequado. Além disso, o p-valor de 0,1019 no teste de falta de ajuste indicou que o erro residual é composto apenas por erro puro.

Sendo assim, na Figura 11a foi possível observar a formação de linhas de contorno em formatos circulares, indicando uma região específica, ou seja, uma zona de otimização, onde a resposta encontrada para a variável é máxima. Além disso, observou-se que as maiores concentrações de compostos fenólicos (áreas em vermelho no triângulo) não estão localizadas nos vértices puros, mas sim em uma zona de mistura. Essas regiões apresentaram valores mais altos de farinha de subproduto de arroz (FA) e valores médios de FP e FM.

Figura 4.11 - Efeito das farinhas de subprodutos nos compostos fenólicos nas massas de pizza





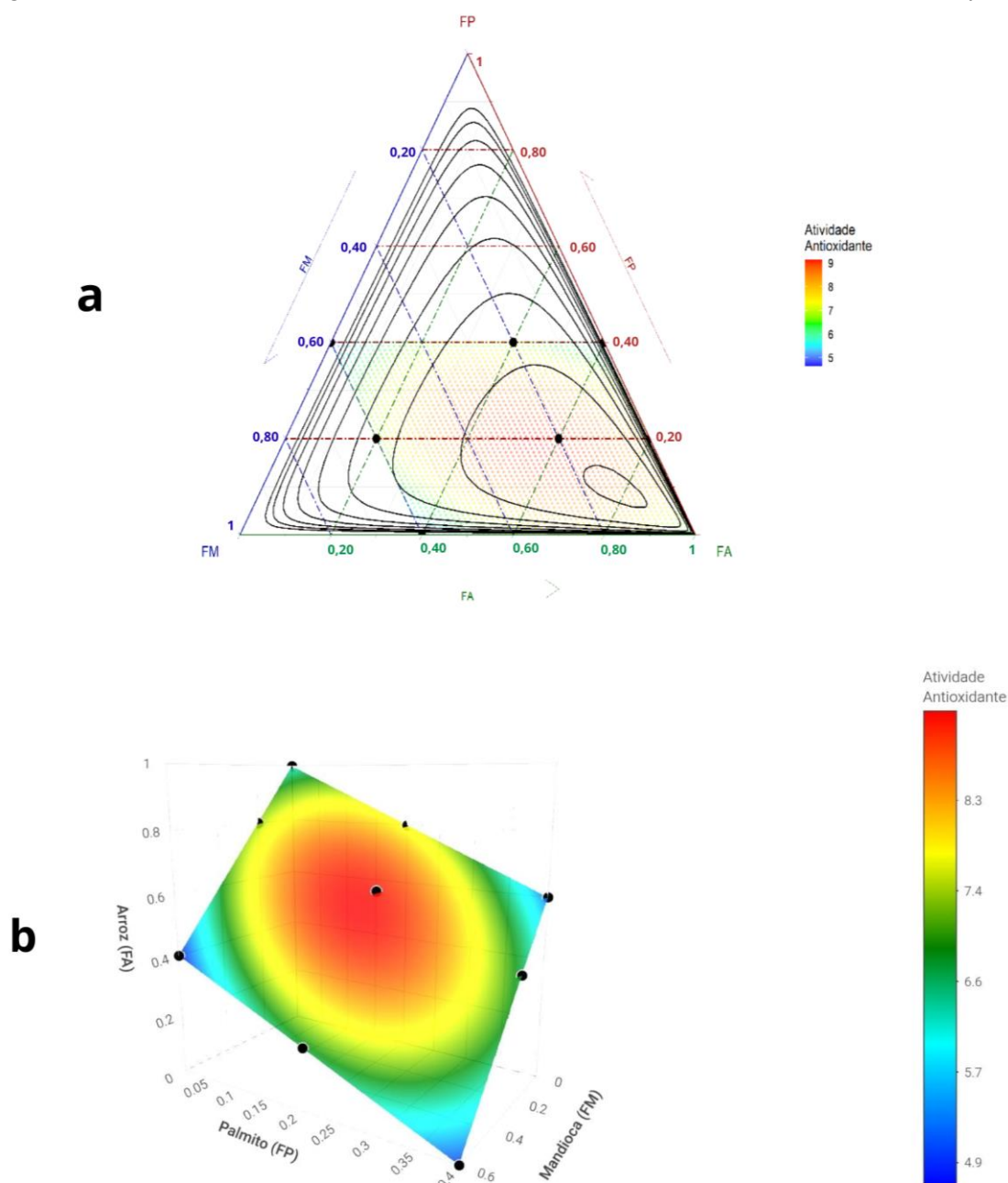
$$y = -26,07 x'_1 - 92,63 x'_2 + 44,69 x'_3 + 109,24 x'_1 x'_2 + 135,22 x'_1 x'_3 + 244,50 x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

A superfície de resposta (Figura 11b) facilitou a visualização dessa tendência. Os maiores valores de compostos fenólicos foram atingidos quando houve alta proporção de farinha de subproduto de arroz (0,60) combinada com níveis intermediários de palmito (0,20) e de mandioca (0,20).

Por outro lado, o gráfico mostrou que, à medida que se desloca para valores mais altos da farinha de subproduto de mandioca (FM), a superfície declina para tons verdes e azuis, indicando que a presença da FM na mistura diluiu o efeito das outras duas farinhas.

Os resultados variam significativamente entre as formulações, com valores entre 34,70 a 66,92 mgEAG·100g⁻¹, o máximo ocorrendo na F7 (66,92 mgEAG·100g⁻¹), associado à maior participação da farinha de subproduto de arroz e de palmito.

Figura 4.12 - Efeito das farinhas de subprodutos na atividade antioxidante nas massas de pizza

$$y = -4,80 x'_1 - 26,57 x'_2 + 6,25 x'_3 + 76,20 x'_1 x'_2 + 20,59 x'_1 x'_3 + 50,25 x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

A atividade antioxidante determinada pelo método de DPPH, variou significativamente de 4,69 a 9,52 mgET.g⁻¹. A qualidade do ajuste estatístico ($R^2 = 0,9729$, p-valor <0,05) conferiu confiabilidade à interpretação dos contornos observados na equação correspondente.

O gráfico ternário na Figura 12a, revelou comportamento similar ao encontrado para os compostos fenólicos. A formação das linhas de contorno em formatos

circulares localizadas na região entre a mistura de proporções mais altas de FA e intermediárias FP e FM indicaram a existência de um ponto máximo de atividade antioxidante, pela ação significativa da FA individualmente.

Resultado observado pela superfície de resposta apresentada na Figura 12b, que demonstrou que a maior capacidade antioxidante, representada pela região central em vermelho intenso, foi alcançada pela combinação equilibrada dos três componentes.

Resultados semelhantes foram citados por Vargas e Bellaver (2022) em produtos isentos de glúten, destacando a relevância dos compostos bioativos para conferir alegações funcionais. Os resultados deste estudo demonstraram que, embora as massas de pizza elaboradas apresentem teores de fenólicos e atividade antioxidante inferiores ao produto comercial com glúten, as formulações enriquecidas com farinhas de subprodutos de mandioca e palmito pupunha apresentaram resultados consideráveis, atingindo 66,92 e 9,52 mgET.g⁻¹.

Esses resultados evidenciam que, além de as farinhas contribuírem para o aumento do teor de fibras e redução calórica, podem atuar como importantes fontes de compostos antioxidantes.

4.4.3 Características Tecnológicas e Propriedades Mecânicas dos Discos de Pizza

A Tabela 8 apresenta os resultados da caracterização tecnológica realizada nas massas de pizza elaboradas, com a atividade de água (a_w) e colorimetria, que impactam na aparência e aceitação do consumidor.

Tabela 4.8 - Propriedades tecnológicas das massas de pizza isentas de glúten elaboradas

FORMULAÇÃO				ANÁLISE						
	FM (x'₁)	FP (x'₂)	FA (x'₃)	a _w	L	a*	b*	Croma	(H°)	
1	15(0,00)	10(0,00)	75(1,00)	0,94 ^a ±0,00	71,12±0,86	3,34±0,26	22,45±0,13	22,67±0,09	81,55±0,71	
2	30(0,60)	10(0,00)	60(0,40)	0,96 ^b ±0,00	70,09±1,31	3,47±0,29	20,11±0,37	20,58±0,39	80,17±0,68	
3	15(0,00)	20(0,40)	65(0,60)	0,95 ^c ±0,00	71,08±0,48	3,57±0,09	22,57±0,08	22,85±0,12	80,20±0,22	
4	30(0,60)	20(0,40)	50(0,00)	0,94 ^a ±0,00	75,52±1,97	2,57±0,04	19,14±0,12	19,31±0,13	82,41±0,11	
5	30(0,60)	15(0,20)	55(0,20)	0,97 ^d ±0,00	72,25±3,96	2,85±0,77	20,76±0,59	20,00±0,66	80,97±1,87	
6	20(0,20)	20(0,40)	60(0,40)	0,97 ^d ±0,00	70,99±1,22	3,14±0,12	21,68±0,39	22,07±0,39	79,54±0,40	
7	15(0,00)	15(0,20)	70(0,80)	0,97 ^d ±0,00	69,62±0,44	4,04±0,23	21,77±0,38	22,14±0,41	79,48±0,42	
8	20(0,20)	10(0,00)	70(0,80)	0,95 ^c ±0,00	70,21±0,49	3,94±0,06	21,25±0,09	21,00±0,10	79,42±0,13	
9	20(0,20)	15(0,20)	65(0,60)	0,97 ^d ±0,00	73,31±0,68	3,01±0,13	19,83±0,23	20,38±0,23	81,22±0,36	
10	20(0,20)	15(0,20)	65(0,60)	0,96 ^d ±0,00	74,08±0,45	3,13±0,11	19,39±0,19	21,00±0,09	80,67±0,45	

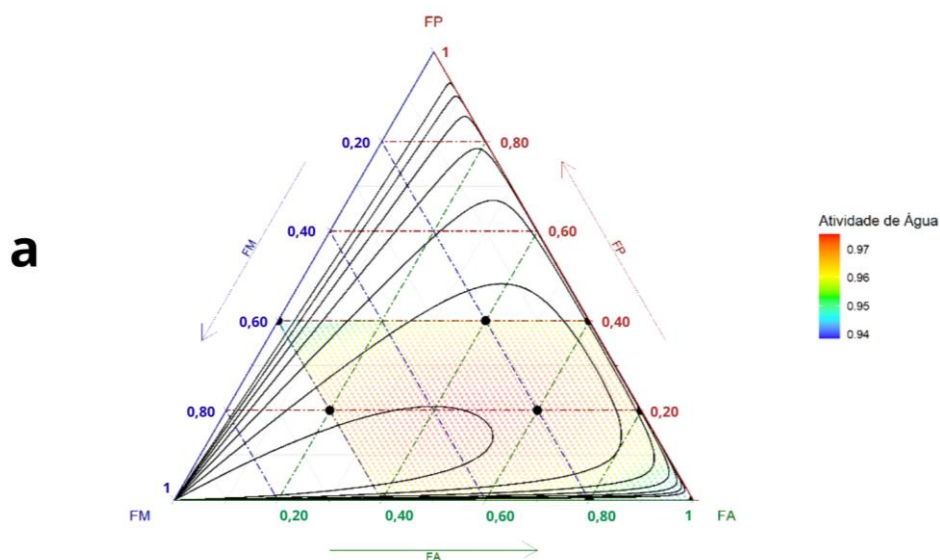
Notas: FM - Farinha de subproduto de mandioca; FP - Farinha de subproduto de palmito pupunha; FA - Farinha de subproduto de arroz; x'₁, x'₂, x'₃ - valores em pseudocomponentes; a_w - atividade de água; L - luminosidade.

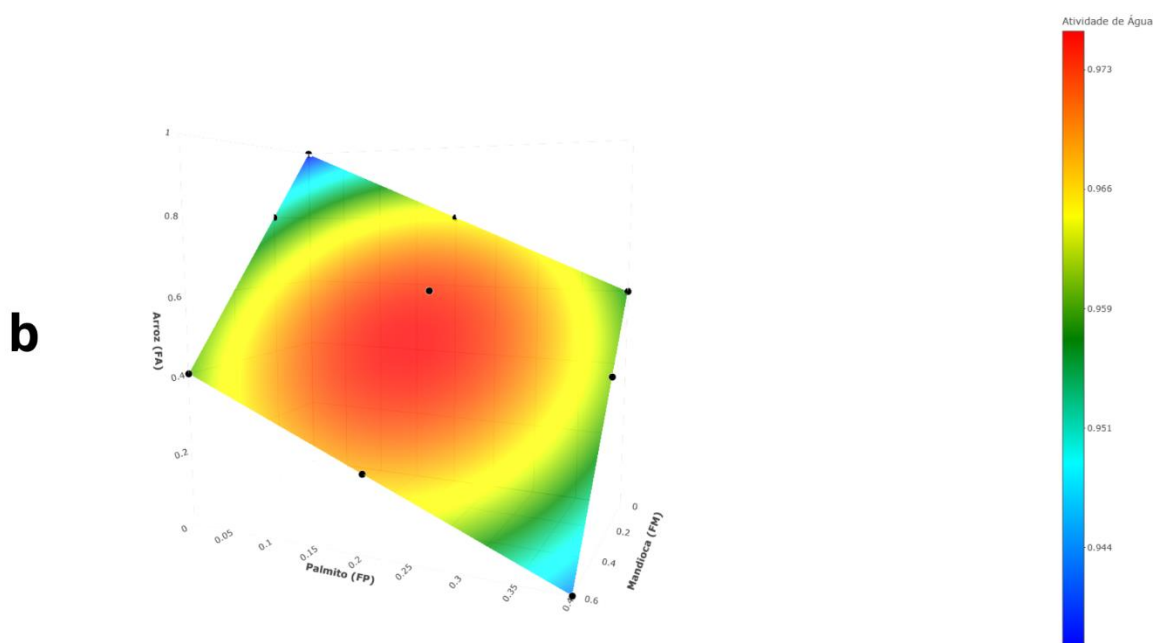
Fonte: A autora (2025).

A atividade de água (a_w) observada, com valores de 0,94 a 0,97, é um fator crítico que define a estabilidade e segurança de produtos de panificação. A legislação brasileira, na RDC nº 724/2022 da ANVISA, não define limites para massas, mas estabelece os padrões microbiológicos que o produto final deve atender, como a ausência de *Salmonella* e limites estritos para *Staphylococcus coagulase positiva*, bolores e leveduras.

Dessa forma, para manutenção da segurança dessas massas, deve-se aplicar a conservação pelo frio (refrigeração ou congelamento), pois é a principal barreira para garantir a segurança desses produtos. A literatura científica aponta que produtos de panificação com alta hidratação, especialmente os isentos de glúten que dependem de géis de amido e hidrocoloides (Gularte et al., 2012), são altamente suscetíveis à deterioração. Assim, o armazenamento a baixas temperaturas retarda o metabolismo microbiano, estendendo a vida útil e mantendo o produto seguro para consumo (Jay; Loessner, 2005).

Figura 4.13 - Efeito das farinhas de subprodutos na atividade de água (a_w) nas massas de pizza





$$Y = 0,93 * x'_1 + 0,72 * x'_2 + 0,93 * x'_3 + 0,38 x'_1x'_2 + 0,09 x'_1x'_3 + 0,42 * x'_2x'_3$$

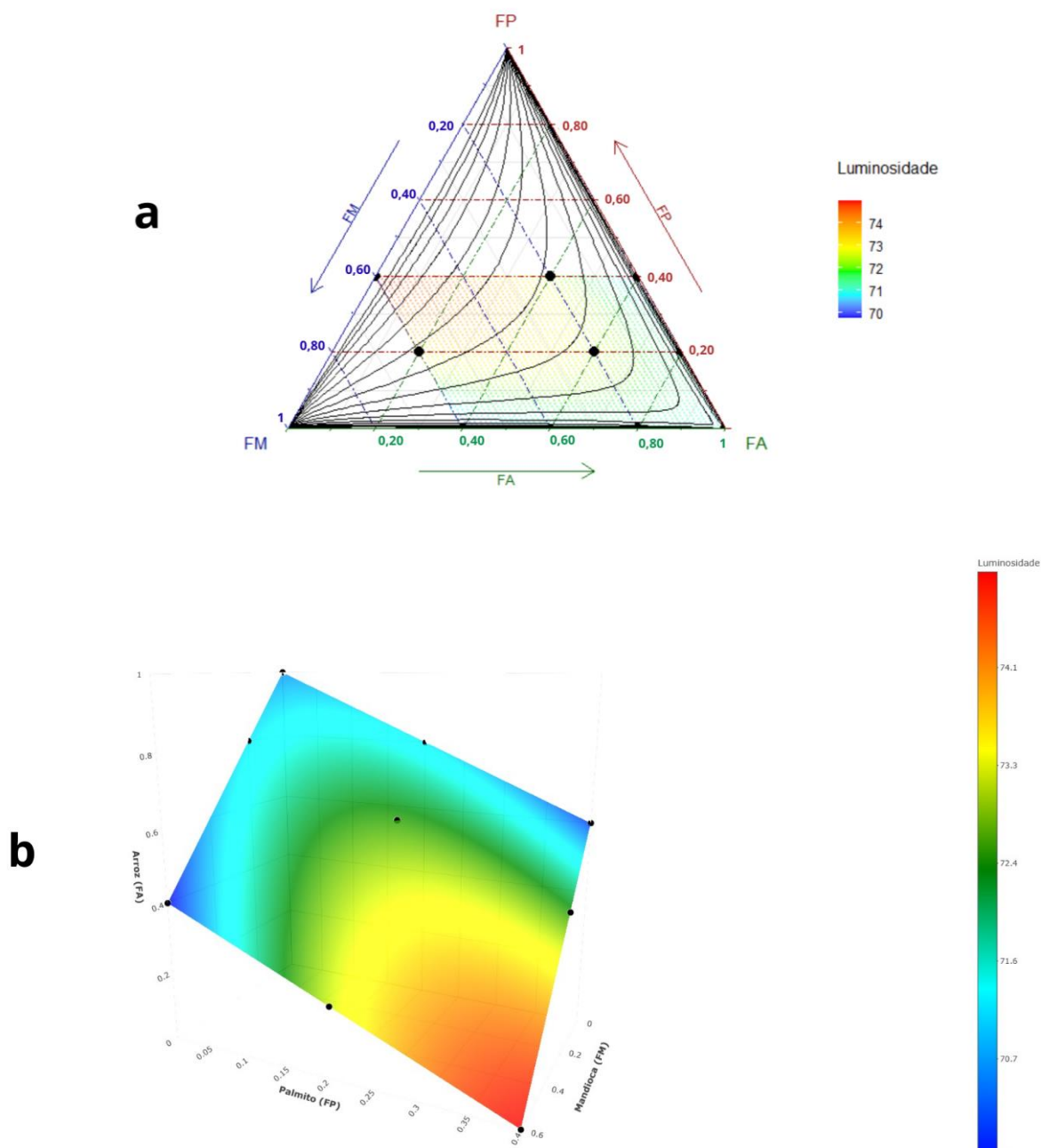
Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

O modelo quadrático para a variável apresentou coeficiente de determinação alto ($R^2 = 0,99$), indicando boa predição dos dados experimentais. Através da análise das superfícies de resposta apresentadas na Figura 13a, observou-se que a a_w foi influenciada positivamente pelas interações entre as farinhas, a formação de círculos no centro do gráfico mostrou a participação das três farinhas nos maiores teores de atividade de água, com destaque para a interação entre farinha de subproduto de arroz (FA) e de palmito (FP) ($x'_2x'_3$ 0,4285) na equação gerada.

A tendência de elevação da a_w nas formulações com maiores proporções de FA e FM pode ser atribuída à natureza dos grânulos de amido. Embora o amido possua alta capacidade de absorção, ele tende a manter uma fração maior de água livre no sistema (Fennema, 2017).

A superfície de resposta para a a_w , apresentada na Figura 13b com a equação correspondente, confirma o efeito sinérgico entre os componentes. Nos vértices correspondentes às farinhas puras, observaram-se os menores teores de a_w (regiões em azul e verde). Em contraste, o deslocamento para a região central do gráfico, que representa as misturas, resultou em aumento progressivo da variável (zonas em amarelo e vermelho).

Figura 4.14 - Efeito das farinhas de subprodutos na luminosidade nas massas de pizza



$$y = 65,484 * x'_1 + 58,243 * x'_2 + 70,593 * x'_3 + 51,632 x'_1 x'_2 + 9,319 x'_1 x'_3 + 18,625 x'_2 x'_3$$

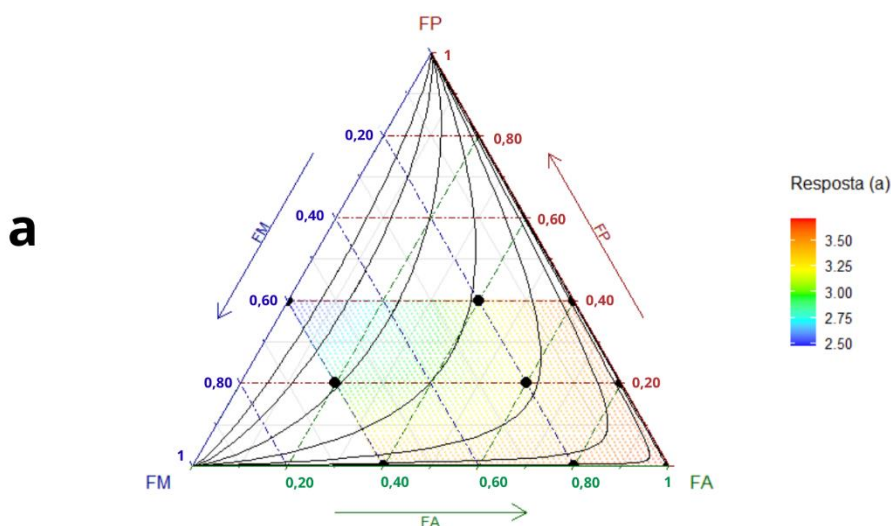
Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

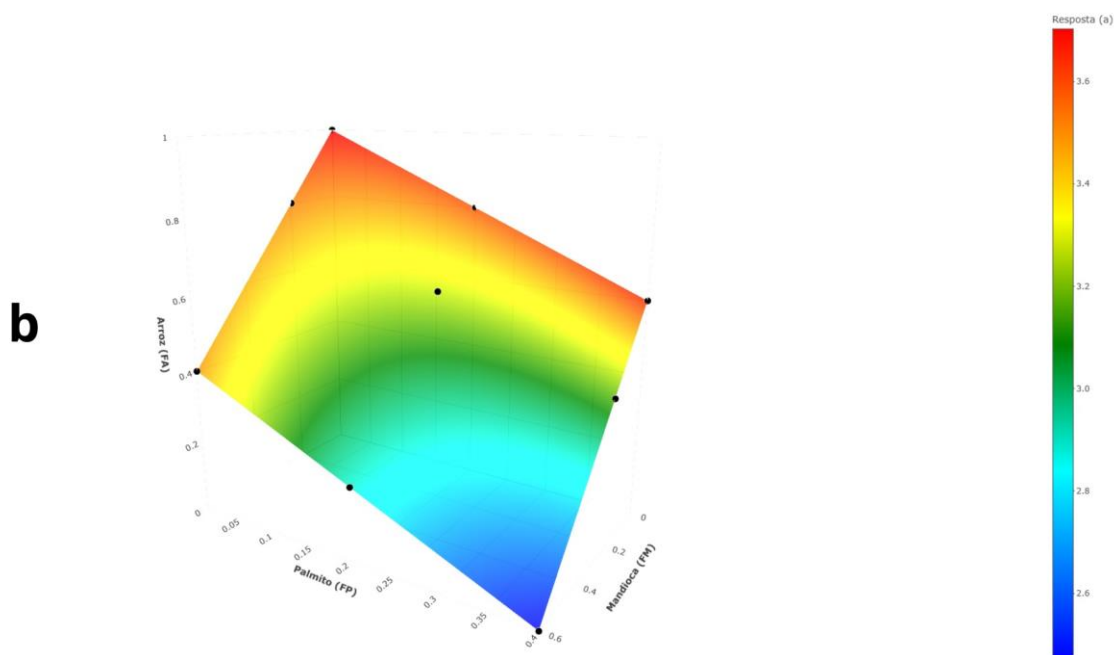
A luminosidade (L^*) das massas foi significativamente influenciada pela adição das farinhas ($R^2 = 0,99$), p-valor de 0,006 e teste de falta de ajuste maior que 0,05. A FA (x'_3) atuou de forma individual como o principal agente clareador, apresentando o maior coeficiente linear (70,59). Observou-se redução nos valores de luminosidade

com o incremento da farinha de subproduto de palmito (FP), o que pode ser atribuído à presença de pigmentos presentes nessa farinha.

Ao observar o gráfico ternário e a superfície de resposta apresentados na Figura 14 a e b, a região vermelha/alaranjada que apresenta a maior luminosidade, está concentrada na mistura FM com FP, o que indica que mesmo a FA apresentando o maior coeficiente, a farinha de subproduto de mandioca e de palmito também tendem a aumentar a luminosidade. De maneira geral, os valores de luminosidade (L^*) apresentados na Tabela 8, mantiveram-se entre 70,09 e 75,52, este resultado se assemelha ao de panificados tradicionais à base de trigo, o que é vantajoso por não alterar o aspecto esperado pelos consumidores (Oliveira *et al.*, 2012).

Figura 4.15 - Efeito das farinhas de subprodutos na coordenada cromática do verde ao vermelho





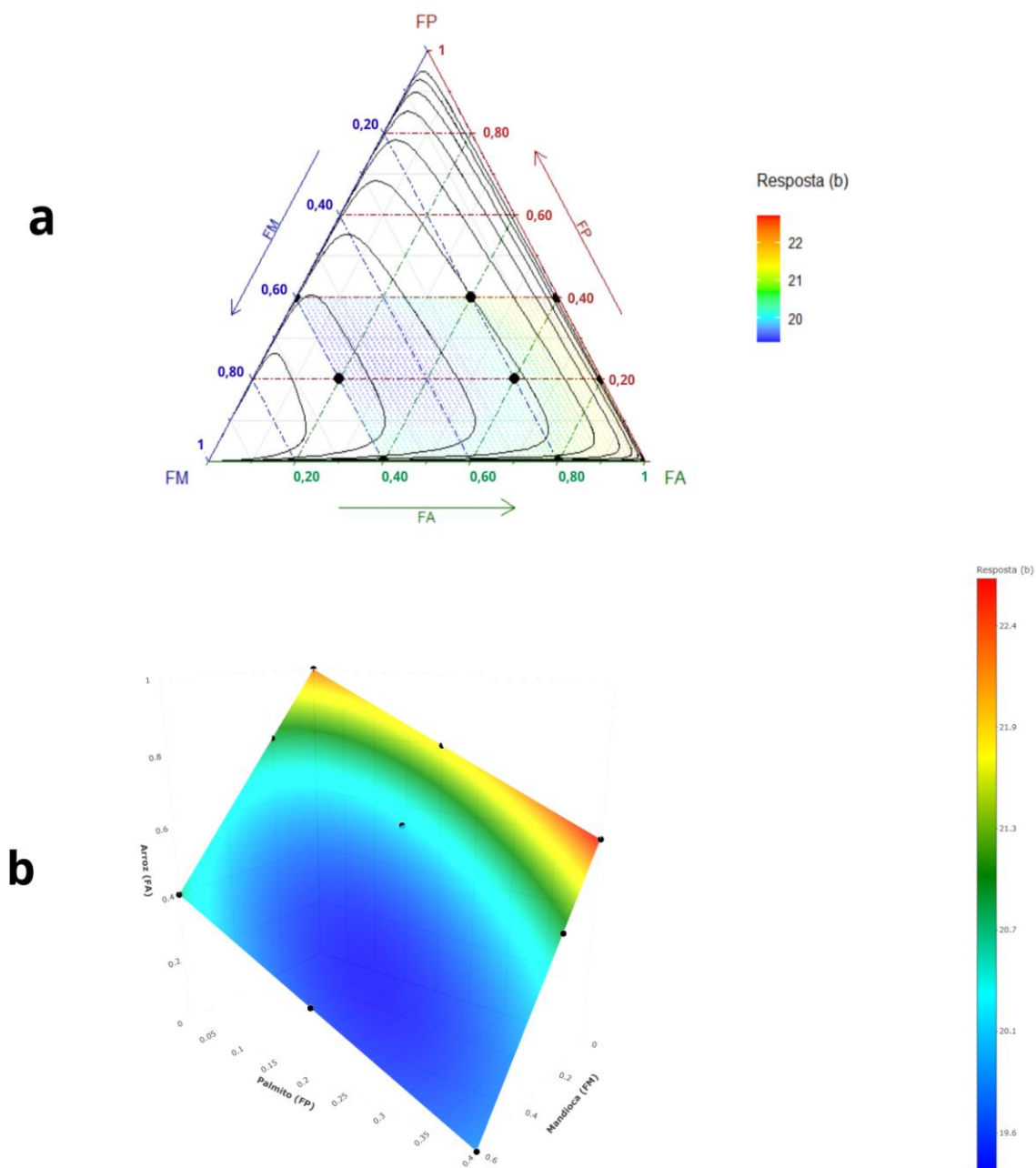
$$y = 3,89 \cdot x'_1 + 4,82 \cdot x'_2 + 3,70 \cdot x'_3 - 7,47 \cdot x'_1 x'_2 - 1,27 \cdot x'_1 x'_3 - 2,07 \cdot x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

O coeficiente de determinação (R^2) de 0,99 indicou que o modelo foi capaz de explicar 99% da variabilidade observada nos dados. A análise dos coeficientes lineares da equação revelou que todos os componentes da mistura contribuíram positivamente para a coordenada cromática a^* , promovendo um incremento nos tons avermelhados da formulação. Entre as matérias-primas, a farinha de subproduto de palmito (FP) apresentou o impacto mais expressivo, seguida pela farinha de subproduto de arroz (FA).

Conforme ilustrado no gráfico ternário (Figura 15a), as maiores intensidades de coloração avermelhada concentraram-se nas regiões de mistura entre a FP e a FA. Esse comportamento é corroborado pela superfície de resposta apresentada na Figura 15b, que evidenciou tendência de redução nos valores de a^* à medida que a proporção de farinha de subproduto de mandioca (FM) aumentou.

Figura 4.16 - Efeito das farinhas de subprodutos na coordenada cromática do azul ao amarelo nas massas de pizza



$$Y = 23,84 * x'_1 + 33,54 * x'_2 + 22,28 * x'_3 - 32,93 x'_1 x'_2 - 10,73 x'_1 x'_3 - 17,05 x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

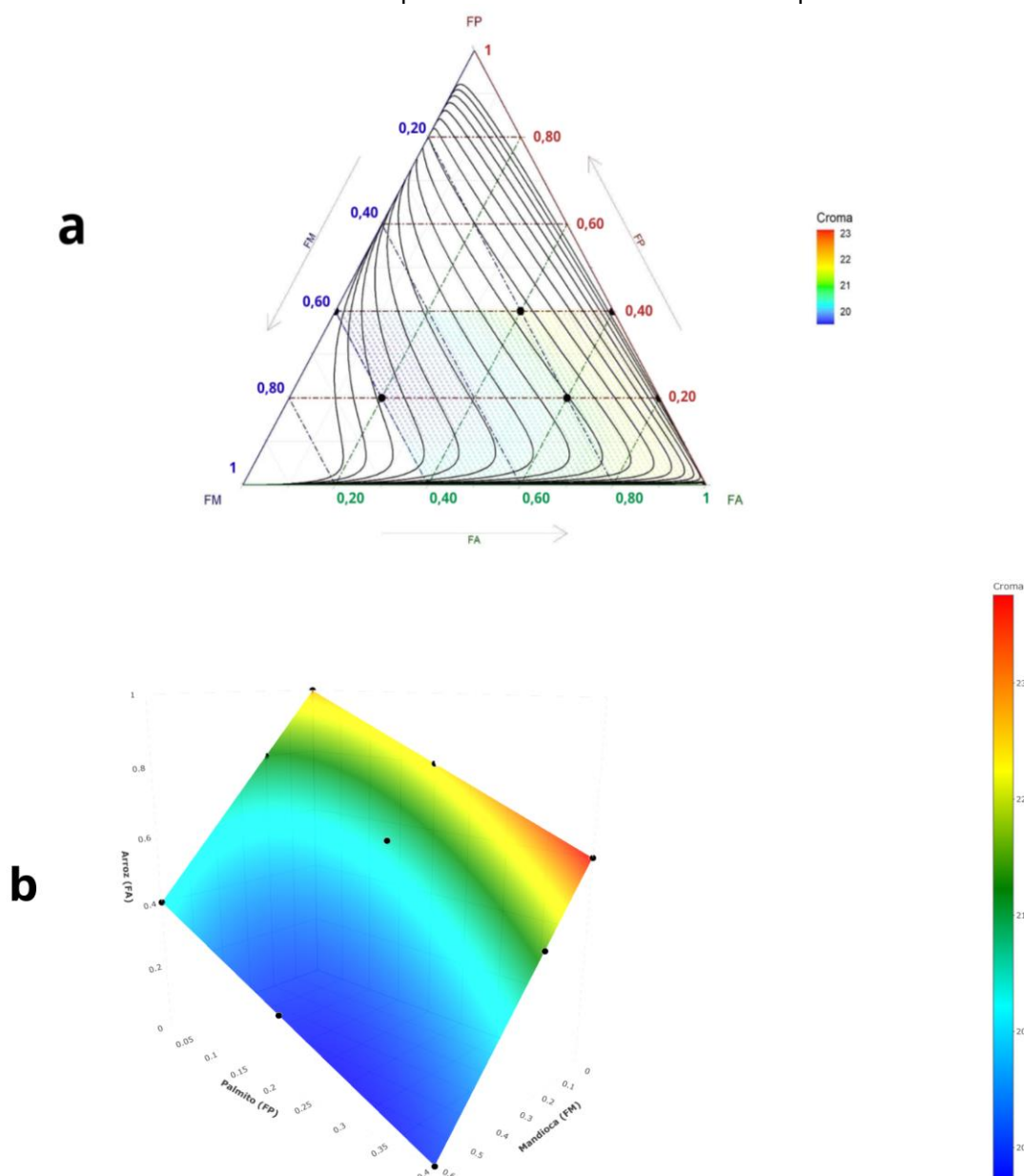
A análise estatística revelou que o modelo apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,99. A significância do modelo foi confirmada pelo Teste F (p-valor = 0,0132), enquanto a ausência de falta de ajuste (p = 0,2018).

De acordo com a equação gerada, a farinha de subproduto de palmito (x'_2) apresentou o maior coeficiente linear (33,54), indicando que foi o componente que mais contribuiu (Albuquerque *et al.*, 2019). A farinha de subproduto de mandioca (x'_1

23,84) e de arroz (x'_3 22,28) tiveram contribuições menores e próximas entre si. Ao observar o gráfico ternário na Figura 16a, notou-se a compactação das linhas de contorno no vértice da FP, indicando que qualquer variação nessa farinha pode alterar de forma significativa os resultados.

A superfície de resposta apresentada na Figura 16b confirmou a participação da FA em valores elevados contribuíram para o aumento da coordenada cromática b^* . Observou-se também que a interação na mistura contendo proporções de 0,40 de FP e 0,60 de FA apresentou na superfície maiores resultados para b^* .

Figura 4.17 - Efeito das farinhas de subprodutos no croma das massas de pizza



$$y = 21,93 \cdot x'_1 + 32,11 \cdot x'_2 + 22,34 \cdot x'_3 - 26,48 \cdot x'_1 x'_2 - 6,12 \cdot x'_1 x'_3 - 13,08 \cdot x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

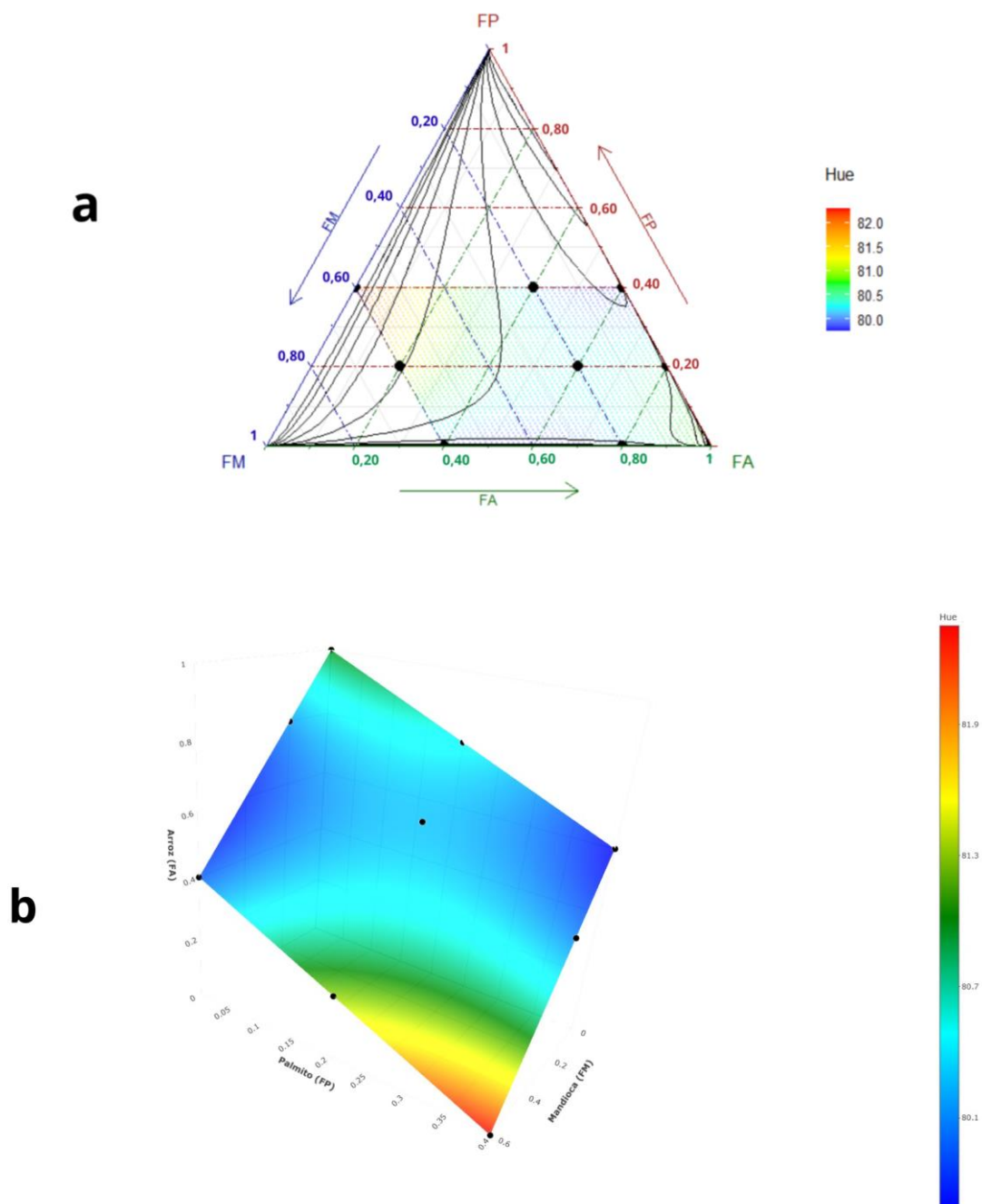
O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,99$) demonstrou que 99% da variabilidade dos dados foi explicada pelas interações entre os subprodutos, enquanto a ausência de falta de ajuste ($p = 0,5096$) e a significância estatística do modelo ($p = 0,007$) validaram a robustez das superfícies de resposta geradas.

A análise dos coeficientes da equação revelou que a farinha de subproduto de palmito (FP) atuou como o componente de maior impacto visual nas massas de pizza (x'_2 32,11). O aumento da proporção de FP promoveu o incremento da saturação (C^*), resultando em cores mais saturadas, esse fenômeno pode ser atribuído à presença de fibras no subproduto. Contudo, as interações negativas observadas indicam que o uso de misturas foi uma estratégia eficaz, conferindo à massa coloração mais clara e neutra, compatível com a expectativa sensorial do consumidor.

O gráfico ternário Figura 17a, evidenciou a inclinação das curvas de contorno em direção aos vértices da FP e FA, indicando que estes componentes isolados possuem os maiores coeficientes lineares para a variável croma. Complementarmente, a superfície de resposta (Figura 17b) revelou que as formulações contendo teores elevados de FP e FA resultaram em maiores valores de saturação, conferindo à massa uma coloração mais intensa.

A análise dos coeficientes da equação da Figura 18 indicou que os termos lineares possuem magnitudes semelhantes e elevadas, sugerindo que todos os componentes exercem influência positiva e determinante na manutenção do ângulo Hue. Entretanto, observou-se no gráfico ternário Figura 18a que a região vermelha, indicando maior ângulo Hue está concentrada na mistura de farinha de subproduto de mandioca e de palmito, assim como na superfície de resposta na Figura 18b.

O ângulo de Hue obtido, situou-se entre $79,49^\circ$ e $83,18^\circ$, valores próximos de 90° . Esse intervalo posicionou as amostras no primeiro quadrante do círculo, na direção do eixo $+b^*$, correspondente à região amarela, coerente com a composição das matérias-primas utilizadas. Essa coloração, mais intensa que a de produtos feitos apenas com farinha de trigo, pode ser atribuída ao teor de carotenoides presentes na farinha de subproduto de palmito pupunha (Santos *et al.*, 2020).

Figura 4.18 - Efeito das farinhas de subprodutos no ângulo Hue

$$y = 80,28 * x'_1 + 80,05 * x'_2 + 80,65 * x'_3 + 0,76 x'_1 x'_2 - 0,37 x'_1 x'_3 + 0,21 x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

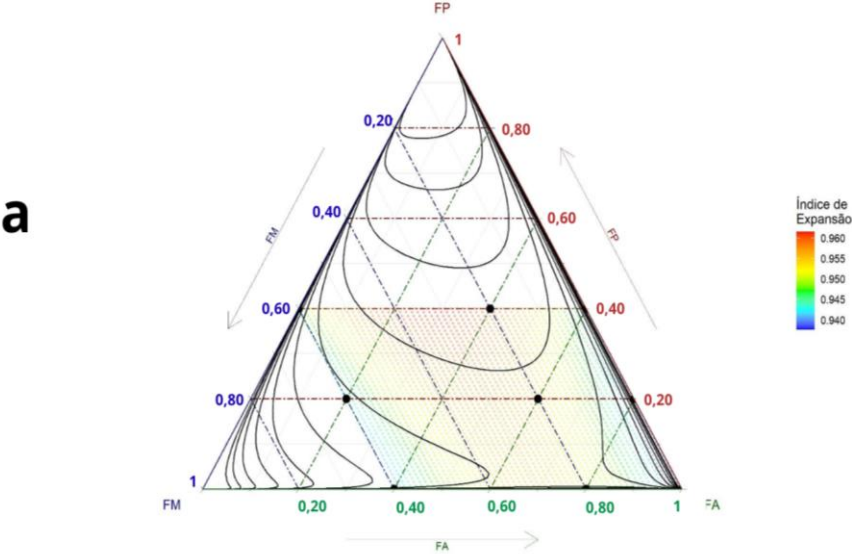
Nas massas de pizzas elaboradas, os índices de expansão variaram de 0,93 e 0,96, como indicado na Tabela 9, evidenciando que houve baixa expansão volumétrica do produto. Esse comportamento é característico de produtos isentos de glúten, a ausência da rede proteica (gliadina e glutenina), limita a retenção de gases da fermentação e reduz o crescimento da massa, conforme descrito por Nath *et al.* (2023).

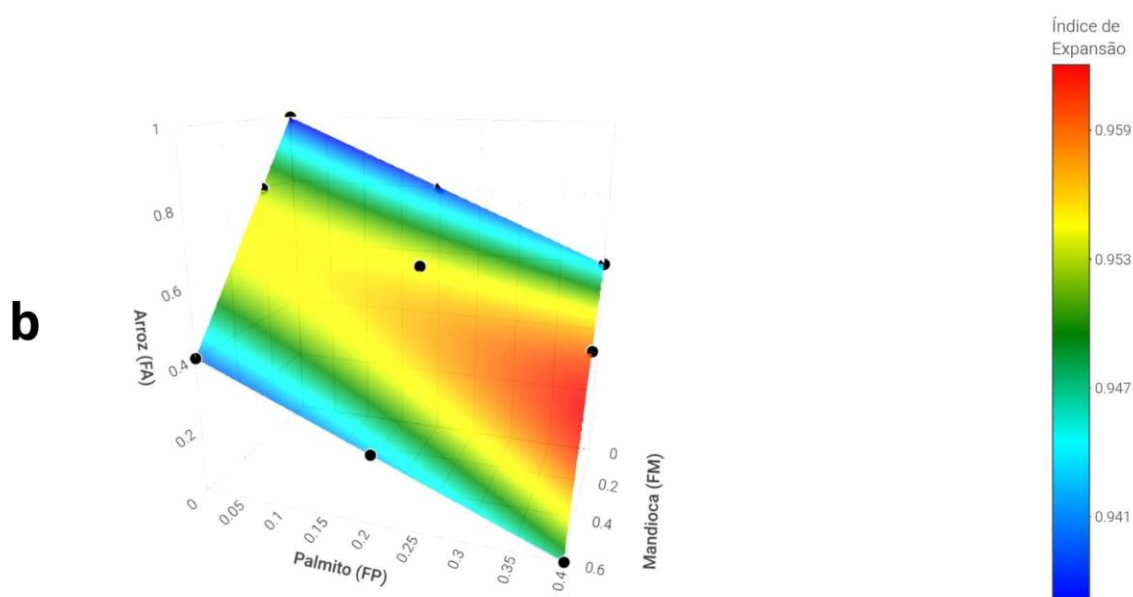
Tabela 4.9 - Características mecânicas das massas de pizza

FORMULAÇÃO				DETERMINAÇÃO		
	FM (x'1)	FP (x'2)	FA (x'3)	Índice de expansão	Volume Específico (cm³.g⁻¹)	Perda de Massa (%)
1	15(0,00)	10(0,00)	75(1,00)	0,94 ^a ±0,02	1,06±0,02	28,30±0,03
2	30(0,60)	10(0,00)	60(0,40)	0,93 ^a ±0,02	1,26±0,03	27,60±0,02
3	15(0,00)	20(0,40)	65(0,60)	0,95 ^a ±0,04	0,83±0,02	28,10±0,03
4	30(0,60)	20(0,40)	50(0,00)	0,94 ^a ±0,00	0,83±0,02	29,40±0,01
5	30(0,60)	15(0,20)	55(0,20)	0,96 ^a ±0,04	0,92±0,01	29,80±0,02
6	20(0,20)	20(0,40)	60(0,40)	0,96 ^a ±0,05	0,94±0,03	27,70±0,02
7	15(0,00)	15(0,20)	70(0,80)	0,93 ^a ±0,07	1,14±0,02	28,30±0,03
8	20(0,20)	10(0,00)	70(0,80)	0,96 ^a ±0,02	1,30±0,03	28,40±0,01
9	20(0,20)	15(0,20)	65(0,60)	0,95 ^a ±0,02	1,04±0,02	28,30±0,02
10	20(0,20)	15(0,20)	65(0,60)	0,95 ^a ±0,02	1,04±0,02	28,32±0,02

Notas: FM - Farinha de subproduto de mandioca; FP - Farinha de subproduto de palmito pupunha; FA - Farinha de subproduto de arroz; x'1, x'2, x'3 - valores em pseudocomponentes.
Fonte: A autora (2025).

Figura 4.19 - Efeito das farinhas de subprodutos no índice de expansão das massas de pizza





$$y = 0,87 * x'_1 + 0,97 * x'_2 + 0,93 * x'_3 + 0,14 x'_1 x'_2 + 0,17 x'_1 x'_3 - 0,03 x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

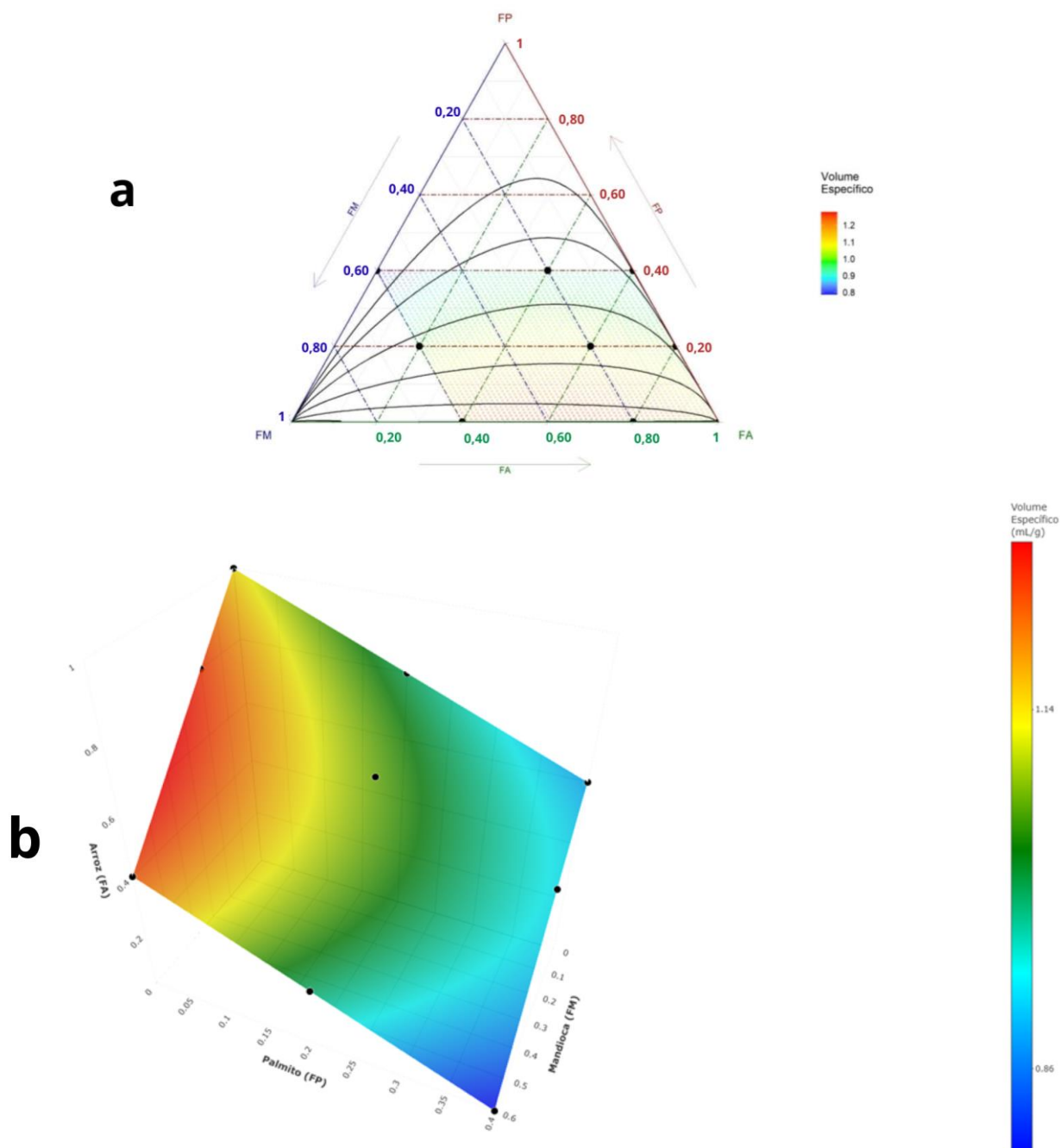
Embora o teste de Falta de Ajuste (*Lack of Fit*) tenha apresentado um p-valor significativo (0,003), indicando que o modelo quadrático pode não capturar toda a variação experimental, este resultado foi influenciado pela igualdade das repetições do ponto central (ensaios 9 e 10), cujos valores foram idênticos (0,95), fazendo com que o erro puro seja zero. Isso faz com que o teste de falta de ajuste seja muito baixo, porém isso não representa necessariamente uma falha prática de predição.

Portanto, deve-se observar os coeficientes de determinação R^2 que foi de 0,99 com o modelo sendo significativo ($p < 0,05$), demonstrando que 99% dos resultados encontrados podem ser explicados. Ao observar a Figura 19a e 19b, notou-se que a formulação com maior índice de expansão foi aquela com 0,20 de FM, 0,40 de FP e 0,40 de FA em pseudocomponentes, resultados confirmados pela Tabela 9 e pelos coeficientes lineares na equação.

A distância entre as linhas de contorno e o espaço entre elas indicam que pequenas variações das farinhas nessas regiões não causaram impacto significativo no índice de expansão.

Assim como o índice de expansão, o volume específico também apresentou um p-valor significativo para o teste de falta de ajuste ($p < 0,05$). Entretanto, ao observar o coeficiente de determinação (R^2) com valor de 0,99 indicando que o modelo explica mais de 99% da variabilidade dos dados e o Teste F da ANOVA significativo (p-valor 0,027), pode-se confirmar que a relação entre as farinhas e o volume foi significativa.

Figura 4.20 - Efeito das farinhas de subprodutos no volume específico das massas de pizza



$$y = 0,91 \cdot x'_1 + 0,71 \cdot x'_2 + 1,14 \cdot x'_3 - 0,20 x'_1 x'_2 + 0,93 x'_1 x'_3 - 0,35 x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

Em relação aos coeficientes apresentados na equação correspondente, a farinha de subproduto de arroz (FA) apresentou o maior coeficiente (x'_3 1,14), em comparação a farinha de subproduto de mandioca (FM) e palmito (FP) (x'_1 0,91) e (x'_2 0,71), respectivamente. Resultado observado na Figura 20 a e b, onde a presença da cor vermelha está no vértice da FA, apresentando os maiores resultados para volume específico. Além disso, a formação das linhas de contorno em direção a FP

demonstrou que à medida que se eleva sua proporção os resultados para o volume específico são mais baixos.

Vale ressaltar, que além da ausência do glúten, componente essencial para a expansão das massas, as fibras podem se unir a matriz proteica das massas, resultando em um produto mais compacto e com menor volume, como observado por Guimarães, Castro e Betim (2018), em pães com substituição parcial da farinha de trigo por farinhas fibrosas. Os baixos valores de volume específico e índice de expansão indicaram que a massa não conseguiu reter o gás carbônico da fermentação de forma eficiente, resultando em uma estrutura compacta.

A Tabela 10 mostra os resultados para a dureza das pizzas desenvolvidas.

Tabela 4.10 - Resultados do teste de dureza das massas de pizza

Formulações	(FM) (x'_1) (%)	(FP) (x'_2) (%)	(FA) (x'_3) (%)	Dureza (N)
1	15(0,00)	10(0,00)	75(1,00)	399,04±63,67
2	30(0,60)	10(0,00)	60(0,40)	423,01±22,88
3	15(0,00)	20(0,40)	65(0,60)	425,79±21,10
4	30(0,60)	20(0,40)	50(0,00)	365,53±31,21
5	30(0,60)	15(0,20)	55(0,20)	366,08±13,72
6	20(0,20)	20(0,40)	60(0,40)	308,24±77,32
7	15(0,00)	15(0,20)	70(0,80)	340,62±7,47
8	20(0,20)	10(0,00)	70(0,80)	291,14±45,20
9	20(0,20)	15(0,20)	65(0,60)	306,65±84,41
10	20(0,20)	15(0,20)	65(0,60)	300,99±65,12
CG glúten comercial				349,95±3,17

Notas: FM - Farinha de subproduto de mandioca; FP - Farinha de subproduto de palmito pupunha; FA - Farinha de subproduto de arroz; x'_1 , x'_2 , x'_3 - valores em pseudocomponentes. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

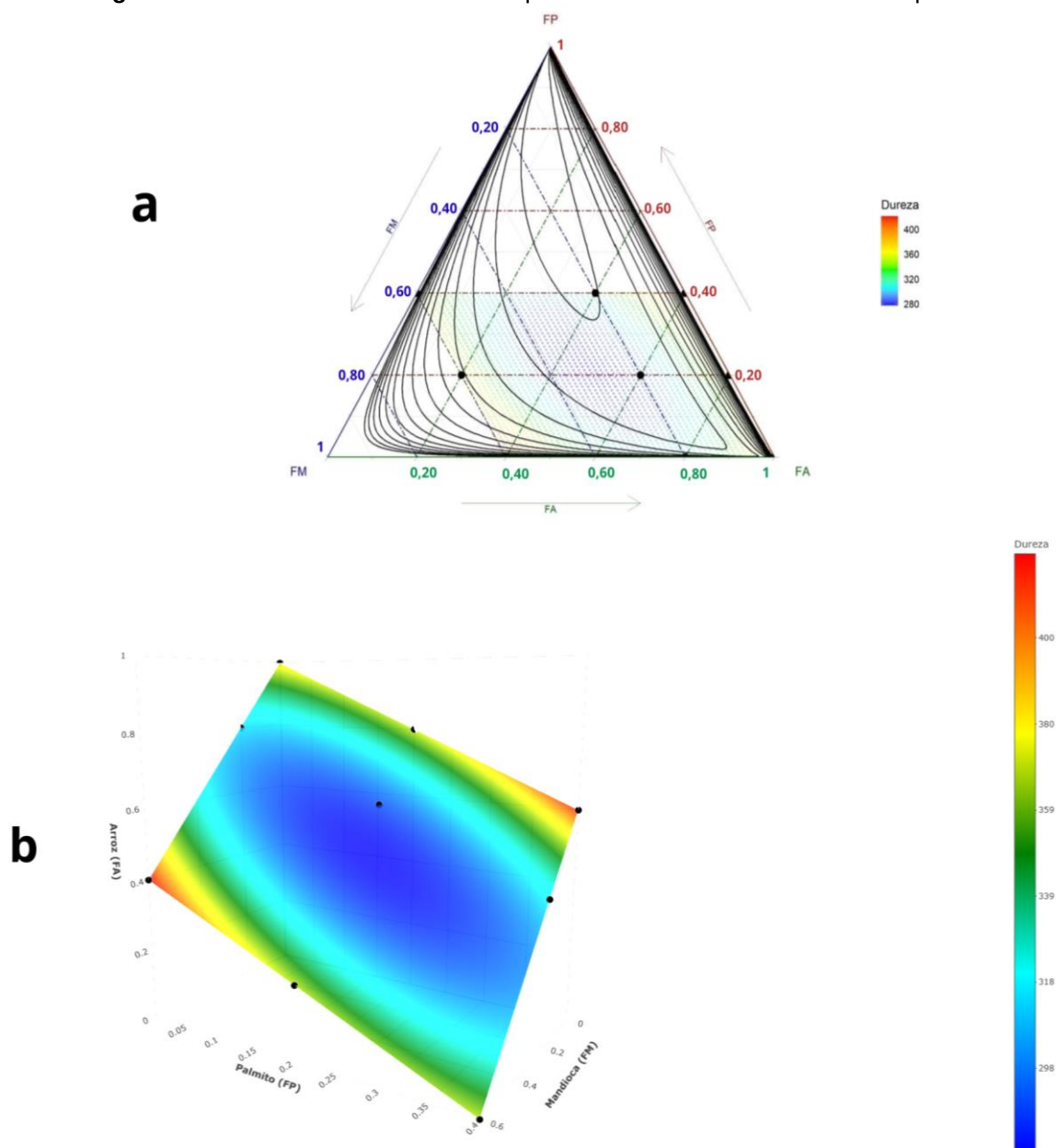
Fonte: A autora (2025).

O modelo quadrático ajustou-se aos dados de dureza, com $R^2 = 0,99$, explicando 99% da variação. Cinco dos seis coeficientes foram significativos ($p < 0,05$), indicando que tanto os efeitos lineares quanto as interações foram importantes para

descrever a dureza. O teste de falta de ajuste não foi significativo ($p>0,05$) confirmando a adequação do modelo.

Os resultados dos coeficientes apresentados na equação da Figura 21 indicam que a farinha de subproduto de arroz produziu pizzas menos duras ($x'_3 = 380,09$), enquanto com mandioca e palmito foram mais duras ($x'_1 = 852,85$; $x'_2 = 868,67$). Os coeficientes de interação foram todos negativos, mostrando que as misturas reduzem a dureza.

Figura 4.21 - Efeito das farinhas de subprodutos na dureza nas massas de pizza



$$y = 852,85 \cdot x'_1 + 868,66 \cdot x'_2 + 380,09 \cdot x'_3 - 2050,57 \cdot x'_1 x'_2 - 1013,23 \cdot x'_1 x'_3 - 669,92 \cdot x'_2 x'_3$$

Notas: a – Gráfico ternário; b – superfície de resposta.

Esses resultados podem ser confirmados pela Figura 21 a e b, a compactação das linhas de contorno observadas nos vértices FM e FP do gráfico ternário comprovou a elevada sensibilidade da dureza em relação a esses componentes, evidenciando que variações nas proporções dessas farinhas são capazes de elevar a dureza da massa. Além disso, a presença de cores azuladas no centro da superfície de resposta, demonstrou que misturas com as três farinhas tendem a diminuir a dureza das massas de pizza.

Pode-se observar na Tabela 10 que a amostra "Com glúten comercial" registrou dureza de 349,95 N, representando padrão de textura a ser alcançado, pois reflete a estrutura e a maciez que o consumidor associa a produtos tradicionais de panificação. Nas formulações elaboradas, os valores de dureza que foram de 291,14 a 425,79 N, estão relativamente próximos da comercial com glúten, sendo um indicativo positivo, visto que a textura é um dos atributos sensoriais mais determinantes na aceitação de alimentos isentos de glúten.

4.4.4 Desejabilidade

A aplicação da função de desejabilidade permitiu integrar variáveis de naturezas distintas em um único índice adimensional. Este método permitiu a análise conjunta de parâmetros físico-químicos (atividade de água e luminosidade), nutricionais (teor de fibras e carboidratos), tecnológicos (dureza) e funcionais (compostos fenólicos totais e atividade antioxidante). A escolha dessas variáveis justifica-se pela necessidade de equilibrar a qualidade sensorial com os aspectos nutricionais importantes para panificados isentos de glúten.

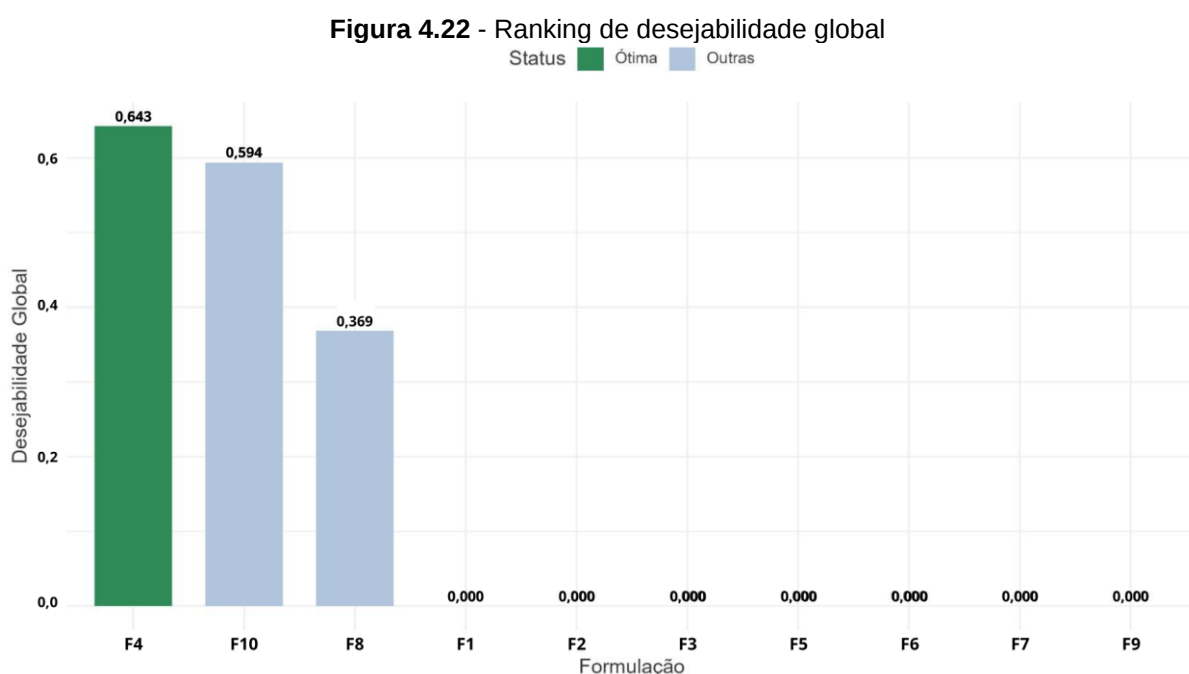
Na panificação, a Luminosidade (L^*) é um indicador crítico de aceitação. Valores de L^* mais elevados são desejáveis por aproximarem os produtos isentos de glúten das características visuais dos panificados convencionais à base de trigo, que possuem miolo mais claro (Oliveira *et al.*, 2012). Paralelamente, a minimização da atividade de água foi tratada como um dos critérios, pois a manutenção de níveis baixos é um fator determinante para a estabilidade microbiológica, reduzindo a taxa de deterioração e estendendo a vida útil (Gularte *et al.*, 2012).

O teor de fibras foi definido como um dos principais vetores de maximização na análise de desejabilidade. Em contrapartida, a redução dos carboidratos foi estabelecida como meta, visando atender à demanda por alimentos de menor índice

glicêmico, a otimização buscou, portanto, o ponto de equilíbrio entre essas duas variáveis. A inclusão dos compostos fenólicos e da atividade antioxidante como critérios, foi pelo fato destes elevarem o valor agregado do produto.

Para a dureza, o modelo de otimização trabalhou com um valor-alvo baseado na dureza da amostra comercial com glúten. No desenvolvimento de panificados isentos de glúten, o padrão de referência é a rede viscoelástica do trigo, portanto, atingir textura similar é importante para a aceitabilidade do consumidor, evitando produtos quebradiços ou duros (El khoury *et al.*, 2018).

Para visualização da desejabilidade global das formulações para esses parâmetros pode-se observar a Figura 22.



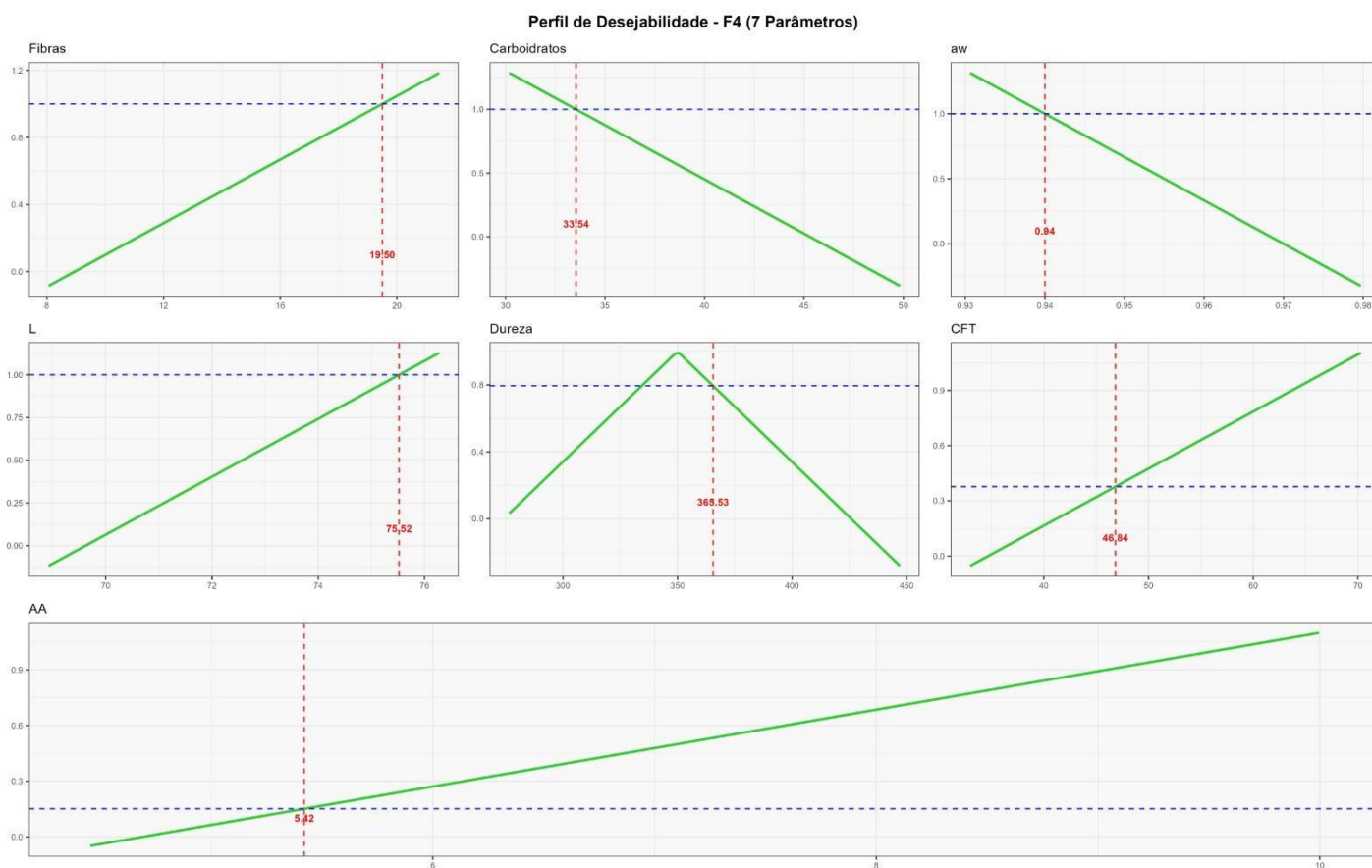
A análise destacou que as formulações F4, F10 e F8 foram superiores às demais, com base nos critérios estabelecidos. Entretanto, a formulação F4 destacou-se com uma desejabilidade global (D) de 0,643, conforme observado visualmente na Figura 23.

Sendo assim, a superioridade da F4 (30% FM, 20% FP, 50% FA) foi explicada pelo seu desempenho nos critérios, atingindo a desejabilidade máxima ($d = 1,0$) nos parâmetros de fibras $19,50 \text{ g.100g}^{-1}$, carboidratos $33,54 \text{ g.100g}^{-1}$, menor atividade de água (0,94) e produto mais claro com luminosidade de 75,52. Embora a formulação F4 tenha apresentado valores de compostos fenólicos ($46,84 \text{ mgEAG.100g}^{-1}$) e

atividade antioxidante ($5,42 \text{ mgET.g}^{-1}$) inferiores aos da formulação F10, sua escolha como ponto ótimo foi baseada no equilíbrio entre todos os parâmetros, assim, na desejabilidade global, a F4 foi a melhor formulação.

A Figura 23 apresenta o perfil de desejabilidade da formulação F4, demonstrando a representação gráfica de como cada variável real se traduz em um índice de satisfação estatística.

Figura 4.23 - Análise de sensibilidade e desejabilidade da F4



O desempenho individual da formulação F4 pode ser interpretado através dos perfis de desejabilidade na Figura 23. A linha verde representa a função de resposta predita para o parâmetro avaliado. A linha vermelha vertical indica o valor experimental exato que a formulação F4 obteve na análise para aquele parâmetro e a linha azul indica a desejabilidade individual da F4.

Para o teor de fibras, a linha vermelha posicionou-se no extremo direito da rampa ascendente, interceptando a linha azul no topo da escala, indicando que a F4 atingiu o valor máximo de resposta ($d = 1$).

Em relação aos carboidratos, observou-se um comportamento inverso das fibras. A função de desejabilidade é decrescente, priorizando a minimização do atributo. O valor de $33,54 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ situa-se no início da rampa, onde a desejabilidade é máxima ($d = 1,0$). De forma similar, a atividade de água (a_w) de 0,94 localizou-se no ponto inicial da rampa de minimização, garantindo a pontuação máxima de desejabilidade, assim como a luminosidade (L^*), que também atingiu o ápice da função.

A dureza da F4 foi a que mais se aproximou do padrão comercial com glúten utilizado como referência. No gráfico, esse comportamento é representado pela proximidade da linha vermelha (365,53 N) ao pico da função triangular (alvo de 349,95 N), resultando em uma desejabilidade individual de aproximadamente 0,80.

Diferente dos parâmetros anteriores, as variáveis de compostos fenólicos e atividade antioxidante apresentaram os menores índices, mas mesmo assim, essa formulação foi a que apresentou maior desejabilidade global para todos os parâmetros ($D = 0,6426$).

Portanto, a Formulação 4 atingiu o equilíbrio ideal entre os critérios escolhidos. Todos os pontos configuraram a F4 como a formulação ótima, a qual foi escolhida como a ideal para o processo de enriquecimento nutricional no capítulo seguinte.

4.5 CONCLUSÃO

A elaboração de massas de pizza isentas de glúten com as farinhas de subprodutos mostrou-se viável para o enriquecimento nutricional das formulações, resultando em aumento no teor de fibras alimentares, permitindo classificar 9 das 10 formulações como de “Alto Teor de Fibras”, além de reduzir significativamente o teor de carboidratos e o valor energético, tornando as formulações mais equilibradas e alinhadas às tendências de consumo de alimentos mais saudáveis.

Observou-se que as formulações apresentaram teores de compostos fenólicos de 34,70 a $66,92 \text{ mgEAG} \cdot 100\text{g}^{-1}$ e atividade antioxidante de 4,69 a $9,52 \text{ mgET} \cdot \text{g}^{-1}$.

Do ponto de vista tecnológico, as massas apresentaram coloração amarelada agregando valor sensorial, por se assemelharem com o produto comercial. Apesar de a estrutura mais compacta e da menor expansão das massas de pizza, as formulações apresentaram dureza de 291,14 N a 425,79 N, resultados relativamente próximos da massa comercial com glúten de 349,95 N.

A aplicação da função Desejabilidade identificou a formulação 4 (30% FM, 20% FP, 50% FA) como a mais promissora por aliar parâmetros como fibras, carboidratos, compostos fenólicos, atividade antioxidante, atividade de água, dureza e luminosidade, sendo, portanto, essa formulação a mais indicada dentre as demais.

Desta forma, demonstrou-se que a valorização de subprodutos agroindustriais representa uma estratégia sustentável e eficaz para o desenvolvimento de alimentos isentos de glúten, contribuindo para a inovação tecnológica e o fortalecimento da economia circular.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, E. V. *et al.* Influence of pseudocereals on gluten-free bread quality: a study integrating dough rheology, bread physical properties and acceptability. **Food Research International**, v. 150, p. 110762, 2021.

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

BEKAVAC, N. *et al.* Valorization of Food Waste: Extracting Bioactive Compounds for Sustainable Health and Environmental Solutions. **Antioxidants**, v. 14, n. 6, p. 714, 2025.

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.

BOX, G. E. P.; HUNTER, J. S.; HUNTER, W. G. **Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery**. 2. ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2005.
BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Food Science and Technology**, n.28, p.25-30. 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa no 161, de 01 de junho de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC no 724, de 01 de julho de 2022.

BRUM, P. A. R. *et al.* **Composição química e valores de energia de subprodutos do beneficiamento de arroz**. Comunicado Técnico EMBRAPA Suínos e Aves, n. 244, 2000.

CAMPO, E. *et al.* Impacto da massa fermentada nas propriedades sensoriais e na preferência dos consumidores por pães sem glúten enriquecidos com farinha de teff. **Revista de Ciência de Cereais**, v. 67, pág. 75-82, 2016.

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

CAPRILES, V. D. *et al.* Current status and future prospects of sensory and consumer research approaches to gluten-free bakery and pasta products. **Food Research International**, v. 173, p. 113389, 2023.

CAVALCANTI, R. N. *et al.* Chemical and sensory evaluation of gluten-free pizza crusts. **Journal of Culinary Science & Technology**, v. 18, n. 4, p. 308-320, 2020.
CLEMENT, C. R. *et al.* Use of peach palm flour in the formulation of a papaya paste. **Nativa**, v. 13, p. 1-19, 2022.

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.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214-219, 1980.

DJORDJEVIC, M. *et al.* Delving into the Role of Dietary Fiber in Gluten-Free Bread Formulations: Integrating Fundamental Rheological, Technological, Sensory, and Nutritional Aspects. **Polysaccharides**, v. 3, n. 1, p.59-82, 2022.

EL KHOURY, D. *et al.* A Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges. **Nutrients**, v. 10, n. 10, p. 1418, 2018.

FIORDA, F. A. *et al.* Cassava bagasse flour: byproduct utilization and comparison with cassava starch. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 4, p. 408-416, 2013.

FOX, J.; WEISBERG, S. **Companion to Applied Regression**. [Pacote R]. 2024.
GHENO, A. M. *et al.* Evaluation of technological attributes of french bread with added vegetable flour. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, e2021113, 2022.

GOMES, L. L. S. *et al.* Discos de pizza pré-assados com e sem glúten: formulação e avaliação. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 31, p. e024003-e024003, 2024.

GULARTE, M. A. *et al.* Effect of different starches on properties of gluten-free dough and bread. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 1, p. 1-10, 2012.

HOSSAIN, M. S. *et al.* Flavor and Well-Being: A Comprehensive Review of Food Choices, Nutrition, and Health Interactions. **Food Science & Nutrition**, v. 13, n. 5, p. e70276, 2025.

JAY, J. M.; LOESSNER, M. J. *Modern Food Microbiology*. 7^a ed. Springer, 2005.

KRAMER, Y. V. *et al.* Understanding the Technical-Scientific Gaps of Underutilized Tropical Species: The Case of *Bactris gasipaes* Kunth. **Plants**, v. 12, n. 2, p. 337, 2023.

KUMAR, R. *et al.* Multi-Fabaceae flour for gluten-free pizza base: Rheology, processing, microstructural, and physico-sensory characteristics. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, p. e16239, 2021.

MACHADO, W. R. C. *et al.* Incorporation of phenolic compounds in food products: a review. **Brazilian Journal of Development**, v. 1, n. 5, p. 46470-46499, 2021.

MATOS, M. E.; SANZ, T.; ROSELL, C. M. Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 150-158, 2014.

MELINI, V.; MELINI, F. Gluten-free diet: Gaps and needs for a healthier diet. **Nutrients**, v. 11, n. 1, p. 170, 2019.

MELO, T. *et al.* Desafios da panificação sem glúten: uma breve revisão. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 9, p. 1-22, 2024.

MENEZES, A. C. P. *et al.* Parâmetros físico-químicos, tecnológicos, atividade antioxidante, conteúdo de fenólicos totais e carotenoides das farinhas dos frutos do jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*). **Multi-Science Journal**, n. 1, v. 2, p. 93-100, 2019.

MORALES, P. *et al.* Lentil flour formulations to develop new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity. **Journal of Functional Foods**, v. 19, p. 537-544, 2015.

NATH, P. C. *et al.* A comprehensive review of food hydrogels: Principles, formation mechanisms, microstructure, and its applications. **Gels**, v. 9, n. 1, p. 1-26, 2023.

NOBRE, C. A. *et al.* Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016.

PHONGTAI, S. *et al.* Effects of protein enrichment on the properties of rice flour-based gluten-free pasta. **Food Science and Technology**, v. 80, n.3, p.278-285, 2017.

ROMÃO, B. *et al.* Glycemic Index of Gluten-Free Bread and Their Main Ingredients: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Foods**, v. 10, n. 506, p. 1-22, 2021.

SANTOS, P. A. *et al.* Use of agricultural by-products in extruded gluten-free breakfast cereals. **Food Chemistry**, v. 297, p. 124956, 2019.

SANTOS, O. V. *et al.* Perfil cromatográfico e compostos bioativos presentes na composição do óleo de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth): implicações para a saúde humana. **Revista de Nutrição**, v. 33, e. 190146, 2020.

SHAHIDI, F., AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and Polyphenolics in Foods, Beverages and Spices: Antioxidant Activity and Health Effects - A Review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 820-897, 2015.

SILVA M. C. R. **Pão de queijo: fundamentos práticos para a produção**. 2022. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2022.

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.

VARGAS, G. C., BELLAVER, E. H. Estudos da atividade antioxidante dos compostos fenólicos na medicina preventiva: revisão de literatura. **Visão Acadêmica**, v. 23, n. 1, p. 55-64, 2022.

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

ZHU, Y.; LI, F.; LI, Y. Rice bran: a review of its nutritional profile, functional components, and utilization. **Journal of Cereal Science**, v. 103, p. 103407, 2022.

CAPÍTULO 5 - ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL DE MASSAS DE PIZZA ISENTAS DE GLÚTEN COM *Dunaliella salina*

RESUMO

Esta pesquisa investigou a possibilidade de enriquecimento de produtos isentos de glúten que, apesar estarem se tornando populares, apresentam perfil nutricional desequilibrado, elevada densidade calórica, e na maioria das vezes, preço elevado. Na formulação de massa de pizza indicada como ótima no capítulo anterior (P0), foi feita a incorporação de 2% de *Dunaliella salina* (P2). As análises realizadas para verificar o efeito do enriquecimento compreenderam a composição proximal, carotenoides, clorofilas, compostos fenólicos totais, atividade antioxidante por DPPH e composição por UHPLC-MS/MS. Verificou-se a colorimetria e segurança microbiológica das pizzas elaboradas. A análise sensorial foi usada para verificar a aceitabilidade da incorporação da microalga. Ocorreu aumento significativo ($p < 0,05$) nas proteínas de 3,95 em P0 para 4,55 $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ na P2, cinzas de 2,30 para 2,41 $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ e lipídios de 3,02 para 3,24 $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$. Nos compostos fenólicos totais o aumento foi significativo de 34,94 para 59,05 $\text{mgEAG} \cdot 100\text{g}^{-1}$. A atividade antioxidante aumentou de 5,97 para 7,62 $\text{mgET} \cdot \text{g}^{-1}$ na P2, além dos carotenoides que partiram de não detectável na P0 para 33,19 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ na P2, com a microalga atuando como corante natural, mudando a cor da massa para laranja-avermelhada, atribuída aos carotenoides. A análise por UHPLC-MS/MS destacou o aumento de todos os compostos, principalmente do ácido nicotínico (+200%) e ácido málico, reforçando o potencial funcional que a microalga proporciona. As formulações apresentaram segurança microbiológica e boa aceitabilidade sensorial, com diferenças significativas para os atributos de sabor, cor, odor e aparência. Sendo assim, os resultados comprovam a viabilidade do enriquecimento nutricional e o potencial funcional da incorporação de *D. salina* em massas de pizza isentas de glúten. Ademais, a utilização de subprodutos pode reduzir o preço dos produtos, configurando numa proposta sustentável, com formulações fontes de fibras alimentares (19,50%).

Palavras-chave: Carotenoides, compostos fenólicos, dureza, estabilidade microbiológica, aceitação sensorial.

5.1 INTRODUÇÃO

A demanda por produtos isentos de glúten tem-se expandido para além da necessidade dos portadores da doença celíaca, abrangendo um segmento de consumidores que buscam alternativas alimentares percebidas como mais saudáveis. Contudo, uma análise sobre a composição de produtos isentos de glúten comercialmente disponíveis, revela um perfil nutricional desequilibrado, com elevado aporte calórico e preços abusivos (Myhsrtard *et al.*, 2021).

Está problemática nutricional pode ser atribuída a falta de fortificação. Farinhas de trigo são frequentemente enriquecidas com micronutrientes essenciais, como vitaminas do complexo B, ácido fólico e ferro (Swiercz *et al.*, 2023). Ademais, um problema crítico é a baixa ingestão de fibras por grande parte da população.

No contexto alimentar, a aplicação de subprodutos agroindustriais nas formulações de alimentos de grande consumo funciona mitigando o impacto ambiental, introduzindo ingredientes de alto valor nutricional na cadeia alimentar (Caponio; Piga; Poiana, 2022). Para a formulação de massas de pizza, uma proposta consiste no uso sinérgico de três subprodutos: a quirera de arroz, o bagaço de mandioca e partes do palmito pupunha.

A quirera de arroz, um subproduto gerado no beneficiamento do arroz, serve como uma base amilácea isenta de glúten, pois apresenta em média 75% desse componente (Limas, 2004).

O bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), resíduo da extração do amido, é uma fonte de fibras dietéticas variando de 30 a 60%, e também de amido, sendo que o amido remanescente varia de acordo com o nível tecnológico empregado nas unidades fabris, atingindo médias de 30 a 50% (Jasko *et al.*, 2011).

O subproduto descartado por não apresentar textura adequada no processamento de palmito pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth), quando transformado em farinha, apresenta-se com teores de fibras alimentares que podem atingir entre 63 a 65,5% (Helm; Raupp; Santos, 2014).

Desta forma, a aplicação destes ingredientes em forma de farinhas pode preencher lacunas de macronutrientes dos produtos isentos de glúten, como as fibras (Danesi *et al.*, 2018).

Para complementar o enriquecimento nutricional dessas formulações, uma possibilidade é a incorporação de *Dunaliella salina*. Esta microalga é reconhecida como fonte de proteínas, obtida em cultivos com menor uso de recursos para obtenção de fontes convencionais. Tem perfil lipídico com ácidos graxos poli-insaturados, como

ômega-3 (18:3) e ômega-9 (18:1) (Pais *et al.*, 2024). Se destaca pela capacidade de acumular quantidades expressivas de carotenoides, principalmente o β -caroteno. Esse componente se destaca como pigmento um natural, reconhecido por seu potencial antioxidante e por ser precursor da Vitamina A (Sayegh *et al.*, 2025; Viana *et al.*, 2024).

A incorporação de *D. salina* em massas de pizzas impacta nos atributos sensoriais, demandando uma investigação minuciosa por meio de testes que avaliem a aceitação pelos consumidores (Tertychnaya *et al.*, 202). A introdução de cores ou sabores não familiares pode representar uma barreira para consumidores que comumente manifestam neofobia alimentar. Essas características podem ser estrategicamente posicionadas como vetores de interesse, com a cor funcionando como um indicador visual (*health halo*) de fortificação natural do produto (Mellor *et al.*, 2022). Dessa forma, a proposta alinha-se à crescente busca dos consumidores por transparência e uso de corantes naturais, que agreguem não somente apelo sensorial, mas também valor nutricional e alegações funcionais (Valdo *et al.*, 2023).

Desta forma, este estudo propõe o desenvolvimento de massas de pizzas isentas de glúten a base de subprodutos de arroz, mandioca e palmito pupunha, avaliando o efeito da incorporação de *D. salina* nas propriedades das formulações.

5.2 OBJETIVOS

5.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver massas de pizza isentas de glúten a partir de farinhas de subprodutos do processamento de arroz, palmito pupunha e mandioca com adição de *D. salina*.

5.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a composição nutricional da *D. salina*.
- Elaborar formulações de massas de pizzas com subprodutos de arroz, mandioca e palmito pupunha e incorporar em uma delas 2% de *D. salina*.
- Realizar análises da composição nutricional e avaliar as propriedades tecnológicas das massas elaboradas.

- Determinar os teores de carotenoides, clorofilas, compostos fenólicos, atividade antioxidante e o perfil dos compostos da *D. salina* e das massas de pizza.
- Submeter as formulações de pizza à análise sensorial.

5.3 MATERIAIS E MÉTODOS

5.3.1 Obtenção das Massas de Pizza

Foram realizados testes a fim de definir as proporções da microalga utilizada nas formulações. A formulação 4 escolhida no capítulo anterior (capítulo 4) como a ótima, foi utilizada para a incorporação da *D. salina*, sendo uma formulação sem adição da *D. salina* (P0) e outra com a microalga (P2). As farinhas e os ingredientes foram utilizados nas proporções definidas na Tabela 1.

Tabela 5.1 - Formulações para as massas de pizzas isentas de glúten sem e com *D. salina*

Componentes (g.100g ⁻¹)								
Form	FM	FP	FA	Fermento	Açúcar	Sal	Goma xantana	<i>D. salina</i>
P0	30	20	50	6	4	2	2	0
P2	30	20	50	6	4	1,5	2	2

Notas: Form - Formulação; FM - farinha de subproduto de mandioca; FP - farinha de subproduto de palmito pupunha; FA - Farinha de subproduto de arroz; P0 - massa de pizza sem microalga; P2 - massa de pizza com 2% de *D. salina*.

Fonte: A autora (2025).

Foram utilizados goma xantana, fermento biológico instantâneo, sal, açúcar refinado, nas mesmas proporções para as duas formulações. Na formulação com a microalga, adicionou-se 2% da *D. salina* da empresa *Alfa Chemistry* localizada nos Estados Unidos da América.

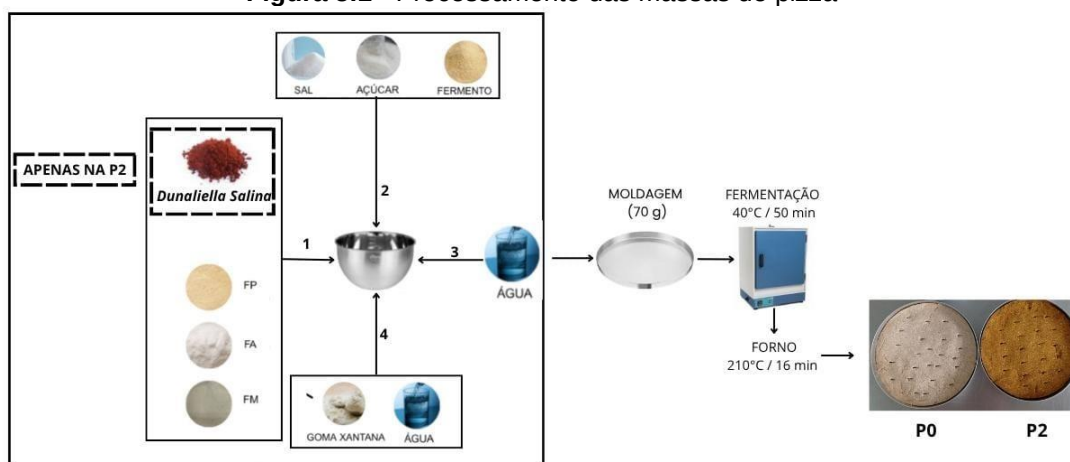
O processo de mistura iniciou-se pela homogeneização de todos os ingredientes secos (farinhas, sal, açúcar e fermento), para a formulação da P2, seguiu-se os passos citados, porém, com a adição de 2% da microalga aos secos. A redução de 0,5 g de sal na formulação P2 foi compensada pela adição da *D. salina*, devido ao seu cultivo em meio salino, a biomassa supre a diminuição desse ingrediente.

Em seguida, aos ingredientes secos foi adicionado 50 mL de água a 34°C para ativar o fermento e a homogeneização foi realizada manualmente. A goma xantana foi hidratada em um recipiente separado com 60 mL de água fervente, promovendo sua solubilização. Por último, o gel formado foi adicionado à mistura, garantindo uma melhor distribuição na massa.

As massas foram divididas em porções de 70 g e moldadas em formato de discos, utilizando formas de alumínio 12 cm x 1 cm. Em seguida, foram cobertas com um pano limpo e colocadas para fermentar em estufa New Lab Modelo NL-81-150, a 40°C por 50 min. Para evitar o ressecamento das massas, foi inserido um recipiente com água no interior da estufa.

O forno foi pré-aquecido por 10 min a 240°C e as massas de pizza foram assadas por 16 min a 210°C. Antes de assar, realizou-se furos na superfície das massas, para facilitar a cocção no interior dos discos de pizza. As etapas seguidas podem ser observadas na Figura 1.

Figura 5.1 - Processamento das massas de pizza



Notas: FP - farinha de subproduto de palmito pupunha; FA - Farinha de subproduto de arroz; FM - farinha de subproduto de mandioca; P0 - massa de pizza sem microalga; P2 - massa de pizza com 2% de *D. salina*.

Fonte: A autora (2025).

5.3.2 Composição Proximal

A composição proximal das massas foi realizada por metodologias oficiais propostas pela AOAC (2005) citadas no item 3.3.2 apresentado no capítulo 3. Assim como as fibras alimentares que foram determinadas utilizando o método enzimático-gravimétrico conforme descrito pela AOAC (nº 985.29),

Para calcular o valor energético (VEA), foram usados fatores de conversão para carboidratos 4 kcal (ou 17 kJ), lipídios 9 kcal (ou 37 kJ), e proteínas 4 kcal (ou 17 kJ). Para o cálculo do valor energético com inclusão de fibras (VNE) adicionou-se o fator de conversão 2 kcal (8 kJ g) em relação a cada grama de fibras, estando alinhadas com a IN nº 75/2020 e com Menezes *et al.* (2016).

5.3.3 Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante

5.3.3.1 Extratos

Para determinação dos compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante, foram obtidos extratos a partir de 1 g das amostras com 30 mL de etanol 80% para a atividade antioxidante, e substitui-se o etanol por 30 mL de água deionizada para obtenção dos extratos utilizados para a análise de compostos fenólicos. As misturas foram submetidas à agitação em banho ultrassom (USC 1400) à temperatura ambiente durante 3 h. A seguir, foram centrifugadas a 1000 rpm por 20 min e filtradas em papel filtro (Bolanho; Danesi; Beleia, 2014).

5.3.3.2 Compostos fenólicos e atividade antioxidante

Determinados conforme metodologias descritas no item 3.3.3 do capítulo 3.

5.3.4 Composição por UHPLC-MS/MS

A análise foi realizada utilizando um sistema de ultra cromatografia líquida de alta eficiência com espectrometria de massa em série (UHPLC-MS/MS) (8050 MS, Nexera X2 HPLC, Shimadzu®, Kyoto, Japão) para a detecção e quantificação dos compostos-alvo. A separação cromatográfica foi conduzida em uma coluna C18 (5 µm, 150 × 4,6 mm, Shimadzu®, Kyoto, Japão), mantida em forno de coluna a 40°C. A fase móvel foi bombeada a uma vazão de 0,5 mL.min⁻¹ e composta por dois solventes: Solvente A (água Milli-Q acidificada com 0,1% de ácido fórmico, grau MS, Sigma-

Aldrich®, St. Louis, MO, EUA) e Solvente B (metanol, grau MS, *Merck*®, Darmstadt, Alemanha). Foi aplicada uma eluição em gradiente da seguinte forma: 20% de Solvente B de 1 a 9 min, aumentando para 40% de Solvente B de 10 a 15 min, e retornando a 10% de Solvente B de 16 a 30 min.

Antes da injeção, o extrato etanólico foi filtrado por meio de um filtro com poros de 0,45 µm (Filtrilo, PDVF, Colombo, Brasil). Um volume de injeção de 1 µL foi introduzido no sistema. O detector do espectrômetro de massas operou no modo de Monitoramento de Reações Múltiplas (MRM), utilizando uma fonte de ionização por *electrospray* negativa (EIS). Essa configuração foi otimizada para alta eficiência, alcançando uma taxa de varredura de até 555 eventos MRM por segundo. O argônio foi utilizado como gás de colisão, ajustado para uma pressão máxima de 20 mPa, com energias de colisão fixadas em 30 V para o modo negativo e -15 V para o modo positivo.

Os parâmetros da interface do instrumento foram controlados: as taxas de fluxo dos gases de nebulização e de secagem foram de 3 L.min⁻¹ e 10 L.min⁻¹, respectivamente. A voltagem da interface foi de 3 kV, a corrente de 7 µA, e a temperatura da interface foi ajustada para 300 °C.

Para garantir uma quantificação confiável, foi utilizado um conjunto de 39 padrões analíticos (*Sigma Aldrich*®) para a construção das curvas de calibração ($R^2 \geq 0,99$). Esses padrões foram preparados em uma faixa de concentração de 10 a 250 µg.L⁻¹ e incluíram diversas classes de compostos, tais como: aldeídos/cetonas (isovanilina, hidroxibenzaldeído, siringaldeído, sinapaldeído), flavonoides (catequina, rutina, naringenina, epicatequina, kaempferol), ácidos fenólicos (ácido siríngico, ácido ferúlico, ácido clorogênico, ácido protocatecuico, ácido vanílico, ácido sinápico, ácido *p*-hidroxibenzóico, ácido *p*-cumárico, ácido cafeico) e ácidos orgânicos/alcaloides (teobromina, ácido fumárico, ácido nicotínico, ácido quínico, cafeína, ácido málico).

A aquisição dos dados e a quantificação foram realizadas utilizando o software Insight, versão 5.123 (Shimadzu®, Kyoto, Japão).

5.3.5 Carotenoides, Clorofilas A e B

Para a obtenção dos extratos, 1 g de amostras foram homogeneizadas com 30 mL de etanol 50% e submetido à agitação mecânica por 30 min. Após este período, uma alíquota de 5 mL do extrato foi transferida para um frasco, ao qual foram adicionados 30 mL de acetona 85%. A mistura permaneceu em repouso e protegida da luz, à temperatura ambiente, por 15 h.

Em seguida, a solução foi filtrada em papel de filtro para um balão volumétrico de 50 mL, e o volume foi completado até a marca de aferição com acetona 85%. As absorvâncias foram lidas em espectrofotômetro (UVmini-1240, SHIMADZU®) nos comprimentos de onda de 440, 644 e 662 nm. O teor de carotenoides totais foi calculado utilizando as fórmulas fotolorimétricas (Equações 1, 2 e 3) descritas por Askar e Treptow (1993), com os resultados expressos em mg.L⁻¹.

$$\text{Clorofila A (mg.L}^{-1}\text{)} = (9,784 \times \text{abs } 662) - (0,99 \times \text{abs } 644) \quad (1)$$

$$\text{Clorofila B (mg.L}^{-1}\text{)} = (21,426 \times \text{abs } 644) - (4,65 \times \text{abs } 662) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Carotenoides totais (mg.L}^{-1}\text{)} \\ = (4,695 \times \text{abs } 440) - 0,268 (\text{clorofila A} + \text{clorofila B}) \quad (3) \end{aligned}$$

5.3.6 Análise Colorimétrica

A avaliação da coloração das massas foi realizada de acordo com a metodologia citada no item 3.3.4.3 do capítulo 3.

5.3.7 Avaliação Microbiológica

As análises foram realizadas conforme os padrões exigidos pela Instrução Normativa nº 161, de 1º de junho de 2022, da Anvisa (BRASIL, 2022), que define os limites microbiológicos para as massas de pizza.

As massas foram elaboradas a fim de se obter 25 g e analisadas no mesmo dia, após pré-assamento. Foram pesadas assepticamente e homogeneizadas com 225 mL de água peptonada 0,1%. As preparações das diluições decimais subsequentes foram realizadas em tubos contendo 9 mL de água peptonada 0,1%. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Analisou-se a presença de

Salmonella sp, *Bacillus cereus* presuntivo, *Escherichia coli*, *Staphylococcus coagulase positiva* e bolores e leveduras.

Para *Salmonella* sp., as amostras foram incubadas em estufa bacteriológica por 24 h a 35°C, esta é a etapa de pré-enriquecimento. Após este período, foi realizada a etapa de enriquecimento seletivo, incubando 1 mL da amostra do dia anterior em caldo seletivo, utilizando 9 mL do caldo Rappaport, incubados a 35 - 37 °C por 24 h. No dia seguinte, foi realizado o plaqueamento diferencial, onde foram inoculados 0,1 mL da amostra do caldo seletivo em superfície de ágar *Salmonella Shigella* (SS) e ágar Xilose Lisina Desoxicolato (XLD). Incubadas em 35 – 37 °C por 24 h, conforme 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 de número mais provável (NMP) APHA 9.2015 foi realizado para determinação de *Escherichia coli*. Enquanto a contagem de *Staphylococcus coagulase positiva* foi conduzida conforme o método do BAM/FDA 12.2019. Por fim, a contagem de bolores e leveduras pelo método de plaqueamento em superfície (APHA 21. 2015).

5.3.8 Análise Sensorial

O painel de avaliadores 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 do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Anexo A) aprovado pelo Comitê de Ética da UEPG (CAAE: 84317024.6.0000.0105) (Anexo B).

A análise sensorial contou com 50 avaliadores e foi realizada com a entrega de duas amostras codificadas contendo a pizza sem adição de microalga (P0) e a pizza com 2% da microalga (P2) preparadas no dia da análise sensorial, servidas com molho de tomate comercial (Pomarola® sabor tradicional), fatia de tomate cereja e queijo muçarela ralado, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 5.2 - Amostras servidas para a análise sensorial



Fonte: A autora (2025).

Os dados foram coletados em forma de questionário via *Google Forms* (Apêndice B). Foram realizadas perguntas avaliando o perfil de consumo do avaliador, avaliação de atributos e impressão global por escala hedônica de 9 pontos e os resultados apresentados por suas médias e desvio padrão.

Foi feita uma avaliação dos 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).

Os resultados da aceitabilidade foram expressos pelo Índice de Aceitabilidade (IA), calculado conforme a Equação 4.

$$IA = \frac{A}{B} \times 100 \quad (4)$$

Onde: A = Média aritmética das notas atribuídas ao produto pelos provadores.

B = Nota máxima que o produto poderia receber (9), na escala hedônica utilizada.

5.3.9 Análise Estatística

As análises foram realizadas em triplicata e os resultados apresentados como média $\pm$ desvio padrão. Para avaliar diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as duas

amostras, foi aplicado o teste t student (não pareado), cuja versão (para variâncias iguais ou desiguais) foi definida com base no teste de Levene.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.4.1 Composição Proximal

Na Figura 3 as massas elaboradas podem ser observadas, seguidas pelos resultados da composição proximal para a *D. salina* e para as massas elaboradas apresentados na Tabela 2 e 3.



Notas: P0 - massa de pizza controle sem microalga; P2 - massa de pizza com 2% de *D. salina*.
Fonte: A autora (2025).

Tabela 5.2 - Composição proximal (g.100g⁻¹) da *D. salina*

Amostra/ Análise	Umidade	Proteínas	Fibras	Cinzas	Lipídios	CHO	VNE (kcal)
DS	4,13±0,36	28,86±0,24	1,81*	5,02±0,16	3,86±0,02	56,32	380

Notas: DS - *D. salina*. * dados da literatura. CHO = carboidratos. VNE = valor energético com fibras.
Fonte: A autora (2025).

Tabela 5.3 - Composição proximal das massas de pizzas elaboradas

Componente (g.100g ⁻¹)							
Amostra / Análise	Umidade	Proteínas	Fibras	Cinzas	Lipídios	CHO	VNE (kcal)
P0	35,45±0,05	3,95±0,16	19,50	2,30±0,03	3,02±0,18	35,78	225
P2	35,58±0,03	4,55±0,22	19,52*	2,41±0,01	3,24±0,20	34,70	225
(p-valor)	>0,05	<0,05	-	<0,05	<0,05	-	-
Notas: P0 - pizza sem microalga; P2 - pizza com 2% de <i>D. salina</i> . *dados obtidos por cálculo. CHO = carboidratos. VNE = valor energético com fibras. Fonte: A autora (2025).							

A *D. salina* (DS) apresentou baixo teor de umidade de 4,13 g.100g⁻¹, dentro dos padrões encontrados em outros estudos (El-Baz; Abdo; Hussein, 2017; Konar *et al.*, 2023). A umidade das massas de pizza de 35,45 g.100g⁻¹ (P0) e 35,58 g.100g⁻¹ (P2), embora elevada, é esperado para massas isentas de glúten formuladas com alta proporção de fibras. As fibras das farinhas utilizadas, apresentam elevado índice de absorção de água (IAA), dificultando a evaporação durante o processo de cocção (Gallagher; Gormley; Arendt, 2004). Este resultado está em conformidade com o de Pasqualone *et al.* (2022), que avaliaram pizzas isentas de glúten e relataram teores de umidade na massa assada variando entre 38,1 a 39,3 g.100g⁻¹. Da mesma forma, Capriles e Arêas (2013) demonstraram que a adição de bagaço de mandioca, rico em fibras, aumenta a umidade de pães isentos de glúten.

Os teores de proteínas da *D. salina* atingiram 28,86 g.100g⁻¹, resultado semelhante aos encontrados por outros autores, variando de 19,1 a 38,3 g.100g⁻¹ (Colusse *et al.*, 2020). A *D. salina* é reconhecida por sua alta qualidade, contendo um perfil balanceado de aminoácidos essenciais para a nutrição humana, sendo a leucina e a lisina os mais abundantes (Sui *et al.*, 2021). Além disso, cabe destacar a crescente demanda por proteínas não convencionais e com elevado valor biológico, aumentando a relevância dessa biomassa (Konar *et al.*, 2023).

As proteínas para P0 foram de 3,95 g.100 g⁻¹, este resultado é menor que para formulações com glúten. Entretanto, a literatura confirma que produtos isentos de glúten frequentemente apresentam deficiência proteica (Roncofro, 2023). Em

contrapartida, a adição de 2% da *D. salina* trouxe vantagens à massa, visto que o teor de proteínas aumentou significativamente ($p < 0,05$), de 3,95 (P0) para 4,55 g.100 g⁻¹ (P2). Resultado semelhante do encontrado por Sahin (2020), que relatou aumento significativo no teor de proteínas de biscoitos que foram enriquecidos com a microalga.

Em outro estudo sobre panificados, observou-se que a adição de microalgas melhorou a composição de aminoácidos, com aumentos substanciais em treonina, metionina, isoleucina e leucina, quando comparadas ao grupo controle sem microalgas (Figueira *et al.*, 2011).

A formulação P0 apresentou 19,50 g.100g⁻¹ de fibras, sendo classificada como um produto de "alto teor de fibras" (ANVISA, 2012). A partir de um cálculo de aproximação, considerou-se que a incorporação de 2% da microalga na formulação P2, não alteraria significativamente o valor desse nutriente. Portanto, infere-se que a amostra P2 mantém a classificação de "alto teor de fibras".

Vale ressaltar que as fibras desempenham papéis essenciais na saúde intestinal ao promoverem o aumento do volume fecal e a regulação do trânsito intestinal, atuando na prevenção da constipação intestinal (Anderson *et al.*, 2009). A ingestão adequada de fibras está associada à melhoria do controle glicêmico, pois auxilia na redução da velocidade de absorção de glicose, e à diminuição dos níveis séricos de colesterol, fatores que são protetores contra doenças cardiovasculares e diabetes tipo 2 (Weickert; Pfeiffer, 2008).

Em contraste, a maioria dos produtos de panificação industrializados apresenta baixo teor de fibras. O consumo predominante desses produtos agrava um problema nutricional preocupante, uma vez que a ingestão de fibras pela população mundial frequentemente se encontra abaixo das recomendações dietéticas (Slavin, 2013). Essa insuficiência é um fator que contribui para o aumento da incidência de doenças crônicas e problemas gastrointestinais, ressaltando a relevância de formulações ricas em fibras desenvolvidas.

As cinzas, que representam o conteúdo mineral, aumentaram significativamente ($p < 0,05$) de 2,30 g.100g⁻¹ (P0) para 2,41 g.100g⁻¹ (P2). Estudos demonstraram que a incorporação de *D. salina* em pães pode aumentar o conteúdo de minerais essenciais, como fósforo e cálcio (Igual *et al.*, 2022). Este resultado é relevante para produtos isentos de glúten, uma vez que essas dietas são

frequentemente associadas a deficiências de micronutrientes, como ferro, zinco, magnésio e cálcio (Vici *et al.*, 2016).

O teor de lipídios da *D. salina* foi de 3,86 g.100g⁻¹, próximo ao encontrado por Molino *et al.* (2018) de 3,49 g.100g⁻¹ e por El-Baz, Abdo e Hussein (2017) de 3,0 g.100g⁻¹. Trabalhos como o de Madkour *et al.* (2025), cita a *D. salina* contendo ácidos graxos essenciais, incluindo ácidos graxos ômega-3. Destes, cerca de 50% são 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, sendo associado a benefícios no desenvolvimento cerebral e na prevenção de doenças cardiovasculares (Cakmak; Kaya; Asan-Ozusaglam, 2014).

Entre as pizzas, o teor de lipídios variou significativamente ($p < 0,05$). Ressalta-se a importância do enriquecimento em dietas isentas de glúten, que são frequentemente criticadas por seu desequilíbrio nutricional e em muitas vezes ricas em gorduras saturadas (Demirkesen; Ozkaya, 2023). Desta forma, o perfil de ácidos graxos da P2 é nutricionalmente superior ao da P0, pois a microalga pode conferir ao produto benefícios potenciais à saúde cardiovascular e anti-inflamatórios associados ao consumo de Ômega-3 (Cakmak; Kaya; Asan-Ozusaglam, 2014).

Sendo assim, os resultados da composição proximal das massas de pizza confirmam o efeito positivo da adição da *D. salina* em massas isentas de glúten.

5.4.2 Compostos Fenólicos, Atividade Antioxidante e Carotenoides da *D. salina* e das massas de pizza

As Tabela 4 e 5 apresentam os resultados para compostos fenólicos, atividade antioxidante e carotenoides da *D. salina* e das massas de pizza.

Tabela 5.4 - Teores de compostos fenólicos, atividade antioxidante, carotenoides e clorofilas na *D. salina*

Amostra / Análise	CF (mgEAG.100g ⁻¹)	AA (mgET.g ⁻¹)	Carotenoides (mg.L ⁻¹)	Clorofila A (mg.L ⁻¹)	Clorofila B (mg.L ⁻¹)
DS	1.783,05±62,22	1,26±0,06	386,60±4,38	103,52±3,10	145,65±1,63

Notas: CF - compostos fenólicos; AA - atividade antioxidante; DS - *D. salina*.

Fonte: A autora (2025).

Tabela 5.5 - Teores de compostos fenólicos, atividade antioxidante, carotenoides e clorofilas nas massas de pizza elaboradas

Amostra / Análise	CF (mgEAG.100g ⁻¹)	AA (mgET.g ⁻¹)	Carotenoides (mg.L ⁻¹)	Clorofila A (mg.L ⁻¹)	Clorofila B (mg.L ⁻¹)
P0	34,94±1,13	5,97±0,31	ND	4,04±3,65	2,94±1,98
P2	59,05±5,02	7,62±0,31	33,19±4,76	24,78±2,90	29,90±3,55
(p-valor)	<0,05	<0,05	-	<0,05	<0,05

Notas: CF - compostos fenólicos; AA - atividade antioxidante; P0 - pizza sem microalga; P2 - com 2% de *D. salina*; ND = não detectado.

Fonte: A autora (2025).

Os compostos fenólicos e atividade antioxidante encontrados na massa P0, estão associados às farinhas de subprodutos utilizadas nas formulações. Principalmente à participação da farinha de subproduto de palmito (FP), rica em fenólicos (113,27 mgEAG.100g⁻¹), resultado encontrado no capítulo 3.

Contudo, a fortificação de produtos de panificação com ingredientes com fins funcionais é uma estratégia interessante, em vistas da crescente demanda por esse tipo de produto (Siró *et al.*, 2008). A *D. salina* (DS) vem recebendo atenção para essa finalidade, sendo reconhecida como uma fonte segura (GRAS - *Generally Recognized as Safe*) (Shanaida *et al.*, 2025).

Em relação ao teor de compostos fenólicos, este aumentou significativamente de 34,94 em P0 para 59,05 mgEAG.100g⁻¹ em P2, consequência da adição da *D. salina*, que é rica em fenólicos (1.783,05 mgEAG.100g⁻¹). Dados encontrados na literatura corroboram que a adição de microalgas, mesmo em níveis baixos, aumenta significativamente o conteúdo fenólico total de produtos de panificação (Garzón *et al.*, 2025).

Estudos demonstram que o teor de compostos fenólicos na *D. salina* varia de acordo com seus métodos de cultivo, com resultados entre 225 a 878 mgEAG.100g⁻¹. Hin *et al.* (2020) concluíram que biscoitos enriquecidos com *D. salina* apresentaram mais compostos fenólicos totais e atividade antioxidante.

Com relação à atividade antioxidante (AA) (Tabela 3), medidos pelo ensaio DPPH, a amostra sem microalga (P0) apresentou 5,57 mgET.g⁻¹, enquanto a pizza com 2% de *D. salina* (P2) mostrou valor significativamente (p<0,05) maior de 7,62 mgET.g⁻¹. Este aumento é um resultado promissor, pois demonstra que os compostos bioativos transferidos da *D. salina* para a massa de pizza acarretam em alegações

funcionais ao produto. Este aumento na capacidade de sequestrar radicais livres (DPPH) pode ser justificada pela presença de múltiplos compostos antioxidantes, incluindo os fenólicos, os carotenoides e as clorofilas.

A crescente demanda por corantes naturais tem impulsionado a pesquisa de microalgas como a *D. salina* (Deprá; Santos; Jacob-lobes, 2020), que se destaca por sua capacidade de biossintetizar pigmentos de alto valor agregado, como carotenoides e clorofilas (Mehariya *et al.*, 2021). Os dados obtidos (Tabela 5) validam esse potencial, demonstrando que a *D. salina* é uma fonte destes compostos, com 386,60 mg.L⁻¹ de carotenoides totais e altos níveis de Clorofila A (103,52 mg.L⁻¹) e B (145,65 mg.L⁻¹).

Notavelmente, pode-se observar aumento no teor de carotenoides na massa com a microalga, partindo de não detectável (P0) para 33,19 mg.L⁻¹ na massa com 2% (P2). A importância dos carotenoides vai além da sua atuação como pigmento, são compostos lipofílicos com atividade antioxidante, capazes de neutralizar radicais livres (Pérez-Gálvez; Viera; Roca, 2020).

No contexto nutricional, dentre os carotenoides encontrados na *D. salina*, o β -caroteno age como precursor da vitamina A. O organismo humano converte o β -caroteno em retinol, um micronutriente essencial para processos biológicos vitais, incluindo a manutenção da visão, o funcionamento adequado do sistema imunológico e a saúde da pele (Barbosa *et al.*, 2023).

Além dos carotenoides, a adição de 2% de *D. salina* resultou em aumento significativo ($p < 0,05$) nos níveis de Clorofila A de 4,04 mg.L⁻¹ (P0) para 24,78 mg.L⁻¹ (P2) e Clorofila B de 2,94 mg.L⁻¹ (P0) para 29,90 mg.L⁻¹ (P2). Estudos indicam que clorofilas apresentam propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e potenciais efeitos detoxificantes, auxiliando na neutralização e eliminação de toxinas do organismo (Tumolo; Lanfer-Marquez, 2012).

Portanto, o enriquecimento de massas de pizza com *D. salina* representa uma estratégia promissora para alegações funcionais, agregando um complexo de compostos bioativos na formulação.

5.4.3 Composição por UHPLC-MS/MS

Os compostos fenólicos são metabólitos bioativos derivados do metabolismo secundário das plantas, apresentando elevada atividade antioxidante. O consumo de

alimentos ricos nesses compostos tem sido associado à redução de várias doenças crônicas (Melini; Melini; Acquistucci, 2020). No caso dos subprodutos, o de palmito pupunha destaca-se entre as matérias-primas estudadas como uma fonte rica e promissora de compostos fenólicos totais e ácidos fenólicos (Alves *et al.*, 2015).

Nas microalgas, a produção de compostos fenólicos (como ácidos fenólicos, flavonoides e aldeídos) é um mecanismo de defesa influenciado pelo meio de cultivo e pelas condições de estresse. A limitação de nutrientes, como o nitrogênio, é uma estratégia que desvia o fluxo metabólico para a biossíntese de metabólitos secundários protetores (Prieto *et al.*, 2011). De maneira similar, a exposição a alta irradiância luminosa ou a salinidade elevada impõe um estresse oxidativo à microalga, ativando vias metabólicas que levam à bioacumulação desses compostos com potente atividade antioxidante e fotoprotetora. Portanto, a otimização controlada desses fatores é muito utilizada como estratégia biotecnológica para maximizar a síntese de fenólicos desta microalga (Custódio *et al.*, 2021).

A Tabela 6 apresenta o perfil de ácidos fenólicos, ácidos orgânicos, flavonóides e aldeídos identificados nas amostras de pizza elaboradas e na *D. salina*.

Tabela 5.6 - Composição por UHPLC-MS/MS na *D.salina* e nas massas de pizza

Classe	Composto	Conteúdo (µg. g ⁻¹ b.s)			
		<i>D. salina</i>	P0	P2	(p-valor)*
Ácidos Orgânicos	Teobromina	0,34 ±0,01	0,12±0,00	0,28±0,02	< 0,05
	Ácido Nicotínico	6,54±0,03	0,95±0,00	2,85±0,06	< 0,05
	Cafeína	0,67±0,03	0,16±0,00	0,35±0,02	< 0,05
	Ácido Quínico	ND	0,18±0,01	0,37±0,03	< 0,05
	Ácido Fumárico	ND	1,06±0,03	1,60±0,00	< 0,05
	Ácido Málico	5,61± 0,23	10,56±0,03	37,50±1,68	< 0,05
ΣÁcidos Orgânicos		13,16±0,30	13,03±0,04	42,9±1,68	
Ácidos Fenólicos	Ácido Cafeico	ND	0,25± 0,00	0,51±0,00	< 0,05
	Ácido Protocatecuico	0,53 ± 0,03	1,53± 0,10	1,59±0,01	> 0,05

	Ácido Clorogênico	10,16±0,33	ND	0,48±0,05	-
	Ácido Ferúlico	8,72±0,36	1,12 ±0,17	2,70±0,05	< 0,05
	Ácido <i>p</i> -cumarico	4,35±0,14	1,52± 0,03	1,48±0,20	> 0,05
	Ácido Vanílico	ND	1,22±0,10	2,18±0,06	< 0,05
	Ácido <i>p</i> -hidroxibenzóico	1,81±0,17	11,60±0,06	7,85±0,04	< 0,05
Σ Ácidos Fenólicos		25,57±0,54	17,24±0,23	16,79±0,22	
Flavonoides	Catequina	ND	0,55±0,02	1,00±0,04	< 0,05
	Naringenina	ND	1,91±0,10	0,88±0,03	< 0,05
	Epicatequina	1,25±0,04	0,52±0,02	0,92±0,08	< 0,05
Σ Flavonoides		1,25±0,04	2,40±0,03	3,13±0,075	
Aldeídos Fenólicos	Isovanilina	1,49±0,01	0,92±0,01	0,93±0,05	> 0,05
	Hidroxibenzaldeído	2,21±0,17	0,71±0,01	0,95±0,00	< 0,05
	Seringaldeído	ND	0,62±0,03	0,90±0,02	< 0,05
	Sinapaldeído	ND	0,15±0,00	0,35±0,01	< 0,05
Σ Aldeídos Fenólicos		3,70±0,18	2,40±0,11	3,13±0,05	

Notas: Σ - somatório; ND - não detectável; P0 - pizza controle sem microalga; P2 - com 2% de *D. salina*; * estáticas realizadas entre P0 e P2.

Fonte: A autora (2025).

A *D. salina* (DS) destacou-se pela concentração total de ácidos orgânicos (13,19 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e ácidos fenólicos (25,57 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), sendo o ácido clorogênico (10,16 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e o ácido ferúlico (8,72 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), os compostos predominantes, demonstrando ser uma fonte natural de compostos bioativos.

A inclusão de *D. salina* na pizza (P2), ocasionou um aumento significativo ($p<0,05$) em todos os ácidos orgânicos, mas principalmente para o ácido málico, partindo de 10,56 P0 para 37,50 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Este aumento é relevante, visto que o ácido málico é reconhecido por suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antienvelhecimento, antidepressivas, anti-hipertensivas e hipoglicêmicas (Koriem; Tharwat, 2023). Este ácido é utilizado como aditivo alimentar, por possuir ação

acidulante. Por este motivo, é frequentemente aplicado em formulações alimentícias para intensificar o sabor e aumentar a estabilidade do produto (Brasil, 2023; Da Silva; Donadone, 2025).

Além disso, a adição de 2% de *D. salina* na amostra P2 resultou em aumento significativo de ácido nicotínico, elevando seu teor de 0,95 para 2,85 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, representando elevação de 200% deste composto em relação a amostra sem microalga. Este resultado posiciona a *D. salina* como ingrediente altamente nutritivo, pois esse ácido é conhecido como niacina, que atua como precursor de coenzimas necessárias para o metabolismo e por sua estabilidade térmica, sendo uma das vitaminas mais resistentes ao calor no processo de panificação (Killeit, 2024).

Em relação aos ácidos fenólicos, embora encontrados em baixas concentrações, o ácido clorogênico demonstrou potencial enriquecimento, passando de não detectável na P0 para 0,48 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ na P2. Este ácido é um dos fenólicos dietéticos mais estudados, com pesquisas relacionadas aos seus efeitos no metabolismo da glicose e propriedades anti-inflamatórias (Naveed *et al.*, 2018).

Outro resultado relevante encontrado, foi o aumento de mais de 140% no teor de ácido ferúlico (de 1,12 P0 para 2,70 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ P2), pois esse ácido encontrado também na amostra P0 é predominante em muitos cereais, mesmo nos sem glúten, como o arroz (Kumar; Pruthi, 2014). Entretanto, o aumento significativo observado na P2 sugere que a *D. salina* agiu como uma fonte deste composto.

Para os flavonoides e aldeídos fenólicos, todos os resultados demonstraram aumento significativo ($p < 0,05$) da P0 (sem microalga) para a P2 (2% de *D. salina*), com exceção da isovanilina, demonstrando que os compostos bioativos da microalga migraram para a massa da pizza.

5.4.4 Características Colorimétricas

A cor é um atributo sensorial primário que influencia a aceitação do consumidor, e a *D. salina* tem sido utilizada na indústria alimentícia como um corante natural (Sun *et al.*, 2023). A sua cor laranja-vermelhada intensa deve-se ao acúmulo de altos níveis de β -caroteno (Al-Mhanna; Pistorius; Sammarraie, 2023). A análise dos parâmetros CIELab da Tabela 7 confirma uma transformação nas características da cor das massas.

Tabela 5.7 - Colorimetria das massas de pizza

ANÁLISES					
	L	a*	b*	Hue°	Croma
P0	73,25±0,52	3,65±0,24	20,95±0,08	80,12±0,55	21,27±0,66
P2	50,10±0,86	20,54±0,75	78,90±0,12	75,44±0,70	81,53±0,48
(p-valor)	(p < 0,05)	(p < 0,05)	(p < 0,05)	(p < 0,05)	(p < 0,05)

Notas: P0 - sem *D. salina*; P2 - com 2% de *D. salina*; L - Luminosidade.

Fonte: A autora (2025).

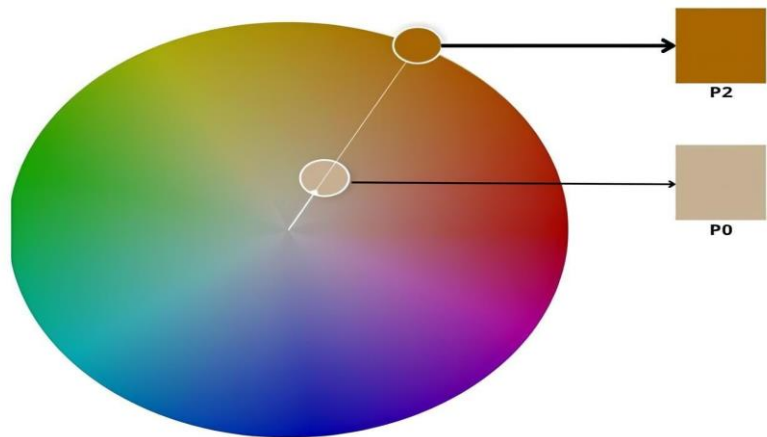
A amostra P0 exibiu valores de L = 73,25, a* = 3,65 e b* = 20,95. Estes dados indicam uma massa relativamente clara (L* alto), com uma tonalidade predominantemente amarelada (b* positivo) e pouco vermelha (a* baixo), o que é típico da formulação composta por farinhas de subprodutos de mandioca, palmito pupunha e arroz, notadamente claras.

A amostra P2 (com 2% DS) mostrou L = 50,10, a* = 20,54 e b* = 78,90. O valor de L diminuiu 31,6%, indicando escurecimento da massa. Estudos sobre a adição de *D. salina* em massas mostraram ser mais escura, com a luminosidade diminuindo (El-az; Abdo; Hussein, 2017). O valor a* (vermelho) aumentou de 3,65 para 20,54, confirmando a pigmentação ocasionada pelo β -caroteno presente na microalga.

O Croma, que mede a intensidade ou saturação da cor, aumentou de 21,27 em P0 para 81,53 em P2, isto significa que a cor da massa P2 é mais vívida e saturada que a P0 (sem microalga).

O ângulo Hue define a tonalidade da cor (onde 0° é vermelho e 90° é amarelo). O Hue de P0 foi 80,12°, muito próximo do amarelo puro (90°). O Hue de P2 diminuiu para 75,44°. A diminuição do ângulo Hue representa um deslocamento no círculo de cores, afastando-se do amarelo puro e aproximando-se do laranja, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 5.4 - Círculo de cor CIELab



Fonte: A autora (2025).

5.4.5 Avaliação Microbiológica

Os resultados obtidos na análise microbiológica das massas de pizzas elaboradas estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 5.8 - Resultado das análises microbiológicas das massas de pizzas isentas de glúten

ANÁLISES	AMOSTRA		LIMITES	
	P0	P2	m	M
<i>Bacillus cereus</i> / g	< 10 ²	< 10 ²	10 ²	10 ³
<i>Bolores e leveduras</i> / g	< 10 ²	< 10 ²	10 ²	10 ⁴
<i>Escherichia coli</i> / g	< 5x10	< 5x10	5x10	5x10 ²
<i>Estafilococos coagulase positiva</i> / g	< 5x10 ²	< 5x10 ²	5x10 ²	5x10 ³
<i>Salmonella</i> / 25 g	Ausência	Ausência	Ausência / 25 g	-

Notas: P0 - sem *D. salina*; P2 - com 2% de *D. salina*; m - limite aceitável; M - limite máximo.

Fonte: A Autora (2025).

Os resultados revelaram as condições higiênico-sanitárias adotadas na elaboração das massas e dos ingredientes usados, com segurança para o consumo, uma vez que se verificou a ausência de todos os microrganismos patogênicos e indicadores analisados.

Para *Salmonella*, não se observaram colônias típicas de cor escura, configurando em ausência dessa contaminação. Como resultado para *B. cereus*, não foi detectado colônias típicas esféricas, com bordas perfeitas, planas e secas,

rodeadas por um halo de precipitação, bem como para *Estafilococos coagulase positiva*.

Para *E. coli* não houve aparecimento de gás nos tubos, apresentando resultado negativo, assim como não ocorreu o crescimento de Bolores e Leveduras nas placas. Estes resultados atendem aos padrões estabelecidos pela legislação brasileira (RDC N° 724/2022 da ANVISA), corroborando a eficácia das Boas Práticas de Fabricação (BPF) empregadas no processo.

5.4.6 Análise Sensorial

A primeira etapa da análise sensorial consistiu na coleta de dados para traçar o perfil das 50 pessoas que participaram como avaliadores. A faixa etária mais recorrente foi de 19 a 25 anos (54,0%), seguida por jovens de até 18 anos (22,0%). 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, faixas que compreendem a maioria dos participantes.

Dos 50 avaliadores, 80,0% (40) foram do gênero feminino e 20,0% (10) do gênero masculino. A predominância feminina na amostra (80,0%) é superior à média nacional. Dados do IBGE de 2022 mostram que 57,5% dos alunos matriculados em instituições de ensino superior são mulheres, contra 42,5% de indivíduos do gênero masculino.

Quanto ao nível de escolaridade, 52,0% dos avaliadores se enquadram no ensino superior incompleto. Os grupos seguintes foram apenas ensino médio completo, com 24,0%, e Pós-graduação, com 22,0%. O resultado é justificável, tendo em vista que a pesquisa foi conduzida na universidade, onde a maioria dos participantes está matriculada em cursos de graduação.

A segunda etapa de resultados buscou traçar o perfil de consumo e preferências relacionadas a hábitos alimentares específicos dos 50 avaliadores. Ao analisar o consumo de pizza, a frequência mais recorrente foi de 1 vez por mês (42,0% dos avaliadores), seguida por "De 15 em 15 dias" (34,0%). Somados, esses grupos mostram que 76,0% dos participantes consomem pizza em uma frequência quinzenal ou mensal. O consumo semanal (incluindo "1 vez por semana" e "2 a 3 vezes por semana") foi relatado por 12,0% dos participantes.

O consumo de alimentos isentos de glúten mostrou-se baixo. A maioria dos avaliadores indicou "Raramente" (44,0%) ou "Não consumo" (38,0%). Apenas 10,0% relataram consumo frequente. Um perfil similar foi encontrado no consumo de produtos integrais, onde a categoria mais marcada foi "Raramente" (46,0%), seguida por "Esporadicamente" (30,0%). O consumo frequente foi indicado por 14,0% do grupo. Estes resultados sugerem que, para estes avaliadores, o consumo de produtos integrais e isentos de glúten não faz parte da rotina alimentar regular da maioria.

Foi realizado o levantamento dos atributos que mais influenciam na decisão de compra, os resultados estão ilustrados na Tabela 9.

Tabela 5.9 - Atributos levados em consideração na compra de massas de pizza pelos avaliadores que participaram da análise sensorial

Atributos	Respostas	Porcentagem
Ingredientes	28	56%
Preço	10	20%
Marca	10	20%
Certificação	2	4%

Fonte: A autora (2025).

O atributo que demonstrou maior influência na decisão de compra foram os ingredientes utilizados com 56%, alinhado com o movimento global "*Clean Label*" (Rótulo Limpo). Resultados similares com os de Aschemann-Witzel, Varela e Peschel (2019), que demonstram que os consumidores usam a lista de ingredientes como principal indicador de saudabilidade e qualidade do produto.

A Tabela 10 apresenta o resultado para a pergunta "O que você mais gosta em massas de pizza?".

Tabela 5.10 - Atributos preferidos em massas de pizza de acordo com os avaliadores que participaram da análise sensorial

Atributos	Respostas	Porcentagem
Maciez	31	62,00%
Aparência	8	16,00%
Crocância	8	16,00%
Sabor neutro	3	6,00%

Fonte: A autora (2025).

O atributo preferido dos avaliadores quando pensam em uma massa de pizza foi a maciez com 62% das respostas. Segundo Vacari, Gularte e Santos (2021), a textura é a primeira característica avaliada pelo sentido do tato, sendo esse seu principal atributo sensorial, assim como a crocância com 16%.

Na Tabela 11 encontram-se as médias obtidas na análise sensorial das massas de pizza. Para essa análise, foi comparado a pizza P0 (sem *D. salina*) com a P2 (2% de *D. salina*).

Tabela 5.11 - Valores médios para os atributos sensoriais avaliados das massas de pizza sem *D. salina* (P0) e com 2% de *D. salina* (P2)

Atributos	P0	P2	(p-valor)
Impressão Global	7,84±1,40	7,45±1,59	>0,05
Aparência	8,10±1,14	7,37±1,52	<0,05
Cor	7,78 ±1,25	7,18±1,69	<0,05
Odor	7,96±1,14	7,10±1,42	<0,05
Textura	7,00±1,96	6,52±1,70	<0,05
Sabor	7,92±1,28	6,86±1,97	<0,05

Fonte: A autora (2025).

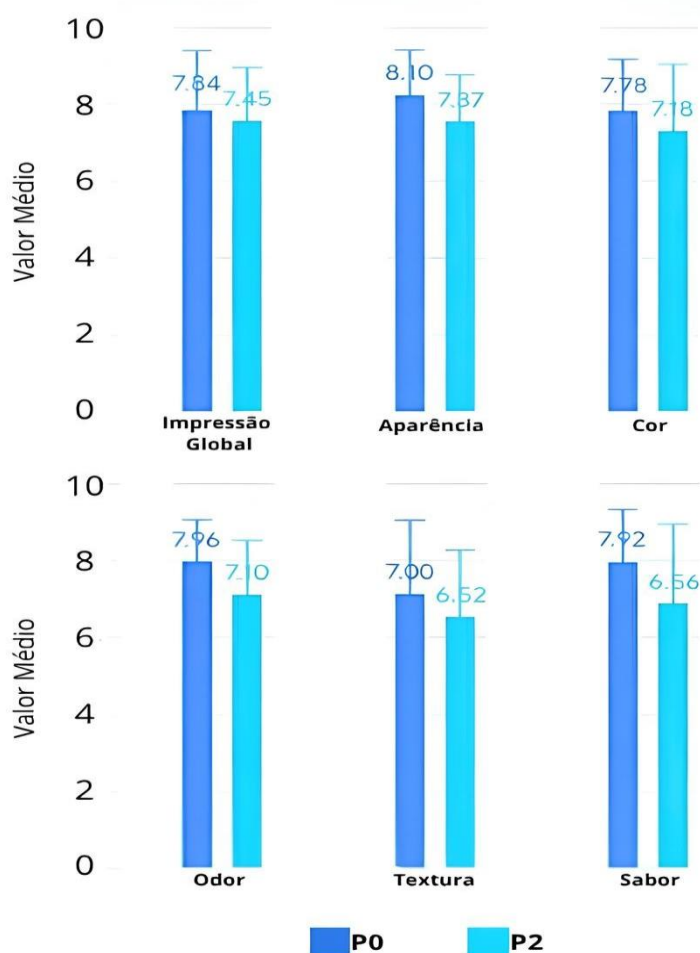
Os resultados são classificados como "baixa aceitabilidade" para médias de 1 a 4, "média aceitabilidade" para a média 5 e "boa aceitabilidade" para médias de 6 a 9 (Costa, 2014). Todos os atributos avaliados para as amostras apresentaram boa aceitabilidade.

No atributo sabor, apesar de a massa sem a microalga ter apresentado média maior, a amostra com a microalga também se encontra dentro da faixa de boa aceitabilidade, o que indica que o enriquecimento da massa com *D. salina* foi aceita nesse aspecto.

Porém, as notas atribuídas para todos os atributos, exceto para a impressão global, apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$), demonstrando uma aceitação maior para a pizza sem microalga. As médias gerais demonstram que a pizza com adição de 2% de *D. salina*, embora com médias menores em comparação com a pizza

P0, ainda assim apresentaram resultados satisfatórios, visto que se encontram na faixa de boa aceitabilidade.

Figura 5.5 - Média das notas referentes aos atributos sensoriais avaliados das massas P0 e P2



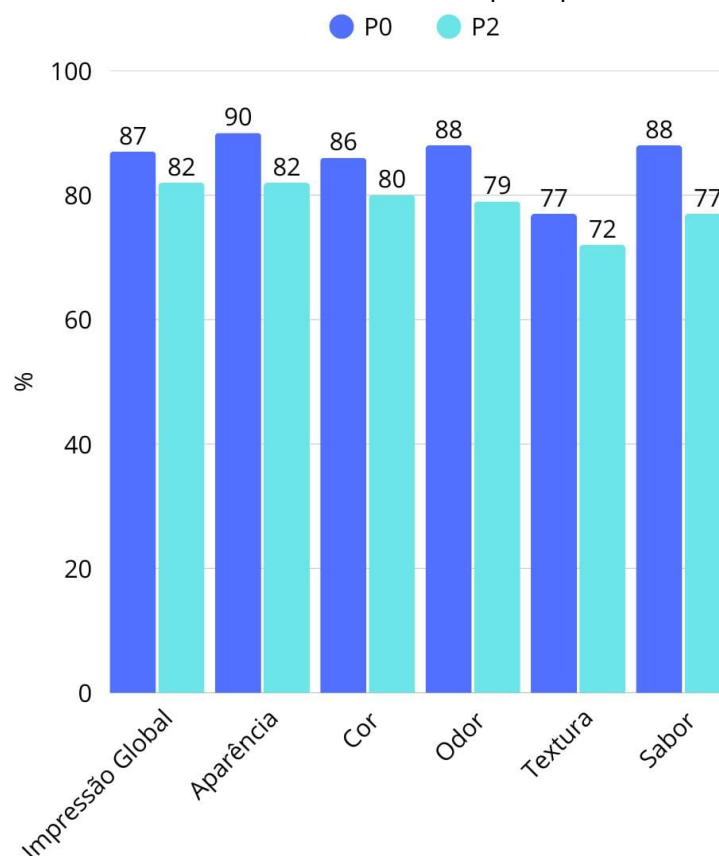
Notas: P0 - controle sem microalga; P2 - com 2% de *D. salina*.

Fonte: A autora (2025).

Pela Figura 5 é possível observar uma queda em alguns atributos, sendo mais acentuada nos atributos "Aparência" (8,10 para 7,37), "Sabor" (7,92 para 6,86) e "Textura" (de 7,10 para 6,52).

Ao contrário da P0, que gerou desvios menores, a P2 dividiu opiniões, sugerindo que a cor e o sabor inovador, embora aceitáveis, podem gerar estranheza e menor aceitação por parte de um segmento de consumidores (Gouveia *et al.*, 2008).

A Figura 6 apresenta o índice de aceitabilidade geral dos participantes com relação às duas massas de pizza avaliadas.

Figura 5.6 - Índice de aceitabilidade das massas de pizza para cada atributo

Notas: P0 - controle sem microalga; P2 - com 2% de *D. salina*.

Fonte: A autora (2025).

De acordo com Dutcosky (2007), os produtos submetidos à análise sensorial de aceitabilidade são classificados quanto ao seu Índice de Aceitabilidade (IA) seguindo faixas de porcentagem de boa aceitabilidade 70% e ótima aceitabilidade 90%. A massa P0 demonstrou ótima aceitabilidade no atributo aparência, atingindo um índice de 90%. A adição de 2% de *D. salina* (P2) manteve a aparência com um alto índice de aceitabilidade, em 86%, ainda dentro da faixa de boa aceitabilidade.

A massa P0 obteve maior aceitabilidade na impressão global (87%) e de sabor (88%) em comparação com a formulação com microalga (P2), que marcou 82% e 77%, respectivamente. No entanto, as massas apresentaram boa aceitabilidade nesses atributos, uma vez que todos os índices ficaram acima de 70%.

A Tabela 12 apresenta os 10 atributos mais citados pelos avaliadores para as duas amostras de massa de pizza, P0 (sem microalga) e P2 (com 2% de *D. salina*), revelando diferenças claras na percepção do consumidor sobre as amostras fornecidas.

Tabela 5.12 - Os 10 principais atributos escolhidos pelos avaliadores que participaram da análise sensorial para a massa de pizza P0 (sem *D. salina*) e pizza P2 (com 2% de *D. salina*)

Ordem	Atributos (P0)	Porcentagem	Atributos (P2)	Porcentagem
1	Macia	94%	Aroma agradável	68%
2	Aroma agradável	88%	Macia	66%
3	Saboroso	84%	Espessura agradável	64%
4	Cor agradável	82%	Boa textura	62%
5	Espessura agradável	76%	Saboroso	62%
6	Boa textura	66%	Cor agradável	62%
7	Uniformidade da massa	56%	Uniformidade da massa	46%
8	Firmeza	40%	Sabor residual	42%
9	Sabor residual	18%	Firmeza	40%
10	Crocante	12%	Cor desagradável	24%

Fonte: A autora (2025).

Nota-se que para a amostra P0, os atributos de maior ocorrência foram, "Macia" (94%), "Aroma agradável" (88%) e "Saboroso" (84%), indicando que a formulação sem microalga atendeu às expectativas dos avaliadores para uma massa de pizza tradicional, destacando-se pela maciez e sabor.

A incorporação da *D. salina* (P2) provocou uma mudança no perfil sensorial avaliado. A primeira alteração foi na textura, a percepção de "Macia" (66%) diminuiu. A percepção de sabor também foi alterada, sendo citada por 62% dos provadores, uma diminuição de 22%, quando comparada com a amostra sem microalga (P0). Embora "Aroma" (68%) e "Saboroso" (62%) permaneçam relevantes, houve um aumento na menção de "Sabor residual" (42% em P2, contra apenas 18% em P0).

Este é um dos desafios sensoriais mais comuns no uso de microalgas em alimentos. No caso, da *D. salina* pode conferir *off-flavors*, frequentemente descritos como marinhos, herbáceos ou de peixe, que não são familiares ao paladar do consumidor neste tipo de produto (Lafarga *et al.*, 2020).

Entretanto, o nível de 2% usado na massa de pizza P2 não é aleatório, mas sim conhecido como ponto ideal do ponto de vista sensorial identificado na literatura.

Níveis de fortificação mais altos como 3 a 5% são rejeitados pelos consumidores, devido a mudanças acentuadas na cor e no sabor. Níveis mais baixos, especificamente na faixa de 1 a 2%, são relatados como sendo os preferidos e considerados sensorialmente aceitáveis pelos consumidores (Baune *et al.*, 2024; Wu *et al.*, 2023). Desta forma, mesmo com a mudança nos atributos sensoriais, as formulações obtiveram boa aceitabilidade sensorial com resultados superiores a 7 (Dutcosky, 2007).

5.5 CONCLUSÃO

Em termos de composição proximal, a formulação com a microalga (P2) apresentou aumento significativo ($p < 0,05$) nos teores de proteínas, elevando-se de $3,95 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (P0) para $4,55 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (P2), de cinzas que passaram de $2,30 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (P0) para $2,41 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (P2), ajudando a compensar as deficiências minerais comuns em dietas isentas de glúten. Além disso, houve um aumento significativo no teor de lipídios, de $3,02 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ para $3,24 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$.

Pela análise de compostos fenólicos e atividade antioxidante, a P2 apresentou aumento significativo ($p < 0,05$). Em particular, a concentração de carotenoides, antes não detectável na P0, atingiu $33,19 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ na P2. A análise por UHPLC-MS/MS reforçou o enriquecimento, com aumento de 200% no ácido nicotínico e aumento no ácido málico. Esses compostos potencializam o valor nutricional e apelo funcional da massa com microalga.

A avaliação sensorial indicou boa aceitabilidade global para as formulações (P0: 7,84; P2: 7,45). Embora a massa P2 tenha apresentado médias significativamente menores ($p < 0,05$), permaneceram na faixa de "boa aceitabilidade", e a incorporação de *D. salina* não ocasionou rejeição.

Este estudo demonstrou a viabilidade ocasionadas pelo enriquecimento de massas de pizza isentas de glúten com 2% de *D. salina* (P2), utilizando uma formulação base rica em fibras ($19,50 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$), com farinhas de subprodutos agroindustriais de arroz, mandioca e palmito pupunha.

Dessa forma, essa estratégia é promissora, contribuindo para preencher lacunas nutricionais, oferecendo um produto com potencial funcional, segurança microbiológica e boa aceitabilidade sensorial e, o que abre caminho para a sua inserção no mercado de alimentos inovadores.

REFERÊNCIAS

- AL-MHANNA, N.; PISTORIUS, M.; AL SAMMARRAIE, L. Optimization of the cultivation conditions of the green algae *Dunaliella salina* by using simplex method. **Process**, v. 11, n. 1, p. 292, 2023.
- ALVES, V. M. *et al.* APROVEITAMENTO DO SUBPRODUTO DO PROCESSAMENTO DE PUPUNHA E AVALIAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS. **Revista de Biotecnologia & Ciência**, v. 4, n. 1, 2015.
- 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.
- ANSON, N. M. *et al.* Bioavailability of ferulic acid is determined by its bioaccessibility. **Journal of Cereal Science**, v. 49, n. 2, p. 296-300, 2009.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 2005. (18th ed). Gaithersburg: AOAC International.
- ASCHEMANN-WITZEL, J.; VARELA, P.; PESCHEL, A. O. Categorização de ingredientes alimentares pelos consumidores: os consumidores os percebem como os produtores de "rótulos limpos" esperam? Uma exploração com mapeamento projetivo. **Qualidade e Preferência Alimentar**, v. 71, p. 117-128, 2019.
- ASKAR, A.; TREPTOW, H. **Quality Assurance in Tropical Fruit Processing**. Springer Science & Business Media, 2013.
- BARBOSA, M. *et al.* The microalga *Dunaliella* and its applications: a review. **Applied Phycology**, v. 4, n. 1, p. 99-120, 2023.
- BAUNE, M. C. *et al.* Impact of Four Different *Chlorella vulgaris* Strains on the Properties of Durum Wheat Semolina Pasta. **Applied Sciences**, v. 14, n. 19, p. 8760, 2024.
- 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.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Food Science and Technology**, n.28, p.25-30. 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa nº 161**, de 01 de junho de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. **Instrução Normativa nº 211**, de 01 de março de 2023.

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.

CAPONIO, F.; PIGA, A.; POIANA, M. Valorization of food processing by-products. **Foods**, v. 11, n. 20, p. 3246, 2022.

CATTELL, R. B. The Scree Test for the Number of Factors. **Multivariate Behavioral Research**, v. 1, n. 2, p. 245–276, 1966.

ÇELEKLI, A.; ÖZBAL, B.; BOZKURT, H. Challenges in Functional Food Products with the Incorporation of Some Microalgae. **Foods**, v. 13, n. 5, p. 725, 2024.

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.

CUSTÓDIO, L. *et al.* Enhancement of Bioactive Compounds Production in *Dunaliella salina* by Modulation of Culture Conditions: A Review. **Molecules**, v. 26, n.10, p. 2977, 2021.

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.

DA SILVA DONADONE, D. B. *et al.* Enhancement of Phenolic Recovery by Probe-Type Ultrasound-Assisted Extraction of Acerola By-Product and Evaluation of Antioxidant and Antibacterial Activities. **Applied Sciences**, v. 15, n. 16, p. 9154, 2025.

DEMIRKESEN, I.; OZKAYA, B. Recent strategies for tackling the problems in gluten-free diet and products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 3, p. 571-597, 2022.

DEPRÁ, M. C.; SANTOS, A. M.; JACOB-LOPES, E. Sustainability metrics in the microalgae-based pigments production: a life cycle assessment approach. In: **Pigments from Microalgae Handbook**. Springer International Publishing, p. 363-390, 2020.

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.

FELLOWS, P. J. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.

FIGUEIRA, F. S. *et al.* Elaboration of gluten-free bread enriched with the microalgae *Spirulina platensis*. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, p. 308-316, 2011.

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

GARZON, R. *et al.* Interaction of dough acidity and microalga level on bread quality and antioxidant properties. **Food Chemistry**, v. 344, p. 128710, 2021.

GÓMEZ, M. *et al.* Effect of hydrocolloids on gluten-free rice dough. **Journal of Cereal Science**, v. 53, n. 3, p. 347-353, 2011.

HAIR, J. F. **Análise de dados multivariados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HELM, C. V.; RAUPP, D. da S.; SANTOS, A. F. dos. Development of peach palm fibrous flour from the waste generated by the heart of palm agribusiness. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 36, n. 1, p. 171-177, 2014.

IGUAL, M. *et al.* Microalgae-enriched breadsticks: Analysis for vitamin C, carotenoids, and chlorophyll a. **Food Science and Technology International**, v. 28, n. 1, p. 26-31, 2022.

JASKO, A. C. *et al.* Caracterização físico-química de bagaço de mandioca *in natura* e após tratamento hidrolítico. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 5, n. 1s, 2011.

KILLEIT, U. Vitamin retention in extrusion cooking. **Food Chemistry**, v. 49, n. 2, p. 149-155, 1994.

KILCAST, D.; SUBRAMANIAM, P. (Ed.). **Food and Beverage Stability and Shelf Life**. Elsevier, 2011.

KUMAR, N.; PRUTHI, V. Potential applications of ferulic acid from natural sources. **Biotechnology Reports**, v. 4, p. 86-93, 2014.

KONAR, N. *et al.* Spray-drying optimization for *Dunaliella salina* and *Porphyridium cruentum* biomass. **Drying Technology**, v. 41, n. 15, p. 2371-2384, 2023.

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

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food: principles and practices**. Springer Science & Business Media, 2010.

LAZARIDOU, A. *et al.* Effects of hydrocolloids on rheological, and bread making properties of gluten-free doughs. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 3, p. 1033-1042, 2007.

LIMAS, A. O. **Desenvolvimento de farinha fermentada a partir da quirera de arroz**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MADKOUR, M. *et al.* Dietary *Dunaliella salina* microalgae enriches eggs with carotenoids and long-chain omega-3 fatty acids, enhancing the antioxidant and immune responses in heat-stressed laying hens. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 12, p. 1545433, 2025.

MANCINI, P. *et al.* Consumers' attitude towards gluten-free food: Determinants and trends. **Foods**, v. 9, n. 7, p. 940, 2020.

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.

MELLOR, C. *et al.* Consumer knowledge and acceptance of "algae" as a protein alternative: A UK-based qualitative study. **Foods**, v. 11, n. 12, p. 1703, 2022.

MELINI, V.; MELINI, F.; ACQUISTUCCI, R. Phenolic compounds and bioaccessibility thereof in functional pasta. **Antioxidants**, v. 9, n. 4, p. 343, 2020.

MENEZES, A. C. P. *et al.* Parâmetros físico-químicos, tecnológicos, atividade antioxidante, conteúdo de fenólicos totais e carotenoides das farinhas dos frutos do jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*). **Multi-Science Journal**, n. 1, v. 2, p. 93-100, 2019.

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.

MYHRSTAD, M. C. W. *et al.* Nutritional quality and costs of gluten-free products: a case-control study of food products on the Norwegian marked. **Food & Nutrition Research**, v. 65, p. 6121, 2021.

NAES, T.; BROCKHOFF, P. B.; TOMIC, Oliver. **Statistics for Sensory and Consumer Science**. John Wiley & Sons, 2011.

NAVEED, M. *et al.* Chlorogenic acid (CGA): A pharmacological review and call for further research. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 97, p. 67-74, 2018.

PAIS, R. *et al.* Bioactive lipids in *Dunaliella salina*: implications for functional foods and health. **Foods**, v. 13, n. 20, p. 3321, 2024.

PASQUALONE, A. *et al.* The effectiveness of extruded-cooked lentil flour in preparing a gluten-free pizza with improved nutritional features and a good sensory quality. **Foods**, v. 11, n. 3, p. 482, 2022.

PÉREZ-GÁLVEZ, A.; VIERA, I.; ROCA, M. Carotenoids and chlorophylls as antioxidants. **Antioxidants**, v. 9, n. 6, p. 505, 2020.

PRIETO, A. *et al.* Effect of nitrogen starvation on the accumulation of phenolic compounds in *Dunaliella salina*. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, n.2, p. 221-226, 2011.

SAHIN, O. I. Functional and sensorial properties of cookies enriched with *Spirulina* and *Dunaliella* biomass. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 10, p. 3639-3646, 2020.

SALEHI, F. Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review. **Food Science & Nutrition**, v. 7, n. 11, p. 3391-3402, 2019.

SANTOS, A. F. *et al.* Atividade antifúngica de óleos essenciais de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) e cravo (*Syzygium aromaticum*) em pão de forma. **Recital-Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara**, v. 3, n. 2, p. 177-189, 2021.

SAYEGH, F. *et al.* Extraction of β -caroteno from the microalga *Dunaliella salina* using bacterial lipase enzyme and organic solvent under varying stress conditions. **Frontiers in Marine Science**, v. 12, p. 1543147, 2025.

SHANAIDA, M. *et al.* Carotenoids for Antiaging: Nutraceutical, Pharmaceutical, and Cosmeceutical Applications. **Pharmaceuticals**, v. 18, n. 3, p. 403, 2025.

SIRÓ, I. *et al.* Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance - A review. **Appetite**, v. 51, n. 3, p. 456-467, 2008.

SLAVIN, J. Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. **Nutrients**, v. 5, n. 4, p. 1417-1435, 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.

SUN, H. *et al.* Microalgae-derived pigments for the food industry. **Marine Drugs**, v. 21, n. 2, p. 82, 2023.

SWIERCZ, A. *et al.* Does a gluten-free diet result in nutritional deficiencies? – a review of literature. **Journal of Education, Health and Sport**, v. 34, n. 1, p. 140-153, 2023.

TERTYCHNAYA, T. N. *et al.* New aspects of application of microalgae *Dunaliella salina* in the formula of enriched bread. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2020. p. 012021.

TORRI, L.; PELLEGRINI, N.; MORGILLO, G.; MORA, C.; CIAPPONI, S. Acceptance of gluten-free bread: A study on sensory profile and consumer preference. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 481-490, 2013.

TUMOLO, T.; LANFER-MARQUEZ, U. M. Copper chlorophyllin: A food colorant with bioactive Properties ?. **Food Research International**, v. 46, n. 2, p. 451-459, 2012.

VALDO, L. S. *et al.* Elaboração de massa alimentícia vegetal sem glúten e adicionada de corantes naturais. **Scientia Naturalis**, v. 5, n. 1, 2023.

VIANA, N. *et al.* análise produtiva e mercadológica de β -caroteno obtido da microalga *dunaliella sp.*: cenários atuais e perspectivas futuras. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, p. e04891, 2024.

VICI, G. *et al.* Gluten free diet and nutrient deficiencies: A review. **Clinical nutrition**, v. 35, n. 6, p. 1236-1241, 2016.

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

WEICKERT, M. O.; PFEIFFER, A. F. H. Metabolic Effects of Dietary Fiber Consumption and Prevention of Diabetes 1. **The Journal of Nutrition**, v. 138, n. 3, p. 439-442, 2008.

WU, J. Y. *et al.* The utility of algae as sources of high value nutritional ingredients, particularly for alternative/complementary proteins to improve human health. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, p. 1277343, 2023.

YASSIN, Z. *et al.* Effects of xanthan gum, lambda-carrageenan and psyllium husk on the physical characteristics and glycaemic potency of white bread. **Foods**, v. 11, n. 10, p. 1513, 2022.

CAPÍTULO 6 - AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL DAS MASSAS DE PIZZA EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO

RESUMO

De posse de resultados que demonstraram a viabilidade de elaboração de massas de pizza isentas de glúten com subprodutos de mandioca, arroz e palmito pupunha, enriquecidas com *D. salina*, cabe avaliar aspectos de armazenamento e vida útil da tecnologia proposta. Este trabalho avaliou o armazenamento das massas de pizza isentas de glúten durante 15 dias. Foram avaliados três métodos: congelamento, refrigeração e o uso de óleo essencial de orégano (OEO) em temperatura ambiente. Os resultados mostraram que, enquanto o congelamento aumentou significativamente a dureza das massas em comparação ao Dia 1, a refrigeração e o uso do óleo essencial de orégano (OEO) mantiveram as texturas próximas das massas no dia do preparo. O tratamento com OEO não apresentou diferença significativa para a atividade de água e umidade após 15 dias de armazenamento. A análise microbiológica evidenciou que os métodos propiciaram produtos seguros para o consumo, com contagens atendendo aos limites estabelecidos na legislação vigente. O estudo revelou que o uso do óleo essencial de orégano (OEO) foi o método mais indicado para conservação das massas de pizza isentas de glúten, pois possibilitou características de textura e umidade sem diferenças significativas daquelas observadas nas amostras no primeiro dia (Dia 1) de acompanhamento. Além disso, esse método possibilita economia energética com redução de custos.

Palavras-chave: Congelamento, refrigeração, óleos essenciais, dureza, segurança microbiológica.

6.1 INTRODUÇÃO

Os panificados isentos de glúten podem apresentar características indesejadas, como textura quebradiça, compactada e com perda de maciez no armazenamento. Para garantir a qualidade e a aceitação desses produtos, é importante estudar formas de prolongar sua vida útil. Uma estratégia pode ser a abordagem de métodos combinados de conservação, lançando mão de barreiras que, em conjunto, além de garantirem atributos sensoriais satisfatórios, ofereçam segurança microbiológica (Almeida; Santos, 2021; Leistner; Gorris, 1995; Singh; Shalini, 2016).

Um dos principais fatores que limitam a durabilidade de alimentos isentos de glúten, é a retrogradação do amido, um processo natural em que as moléculas de amilose e amilopectina se reorganizam, causando o endurecimento do miolo (Ronda; Roos, 2011). Para retardar esse processo, pode-se ajustar as condições de armazenamento e a utilização de hidrocoloides como a goma xantana nas formulações, visto que estes ajudam a reter umidade e estabilizar a estrutura do amido (Salehi, 2019).

Além da textura, o controle da umidade e da atividade de água é fundamental, pois afetam o desenvolvimento microbiológico e a velocidade das reações de degradação. Cabe mencionar que as formulações de panificados isentos de glúten, incluindo as massas de pizza, requerem maior quantidade de água para se atingir a homogeneidade das matrizes. Ademais, ao se usar misturas de farinhas com composição rica em amido e fibras alimentares, essas podem apresentar elevada capacidade de absorção de água (Fávaro; Rech, 2022; Rayan; Swailam; Hamed, 2023).

O congelamento e a refrigeração são métodos usuais para produtos de panificação (Fellows, 2017). A refrigeração atua desacelerando, mas não paralisando, as reações químicas e enzimáticas, bem como o crescimento de microrganismos. Nos panificados isentos de glúten, a refrigeração pode retardar a velocidade da retrogradação do amido, que é a principal causa do endurecimento e da perda de maciez do miolo (Rondó; Roos, 2011).

O congelamento é um dos métodos mais eficazes para diminuir as alterações indesejáveis por períodos prolongados. A baixa temperatura congela a água livre disponível no miolo, imobilizando as moléculas de amido e impedindo sua reorganização. Entretanto, o congelamento lento pode formar cristais de gelo grandes,

que rompem a estrutura da massa, causando alterações sensoriais (Le-Bail *et al.*, 2009).

Observa-se crescente busca por alternativas naturais aos conservantes sintéticos e com menos gastos energéticos, quando comparados ao congelamento e à refrigeração para conservação de panificados isentos de glúten. A utilização de óleo essencial de orégano (OEO) destaca-se por suas comprovadas propriedades antimicrobianas e antioxidantes, que podem contribuir para a estabilidade química e microbiológica do produto, prolongando o período de armazenamento (Moraes-Lovison, 2017).

Entretanto, para todos os métodos, faz-se necessário uma embalagem para acondicionar eficientemente os produtos. Funcionam como barreiras, desempenhando papel relevante na vida útil de alimentos, evitando a deterioração, sejam elas de natureza química, física ou microbiológica, desde o acondicionamento até o consumo. As embalagens plásticas, por exemplo, podem ser produzidas com uma combinação de materiais que proporcionam barreira à gases como o CO₂, O₂ e vapor de água, além de proteção mecânica (Souza *et al.*, 2012).

Desta forma, as massas de pizzas isentas de glúten elaboradas foram acondicionadas em embalagens plásticas e armazenadas por 15 dias, a fim de se estudar o efeito de diferentes condições de armazenamento na vida útil.

6.2 OBJETIVOS

6.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a estabilidade das massas de pizza pré-assadas isentas de glúten sob diferentes condições de armazenamento durante um período de 15 dias.

6.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o comportamento das massas em três condições distintas de armazenamento: congelamento, refrigeração e temperatura ambiente.
- Analisar a estabilidade microbiológica das massas após 15 dias de armazenamento.
- Comparar o efeito dos métodos de conservação na atividade de água e a umidade do produto.

- Avaliar o impacto dos métodos de armazenamento na dureza das massas por meio de análise instrumental de textura.
- Verificar a eficácia do óleo essencial de orégano como agente conservante natural em amostras mantidas em temperatura ambiente.

6.3 MATERIAIS E MÉTODOS

6.3.1 Testes Preliminares

Para o estudo de vida útil, realizou-se testes com diferentes embalagens e métodos de conservação. O armazenamento a vácuo foi descartado devido à compressão excessiva das amostras, que resultou em elevada dureza. O tratamento em autoclave (121°C por 20 min) também se mostrou inviável, pois a ação do calor sobre o amido causou a gelatinização, deixando os produtos compactados, escuros e endurecidos. Para esses dois testes, a embalagem utilizada foi material Nylon Poli, espessura de 8 micras, com medidas 18 x 25 cm e resistência a temperaturas de 30°C e 121°C.

Nos testes com embalagens plásticas com nanopartículas de zinco, ocorreu o crescimento precoce de bolores e leveduras, a partir do sexto dia. Assim como, para a amostra controle sem adição de óleo essencial de orégano em temperatura ambiente.

Diante disso, optou-se pela utilização do congelamento, refrigeração e aspersão de óleo essencial de orégano com armazenamento em temperatura ambiente, como métodos de conservação, acondicionando as pizzas em embalagens termoplásticas de Nylon Poli de 8 micras.

6.3.2 Métodos de Armazenamento

As massas de pizza foram elaboradas conforme o capítulo 5. Para avaliar a estabilidade das massas de pizza pré-assadas, foi conduzido um estudo de vida útil com armazenamento por 15 dias, comparando a formulação sem microalga (P0) e a formulação com 2% da microalga (P2). As amostras foram submetidas a três condições distintas de armazenamento.

Inicialmente as amostras foram pré-assadas a 210°C por 8 min, em seguida foram resfriadas em temperatura ambiente por 20 min. A seguir, foram acondicionadas

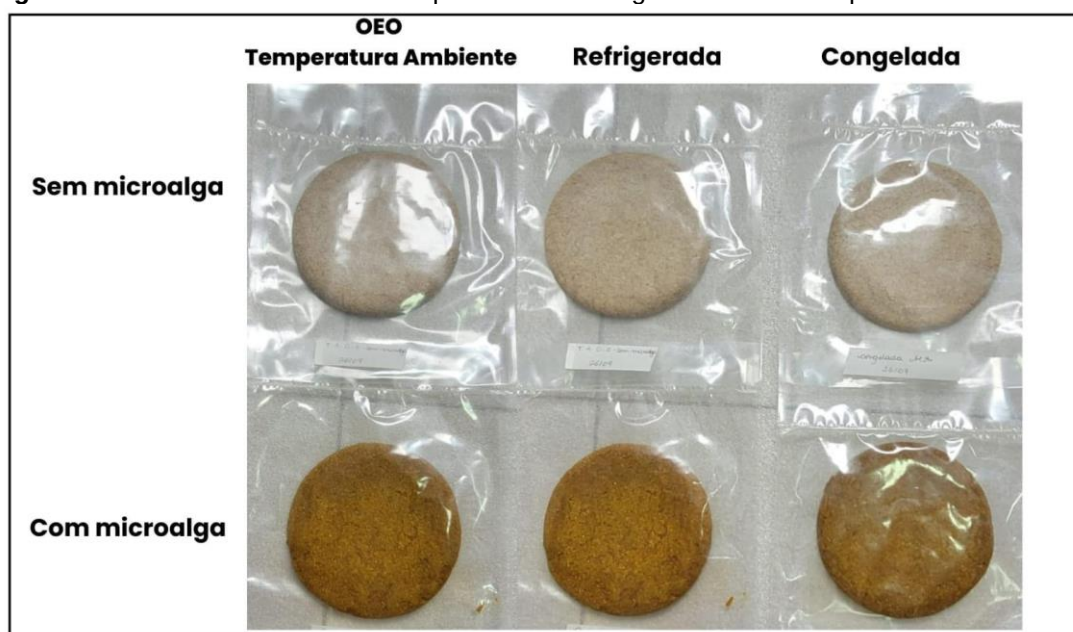
individualmente em embalagens plásticas da marca Cetro®, com material Nylon Poli, espessura de 8 micras, com medidas 18 x 25 cm e resistência a temperaturas de 30°C e 121°C. Em conjunto, o Nylon Poli é projetado para ter baixa permeabilidade tanto à água quanto ao oxigênio, sendo um material de alta barreira que garante a proteção e prolonga a vida útil dos produtos embalados. São embalagens ideais para alimentos congelados ou resfriados (Zhang *et al.*, 2022; Hernández-García *et al.*, 2023)

Após, foram seladas com o uso de uma seladora e armazenados em congelamento (mantidos em freezer doméstico a -18°C) e em refrigeração (4°C).

Foi também avaliado o efeito do óleo essencial de orégano na conservação das massas de pizza armazenadas a temperatura ambiente. A definição da concentração de óleo essencial de orégano (OEO) foi estabelecida após testes sensoriais. Inicialmente, avaliou-se a aplicação da solução em uma concentração de 2,5%, visando maximizar o potencial antimicrobiano. Essa dosagem resultou em sabor residual e aroma desagradáveis. A concentração foi ajustada com uma solução de óleo essencial de orégano (OEO) (Quinarí®) diluído em álcool de cereais (Tupi®, 94,4°INPM) na proporção de 1,5:98,5 (v:v), resultando em uma concentração de 1,5% de óleo essencial de orégano (Moraes-Lovison, 2017).

As massas pré-assadas foram dispostas sobre uma grade higienizada, e a solução de OEO foi borrifada em ambos os lados da pizza, com o auxílio de um borrifador. Aguardou-se um período de 5 min para a evaporação do álcool. A seguir, as amostras foram embaladas utilizando a mesma embalagem e o mesmo método para o armazenamento congelado e refrigerado. Ao final, foram armazenadas em temperatura ambiente (20°C ± 3°C) no mês de setembro de 2025 em Ponta Grossa, Paraná, por um período de 15 dias. Na Figura 1 as massas de pizza embaladas podem ser observadas.

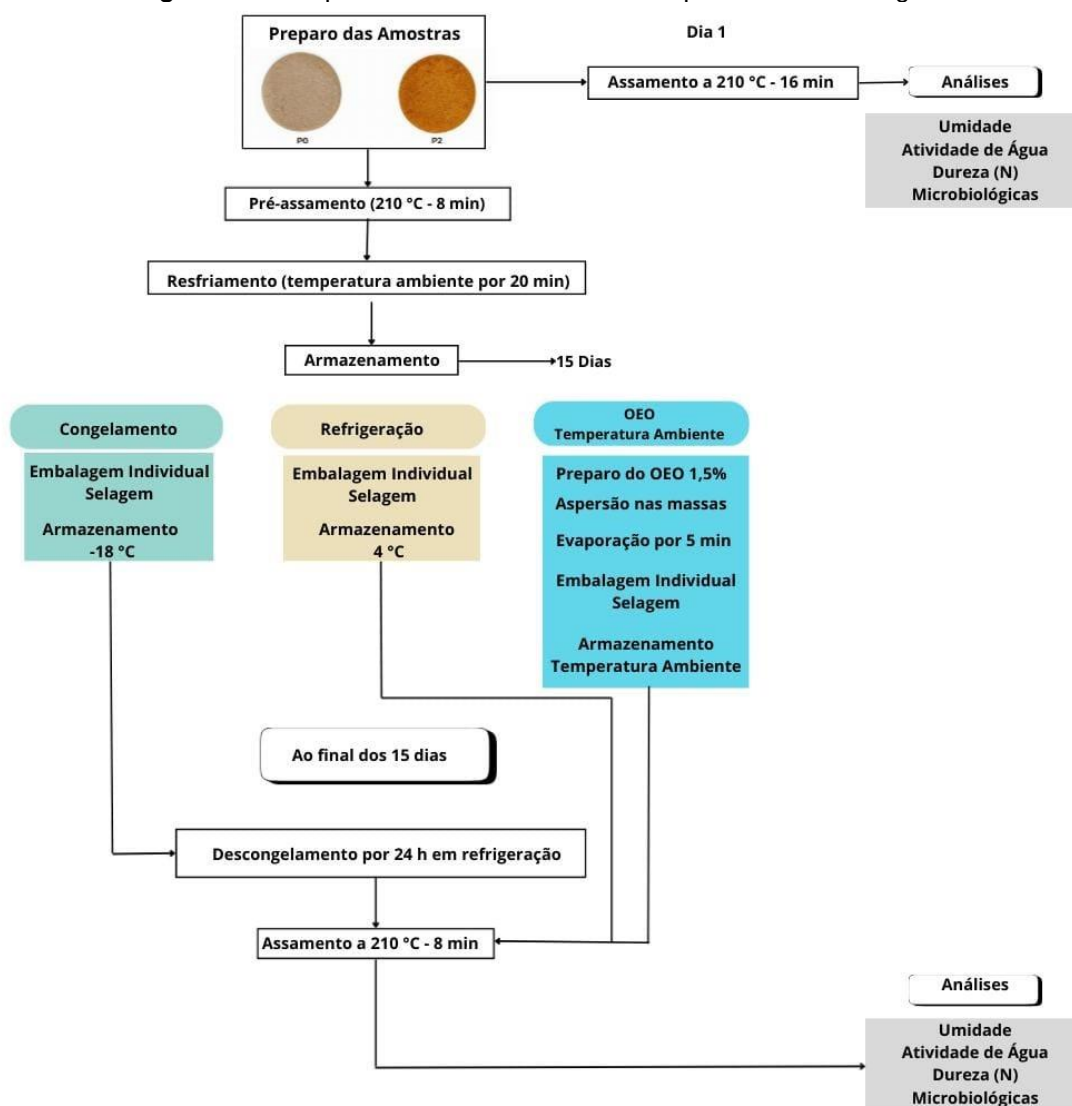
Figura 6.1 - Amostras de massas de pizza isentas de glúten embaladas para armazenamento



Notas: OEO - óleo essencial de orégano.

Fonte: A autora (2025).

Ao final do período de 15 dias, as amostras foram preparadas para as análises. As congeladas foram submetidas ao descongelamento sob refrigeração por 24 h. Todas as amostras mantidas congeladas, refrigeradas e em temperatura ambiente, foram assadas a 210°C por 8 min, antes da realização das análises. Na Figura 2 pode ser observada as etapas.

Figura 6.2 - Etapas do ensaio da vida útil das pizzas isentas de glúten

Notas: P0 - massa de pizza sem microalga; P2 - massa de pizza com 2% de *D. salina*; OEO - óleo essencial de orégano.

Fonte: A autora (2025).

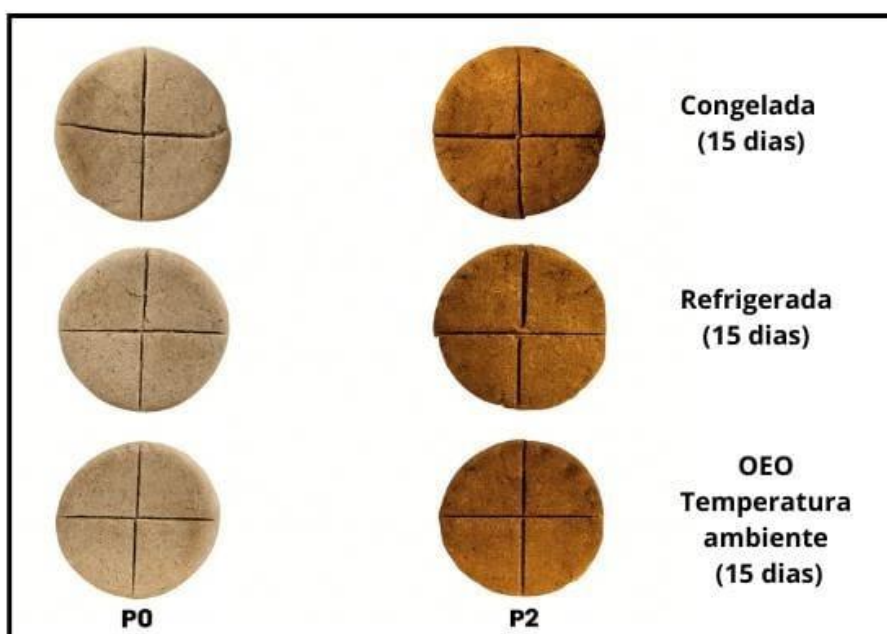
6.3.3 Caracterização das Amostras em Diferentes Condições de Armazenamento

No dia da preparação e após 15 dias de armazenamento, realizou-se análises de umidade, atividade de água e instrumental de textura (dureza) das massas de pizza. A umidade foi determinada seguindo o método citado no item 3.3.2 apresentado no capítulo 3.

A atividade de água (a_w) foi determinada a partir de 1 g da amostra acomodada no porta amostra do equipamento AquaLab®, o qual foi previamente calibrado com amostra de carvão padrão fornecida pelo fabricante à temperatura de 25°C.

Para a análise de dureza o teste consistiu em duas compressões na amostra, em um movimento repetido. Inicialmente realizou-se a calibração do equipamento com um peso de 5 kg e as configurações de altura foram de acordo com as medidas específicas das amostras analisadas (1,5 cm). O equipamento de modelo TA.XTplus (*Stable Micro Systems*®, UK) equipado com um probe P36-R foi configurado com os parâmetros de velocidade de pré teste 1,00 mm.s⁻¹, teste de velocidade 5,00 mm.s⁻¹, velocidade de pós teste 5,00 mm.s⁻¹, tempo 5 s (Arribas *et al.*, 2020; El-Sohaimy *et al.*, 2020). A análise foi realizada dividindo cada disco em quatro partes, conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 6.3 - Amostras para análise de textura da vida útil após 15 dias de armazenamento



Notas: P0 - massa de pizza sem microalga; P2 - massa de pizza com 2% de *D. salina*; OEO - óleo essencial de orégano.

Fonte: A autora (2025).

Foram realizadas análises microbiológicas conforme a RDC nº 724/2022 e a IN nº 161/2022 que determina avaliação de *Salmonella sp*, *Bacillus cereus* presuntivo, *Escherichia coli*, *Staphylococcus coagulase positiva* e bolores e leveduras, seguindo a metodologia descrita no 5.3.7 do capítulo 5.

Os dados obtidos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) para verificar a existência de diferenças significativas entre os três tratamentos (congelamento, refrigeração e temperatura ambiente), sendo comparados pelo teste de Tukey, adotando-se um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da avaliação da dureza estão expostos na Tabela 1, para as massas sem microalga (P0) e com 2% de *D. salina* (P2), após armazenamento em diferentes condições.

Nas amostras analisadas no mesmo dia em que foram produzidas (Dia 1), observou-se que a adição da microalga não alterou a dureza das massas (319,66 N para P0 e 323,13 N para P2).

O comportamento reológico após 15 dias de armazenamento (T15), revelou diferenças entre os métodos de conservação. O fenômeno do endurecimento da massa está relacionado com a retrogradação do amido, processo no qual a amilose e a amilopectina tendem a se associar (Lopes, 2024). Na Tabela 1 estão expressos os resultados da avaliação da dureza.

Tabela 6.1 - Dureza das massas de pizza antes e após armazenamento em diferentes condições por 15 dias

Dureza (N)				
Dia 1		15 Dias		
Amostra	Controle	OEO	Refrigerada	Congelada
P0	319,66 ^b ±15,47	324,49 ^b ±29,18	393,85 ^b ±15,42	415,02 ^a ±10,83
P2	323,13 ^b ±20,54	335,50 ^b ±8,52	346,58 ^b ±10,85	439,75 ^a ±19,89

Notas: OEO – Óleo essencial de orégano em temperatura ambiente; P0 - sem *D. salina*; P2 - com 2% de *D. salina*. Médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: A autora (2025).

Dentre os tratamentos, o com óleo essencial de orégano (OEO) com armazenamento em temperatura ambiente, foi o que manteve a textura das massas (324,49 N para P0 e 335,50 N para P2) mais próximas das amostras no dia 1 (319,66 N para P0 e 323,13 N para P2), não apresentando diferença significativa. Resultado esperado, visto que a temperatura ambiente é menos favorável à retrogradação do amido (Ronda; Roos, 2011).

A goma xantana utilizada nas formulações desempenha papel fundamental na qualidade de panificados isentos de glúten, agindo na retenção da água no miolo

(Salehi, 2019). Além disso, atua reduzindo a taxa de recristalização da amilose e amilopectina, resultando em uma estabilização estrutural, que limita a migração de água do miolo para o ambiente e a crosta, com menor perda de umidade e, conseqüentemente, retardando o ressecamento característico de pães isentos de glúten à temperatura ambiente (Culetu *et al.*, 2022).

Observou-se aumento na dureza das amostras quando submetidas ao processo de refrigeração. Contudo o resultado de 393,85 N (P0) e 346,58 N (P2), não apresentaram diferença significativa em relação ao dia 1. Esse comportamento está de acordo com estudos que apontam que temperaturas de refrigeração são boas para a estabilidade de panificados (Ronda; Roos, 2011). Existem relatos de que a refrigeração acelera a nucleação dos cristais de amilopectina (Miles *et al.*, 1985).

Entre os métodos avaliados, o congelamento provocou o maior endurecimento das massas de pizza, com diferenças significativas quando comparados às amostras no dia 1, as formulações atingiram 415,02 N (P0) e 439,75 N (P2). Este resultado superou a dureza das amostras refrigeradas e em temperatura ambiente, indicando que o mecanismo de endurecimento no congelamento envolve fatores que vão além da retrogradação do amido.

Além da retrogradação, o congelamento lento provoca a formação de cristais de gelo que perfuram fisicamente a matriz de massas no descongelamento. Como consequência, as cadeias de amilopectina associam-se fortemente. Sendo assim, a rede polimérica danificada é incapaz de reabsorver a água, resultando em uma matriz compacta e rígida (Ribotta *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2015).

A goma xantana utilizada nas formulações apresenta ação durante o processo de congelamento, reduzindo a taxa de recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, conforme apontado por Culetu *et al.* (2022). Yassin *et al.* (2022) observaram que pães que continham xantana permaneceram significativamente mais macios do que pães sem o hidrocoloide. Porém, o aumento significativo na dureza das amostras submetidas ao congelamento em comparação ao Dia 1, sugere que a concentração de goma xantana utilizada pode não ter sido suficiente para mitigar os danos causados pela formação de cristais de gelo na matriz. Desta forma, recomenda-se estudar outros níveis de adição de hidrocoloides em trabalhos futuros.

Os valores de umidade e atividade de água indicaram manutenção da qualidade do produto, com manutenção das características sensoriais no período de armazenamento avaliado, conforme Tabelas 2 e 3. Essas ocorrências são importantes

em panificados isentos de glúten, devido ao ressecamento e perda de características sensoriais recorrentes no armazenamento desses produtos (Reinischi, 2022).

Tabela 6.2 - Atividade de água após 15 dias de armazenamento em diferentes condições

Atividade de Água (a_w)				
Dia 1		15 Dias		
Amostra	Controle	OEO	Refrigerada	Congelada
P0	0,94 ^a ±0,01	0,94 ^a ±0,01	0,96 ^a ±0,02	0,95 ^a ±0,01
P2	0,94 ^a ±0,02	0,94 ^a ±0,01	0,96 ^a ±0,01	0,94 ^a ±0,01

Notas: OEO – Óleo essencial de orégano à temperatura ambiente; P0 - sem *D. salina*; P2 - com 2% de *D. salina*. Médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: A autora (2025).

Tabela 6.3 - Umidade após 15 dias de armazenamento das massas de pizza em diferentes condições

Umidade ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$)				
Dia 1		15 Dias		
Amostra	Controle	OEO	Refrigerada	Congelada
P0	35,33 ^a ±0,21	36,33 ^a ±0,17	38,03 ^b ±0,36	38,97 ^b ±0,28
P2	35,49 ^a ±0,30	36,19 ^a ±0,24	38,51 ^b ±0,33	38,50 ^b ±0,19

Notas: OEO – Óleo essencial de orégano em temperatura ambiente; P0 - sem *D. salina*; P2 - com 2% de *D. salina*. Médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: A autora (2025).

A atividade de água (a_w) das massas de pizza não apresentaram diferenças significativas entre as amostras. Os valores encontrados são próximos aos de outros trabalhos para massas de pizza isentas de glúten, como em Nilm *et al.* (2020), que ao desenvolverem bases de pizza isentas de glúten com farinhas de leguminosas, relataram valores de a_w na faixa de 0,91 a 0,93.

Estes resultados elevados para atividade de água podem ser justificados pela utilização de farinhas que são ricas em amido, fibras e por possuírem alto índice de absorção de água (Gómez *et al.*, 2011). Observou-se que a adição da microalga não interferiu nos resultados para a atividade de água.

A umidade das amostras no período de armazenamento, apresentou diferença significativa entre os métodos de refrigeração e congelamento, em relação às amostras no dia inicial e com óleo essencial de orégano em temperatura ambiente. O armazenamento em temperatura ambiente com óleo essencial de orégano após 15 dias ($36,33 \text{ g.100g}^{-1}$) foi o mais próximo da amostra no dia 1 ($35,33 \text{ g.100g}^{-1}$), não apresentando diferença significativa.

A atividade de água e umidade apresentados corroboram os resultados de textura. A manutenção da textura nas amostras com óleo essencial de orégano (OEO) após 15 dias, pode ser explicada pela estabilidade da umidade de $36,33 \text{ g.100g}^{-1}$ para a P0 e $36,19 \text{ g.100g}^{-1}$ para a P2 e da a_w 0,94, resultados similares aos encontrados no dia inicial de armazenamento.

Vale ressaltar, que além da manutenção da estabilidade físico-química das massas, o tratamento com OEO em temperatura ambiente representa uma vantagem econômica e logística em comparação aos métodos de conservação pelo frio. Enquanto o congelamento e a refrigeração necessitam do consumo contínuo de energia elétrica para manter as temperaturas pelo período de 15 dias, a aspersão do óleo essencial permite o armazenamento simplificado sem custos energéticos. As estimativas na indústria de alimentos indicam que sistemas de refrigeração e congelamento podem representar até 30% a 50% dos custos operacionais totais de armazenamento, dependendo da eficiência do equipamento e do volume estocado (Fellows, 2017).

A formulação de panificados isentos de glúten está ligada à necessidade de alta hidratação, pois evita que os produtos se tornem esfarelentos e quebradiços, uma característica comum na ausência da rede viscoelástica formada pelo glúten (Lazaridou *et al.*, 2007). Além disso, as farinhas substitutas de glúten utilizadas, são ricas em amido, fibras e possuem elevado índice de absorção de água, justificando os altos valores de umidade e atividade de água apresentados (Gómez *et al.*, 2011).

Os altos valores de a_w requerem um acompanhamento rigoroso da segurança microbiológica das massas no armazenamento (Resende, 2011). Desta forma, os resultados das análises microbiológicas exigidas pela legislação, para diferentes condições de armazenamento, após 15 dias, estão apresentados na Tabela 4 e foi fundamental para avaliar a segurança e a estabilidade das pizzas elaboradas.

Tabela 6.4 - Padrões microbiológicos das massas de pizza após 15 dias de armazenamento em diferentes condições

Análises	OEO		Refrigerada		Congelada		Limites	
	P0	P2	P0	P2	P0	P2	m	M
<i>Bacillus cereus</i> / g	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	10 ²	10 ³
Bolores e leveduras / g	1x10 ²	1x10 ²	1x10 ²	1x10 ²	< 10 ²	< 10 ²	10 ²	10 ⁴
<i>Escherichia coli</i> / g	< 5x10	< 5x10	< 5x10	< 5x10	< 5x10	< 5x10	5x10	5x10 ²
<i>Estafilococos coagulase positiva</i> / g	< 5x10 ²	< 5x10 ²	< 5x10 ²	< 5x10 ²	< 5x10 ²	< 5x10 ²	5x10 ²	5x10 ³
<i>Salmonella</i> / 25 g	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus / 25 g	-

Notas: OEO – Óleo essencial de orégano em temperatura ambiente; P0 - sem *D. salina*; P2 - com 2% de *D. salina*; Aus = Ausência; m - limite aceitável; M - limite máximo.

Fonte: A autora (2025).

A ausência de *Salmonella spp.* (em 25g), *Escherichia coli* e *Estafilococos coagulase positiva* demonstra a eficácia das Boas Práticas de Fabricação (BPF) e a qualidade higiênico-sanitária dos insumos.

Além disso, a ausência de *B. cereus* é relevante, visto que este microrganismo é uma preocupação comum em produtos amiláceos e sua ausência sugere que o processo, aliado às diferentes condições de armazenamento, foi eficiente para inibir a germinação de esporos.

Em relação aos bolores e leveduras, o congelamento foi o método mais eficaz para a conservação. A ausência de bolores e leveduras nas amostras (P0 e P2) era esperada, visto que as temperaturas de congelamento (-18°C) inibe o metabolismo e a proliferação microbiana, estendendo a vida útil (Fellows, 2017).

O armazenamento refrigerado e em temperatura ambiente com óleo essencial de orégano apresentaram resultados de 1x10² UFC para bolores e leveduras. Este valor encontra-se no limite aceitável (m) (1x10² UFC), mas abaixo do limite máximo (M) de 1x10⁴ UFC estabelecido pela legislação. Isso indica que, ao final dos 15 dias, os produtos apresentaram condições seguras para consumo.

Os resultados encontrados por Vanzo (2017), evidenciam o potencial do óleo essencial de orégano (OEO), em massas de pizza por aspersão, a concentração de 2% de OEO demonstrou a maior eficácia, estendendo a vida útil para 20 dias.

Ao comparar a estabilidade microbiológica verificada com outras tecnologias de conservação, observou-se que a aplicação direta de óleo essencial de orégano (OEO) por aspersão nas massas de pizza demonstrou ser eficaz, assim como sistemas que combinam atmosfera modificada e a utilização de óleos essenciais. No estudo de Wyrwicz *et al.* (2022), os resultados demonstraram que o melhor efeito bacteriostático em bolos isentos de glúten ocorreu com a utilização de filme PET com atmosfera modificada (60% CO₂ + 40% N₂) e óleos de canela ou cravo, mantendo contagens microbiológicas abaixo de 1,0 log (UFC/g) aos 14 dias.

Outro resultado promissor da aspersão direta do óleo essencial de orégano (OEO) sobre a superfície das massas, foi revelado a partir dos testes preliminares com embalagens contendo nanopartículas de zinco, visto que apenas a utilização das embalagens não foi capaz de impedir o crescimento de bolores e leveduras a partir do sexto dia. Pois, diferente das embalagens com nanopartículas, que dependem da migração gradual do agente ativo para a superfície do produto, a aspersão direta garante que o conservante esteja em contato imediato com o substrato (Espitia *et al.*, 2016).

Os resultados indicam que as massas se mantiveram seguras para consumo nos diferentes métodos de armazenamento testados, com destaque para o armazenamento em temperatura ambiente com óleo essencial de orégano (OEO). Além disso, os resultados demonstraram que a adição de 2% de *D. salina* não impactou negativamente na estabilidade microbiológica das massas de pizza.

Em suma, o uso das embalagens impermeáveis e resistentes aliadas ao controle de temperatura e uso de antimicrobianos, proporcionam barreiras que combinadas, possibilitaram o armazenamento eficiente de discos de pizza isentos de glúten (Leistner, 2000).

Considerando fatores de ordem econômica, pode-se optar pelo óleo de orégano, requerendo um estudo mais aprofundado da aceitação sensorial das pizzas desenvolvidas frente às diferentes condições de armazenamento.

6.5 CONCLUSÃO

A conservação das massas de pizza isentas de glúten por um período de 15 dias foi tecnicamente viável, apresentando variações na qualidade, conforme o método de armazenamento avaliado.

O tratamento com OEO em temperatura ambiente foi capaz de manter a textura e os teores de umidade em níveis semelhantes aos das massas no início do acompanhamento (Dia 1).

O congelamento lento provocou aumento da dureza das massas, causada pela formação de cristais de gelo e a retrogradação do amido, apesar da presença de goma xantana nas formulações.

Em relação ao crescimento microbiológico, os métodos testados garantiram a segurança alimentar das massas de pizza, com valores dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente, até 15 dias de armazenamento.

O armazenamento em temperatura ambiente com OEO destacou-se como a estratégia mais eficaz para manutenção da qualidade do produto, além de se configurar numa opção mais econômica em termos de consumo energético.

REFERÊNCIAS

- CULETU, A. *et al.* The role of hydrocolloids in gluten-free bread and pasta; rheology, characteristics, staling and glycemic index. **Foods**, v. 10, n. 12, p. 3121, 2021.
- ESPITIA, P. J. P. *et al.* Probiotics and their potential applications in active edible films and coatings. **Food Research International**, v. 90, p. 42-52, 2016.
- FELLOWS, P. J. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 4th ed. Woodhead Publishing, 2017.
- GÓMEZ, M. *et al.* Effect of hydrocolloids on gluten-free rice dough. **Journal of Cereal Science**, v. 53, n. 3, p. 347-353, 2011.
- HERNÁNDEZ-GARCÍA, E. *et al.* Synthesis and characterization of polyamide 1010 and evaluation of its cast-extruded films for meat preservation. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 36, p. 101058, 2023.
- LE-BAIL, A. *et al.* Impact of the baking kinetics on staling rate and mechanical properties of bread crumb and degassed bread crumb. **Journal of Cereal Science**, v. 50, n. 2, p. 235-240, 2009.
- LEISTNER, L.; GORRIS, L. G. M. Food preservation by hurdle technology. **Trends in Food Science & Technology**, v. 6, n. 2, p. 41-46, 1995.
- LEISTNER, L. Basic aspects of food preservation by hurdle technology. **International Journal of Food Microbiology**, v. 55, n. 1-3, p. 181-186, 2000.
- LOPES, P. Sinérese e retrogradação do amido em alimentos congelados. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia Alimentar**, v. 12, n. 3, p. 55-65, 2024.
- MILES, M. J. *et al.* The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. **Carbohydrate Research**, v. 135, n. 2, p. 271-281, 1985.
- MORAES-LOVISON, M. **Óleo essencial de orégano nanoemulsionado: produção, caracterização físico-química, atividade antimicrobiana e antioxidante in vitro e aplicação em patê de frango**. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2017.
- RESENDE, F. de S. **Efeito do congelamento sobre a microestrutura da massa do pão**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- RIBOTTA, P. D.; LE BAIL, A.; LEÓN, A. E. Effect of freezing and frozen storage on the microstructure of fresh pasta. **Journal of Food Engineering**, v. 48, n. 2, p. 113-125, 2001.
- RIBOTTA, P. D. *et al.* Effects of freezing and frozen storage on the microstructure and quality of bread dough. **Food Science and Technology International**, v. 10, n. 5, p. 305-312, 2004.

RONDA, F.; ROOS, Y. H. Staling of fresh and frozen gluten-free bread. **Journal of Cereal Science**, v. 53, n. 3, p. 340-346, 2011.

RONDÓ, F.; ROOS, Y. H. Staling of fresh and frozen gluten-free bread. **Journal of Cereal Science**, v. 53, n. 3, p. 340-346, 2011.

SINGH, S.; SHALINI, R. Effect of hurdle technology in food preservation: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 4, p. 641-649, 2016.

WYRWISZ, J. *et al.* Evaluation of Modified Atmosphere Packaging in Combination with Active Packaging to Increase Shelf Life of High-in Beta-Glucan Gluten Free Cake. **Foods**, v. 11, n. 6, p. 872, 2022.

ZHANG, D. *et al.* Characterization of biodegradable food packaging films prepared with polyamide 4: Influence of molecular weight and environmental humidity. **Food Bioengineering**, v. 1, n. 3-4, p. 276-288, 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que o estudo atingiu os objetivos propostos ao investigar a percepção do consumidor sobre alimentos isentos de glúten e inovações alimentares, e ao desenvolver massas de pizza isentas de glúten a base de farinhas de subprodutos agroindustriais (arroz, mandioca e palmito pupunha), enriquecidas com *D. salina*.

A análise de componentes principais revelou que o consumo de produtos isentos de glúten é escolhido por motivações diversas, desde a necessidade clínica até a busca por benefícios percebidos à saúde. Além de destacar a necessidade da educação do consumidor para a aceitação de ingredientes inovadores, como farinhas de subprodutos e microalgas, que se mostraram desconhecidas pelo público investigado. A necessidade de divulgação destas fontes foi observada, visto que ocorreu disposição pelos respondentes em experimentar alimentos inovadores, quando suas propriedades nutricionais e ambientais são claramente comunicadas.

A caracterização das farinhas dos subprodutos estudados confirmou o potencial como fontes sustentáveis para a indústria de alimentos. As farinhas de subprodutos de palmito e mandioca se destacaram como fontes de fibras alimentares, enquanto a de arroz apresentou os maiores teores de proteínas e atividade antioxidante.

A farinha de subproduto de mandioca demonstrou propriedades de pasta superiores para panificação de isentos de glúten, indicando maior estabilidade para maciez, a de palmito apresentou alto teor de compostos fenólicos e a de arroz, um potencial ingrediente antioxidante. Essa combinação de características permitiu a utilização desses subprodutos como forma de melhorar as deficiências estruturais e nutricionais das formulações isentas de glúten.

A incorporação dessas farinhas nas formulações de massas de pizzas isentas de glúten demonstrou resultados positivos para o enriquecimento nutricional, resultando em formulações classificadas como de "Alto Teor de Fibras" e com redução significativa de carboidratos e valor energético.

A análise estatística identificou a Formulação 4 (30% FM, 20% FP, 50% FA) como a mais promissora, aliando alto teor de fibras a um baixo teor de carboidratos. Do ponto de vista tecnológico, as massas apresentaram dureza comparável à massa comercial com glúten, demonstrando a viabilidade tecnológica.

O enriquecimento com 2% de *D. salina* (P2) na formulação ótima aumentou o valor nutricional e potencial funcional, com aumento significativo nos teores de proteínas, cinzas e lipídios. A alegação funcional foi reforçada pelo aumento nos compostos fenólicos totais, na atividade antioxidante e pela presença de carotenoides (antes não detectáveis na formulação P0, sem *D. salina*). A análise por UHPLC-MS/MS destacou o enriquecimento em ácido nicotínico e ácido málico.

Na análise sensorial as massas apresentaram aceitabilidade satisfatória, com a pizza P2 mantendo boa aceitabilidade em todos os atributos, indicando que a incorporação da microalga não levou à rejeição do produto.

A estabilidade e a segurança microbiológica foram comprovadas ao longo do estudo de vida útil de 15 dias, com o armazenamento em temperatura ambiente com óleo essencial de orégano e refrigerado, sendo os métodos mais eficazes para a preservação da textura. A adequação aos padrões legais microbiológicos vigentes ocorreu em todos os métodos de armazenamento (OEO, refrigerado e congelado).

Portanto, foi possível validar a inovação tecnológica e a sustentabilidade, utilizando os subprodutos agroindustriais e a *D. salina* para o desenvolvimento de massas de pizza isentas de glúten. Foi demonstrado serem nutricionalmente superiores, com potencial funcional, aceitáveis do ponto de vista sensorial e tecnologicamente estáveis. Os resultados se alinharam aos princípios da economia circular, contribuindo com a diminuição das deficiências nutricionais nos alimentos isentos de glúten, oferecendo um produto com alto potencial de inserção no mercado de alimentos saudáveis e inovadores.

Ressalta-se que, para fins de segurança alimentar de indivíduos celíacos em escala comercial, análises laboratoriais confirmatórias são sugeridas como etapas posteriores a este trabalho, visando garantir a ausência de contaminação cruzada durante o processamento.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO POPULACIONAL

QUESTIONÁRIO

Este questionário foi elaborado para coletar e avaliar a opinião e satisfação dos consumidores de alimentos. Além disso, busca entender o conhecimento, os hábitos e os interesses em relação a produtos isentos de glúten, novas fontes alimentares, subprodutos agroindustriais e segurança alimentar. Contamos com você! 😊

Clique no termo de consentimento para visualizá-lo! 📄

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido: [CAAE: 84317024.6.0000.010](#)

* Indica uma pergunta obrigatória

1. Qual é o seu nome completo ? *

2. Qual é a sua idade? *

Marque todas que se aplicam.

☐ 16 - 18

☐ 19 - 25

☐ 26 - 35

☐ 36 - 49

☐ 50 +

3. Qual é a sua escolaridade ? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sem estudo.
- ☐ Ensino Fundamental.
- ☐ Ensino Médio.
- ☐ Graduação.
- ☐ Especialização / Pós graduação.

4. Quem é o principal responsável pelo preparo da sua alimentação diária? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Eu mesmo(a) preparo minhas refeições.
- ☐ Outra pessoa da minha casa cozinha para mim.
- ☐ Costumo comer fora ou pedir comida com frequência.
- ☐ Divido o preparo das refeições com outra pessoa.

5. Você tem alguma restrição alimentar ? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, sou intolerante à lactose.
- ☐ Sim, sou alérgico, intolerante e ou sensível ao glúten (ex: doença celíaca).
- ☐ Sim, sou alérgico(a) a frutos do mar.
- ☐ Sim, sou alérgico(a) a oleaginosas (castanhas, nozes, amêndoas etc.).
- ☐ Não tenho nenhuma restrição alimentar
- ☐ Outro: _____

6. Como você se classifica em relação à sua alimentação ? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Vegano (não consome nenhum produto de origem animal).
- ☐ Vegetariano (não consome carne, mas consome outros produtos de origem animal)
- ☐ Ovolactovegetariano (consome ovos e laticínios, mas não carne).
- ☐ Lactovegetariano (consome laticínios, mas não ovos nem carne).
- ☐ Flexitariano (prioriza uma alimentação vegetariana, mas ocasionalmente consome carne).
- ☐ Onívoro (consome todos os tipos de alimentos, incluindo carne).

7. Você sofre de alguma enfermidade ? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Diabetes Tipo 2.
- ☐ Pressão Alta.
- ☐ Obesidade.
- ☐ Colesterol Alto.
- ☐ Anemia.
- ☐ Hipo ou Hipertireoidismo.
- ☐ Outros.
- ☐ Não sofro com nenhuma enfermidade.

PRIMEIRA FASE

- Faremos algumas perguntas sobre seus conhecimentos em relação a alimentos.

8. **Você entende o termo "segurança alimentar" ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, e sei exatamente o que significa.
- ☐ Sim, já ouvi falar, mas não sei muito sobre o assunto.
- ☐ Não tenho certeza, talvez tenha ouvido em algum momento.
- ☐ Não, nunca ouvi falar.

9. **Você entende o termo "segurança nutricional" ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, e sei exatamente o que significa.
- ☐ Sim, já ouvi falar, mas não sei muito sobre o assunto.
- ☐ Não tenho certeza, talvez tenha ouvido em algum momento.
- ☐ Não, nunca ouvi falar.

10. **Você já ouviu falar sobre o termo "alimento funcional" ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, e sei exatamente o que significa.
- ☐ Sim, já ouvi falar, mas não sei muito sobre o assunto.
- ☐ Não tenho certeza, talvez tenha ouvido em algum momento.
- ☐ Não, nunca ouvi falar.

11. **Você sabe da importância das fibras para a saúde? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, conheço os benefícios das fibras.
- ☐ Tenho uma noção básica sobre o assunto.
- ☐ Já ouvi falar, mas não sei muito sobre.
- ☐ Não tenho informações sobre fibras na alimentação.

12. A quantidade diária recomendada de fibras para um adulto varia entre **25g e 30g**. Para ter uma ideia dessa quantidade, aqui estão alguns exemplos de todos os alimentos que você precisaria consumir para chegar ao recomendado: *

1/2 abacate médio

2 bananas

1 maçã com casca

1 cenoura média crua

1/2 xícara de arroz integral cozido

1 colher de sopa de chia

Com base nisso, você acha que consome a quantidade de fibras recomendada no seu dia a dia?

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, sempre consumo a quantidade adequada.
- ☐ Às vezes, mas nem sempre atendo à recomendação.
- ☐ Raramente, minha ingestão de fibras é baixa.
- ☐ Não consigo chegar a quantidade recomendada.

SEGUNDA FASE

- Faremos algumas perguntas sobre seus hábitos e interesses em relação a alimentos.

13. **Você costuma consumir produtos de panificação ricos em fibras ou integrais?** *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, com frequência.
- ☐ Sim, ocasionalmente.
- ☐ Raramente.
- ☐ Nunca.

14. Você consome alimentos isentos de glúten ? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, frequentemente.
- ☐ Sim, ocasionalmente.
- ☐ Não, mas tenho interesse em saber mais.
- ☐ Nunca consumi.

15. Por qual motivo você escolhe ou escolheria alimentos isentos de glúten ? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Alguma intolerância ou distúrbio.
- ☐ Sabor.
- ☐ Benefícios a saúde.
- ☐ Dieta.

16. Você tem conhecimento sobre os alimentos isentos de glúten disponíveis no mercado ? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, conheço as opções disponíveis.
- ☐ Tenho uma noção de alguns produtos.
- ☐ Não sei, nunca procurei informações sobre isso.

17. Na composição nutricional dos produtos isentos de glúten, qual aspecto você acredita que precisa de melhorias ? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Teor de proteínas.
- ☐ Quantidade de fibras.
- ☐ Presença de vitaminas e minerais.
- ☐ Valor calórico.

18. **Na sua opinião, quais fatores dificultam uma dieta isenta de glúten ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sabor do produto.
- ☐ Preço do produto.
- ☐ Falta de conhecimento sobre o produto.
- ☐ Disponibilidade de produtos.

19. **Qual a sua satisfação com a oferta atual de produtos isentos de glúten ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Excelente.
- ☐ Bom.
- ☐ Regular.
- ☐ Ruim.

QUARTA FASE

- **Agora, para finalizar, faremos algumas perguntas para levantar o consumo, a opinião e as expectativas dos consumidores em relação a novos produtos.**

20. **Você se considera uma pessoa aberta a experimentar novos alimentos ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, adoro provar alimentos novos.
- ☐ Depende do alimento e da sua aparência.
- ☐ Só provo se for algo que pareça familiar.
- ☐ Evito ao máximo experimentar coisas novas.

21. **Você já ouviu falar sobre o termo "neofobia alimentar" ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, conheço bem o conceito.
- ☐ Já ouvi falar, mas não sei exatamente o que significa.
- ☐ Nunca ouvi falar.
- ☐ Acho que já ouvi, mas não tenho certeza.

22. **Neofobia alimentar é o medo ou resistência a experimentar novos alimentos, principalmente aqueles com textura e aparência diferente.** *

Você se considera uma pessoa neofóbica em relação à alimentação ?

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, tenho dificuldade em experimentar novos alimentos.
- ☐ Às vezes, depende do alimento e da situação.
- ☐ Não, gosto de experimentar novos sabores e texturas.

23. **Você já ouviu falar sobre alimentos que utilizam microalgas como ingredientes ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, e já consumi.
- ☐ Sim, mas nunca consumi.
- ☐ Não, nunca ouvi falar.
- ☐ Não, mas gostaria de aprender mais sobre.

24. **Você conhece a microalga *Dunaliella Salina* ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim.
- ☐ Não.

25. **Você já provou ou já viu alguma pizza com microalgas em sua massa ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, já provei uma pizza com microalgas na massa.
- ☐ Não provei, mas já vi esse tipo de pizza.
- ☐ Nunca provei e nunca vi pizza com microalgas.

26. **O que você espera do sabor de uma pizza isenta de glúten com microalgas ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sabor semelhante ao da pizza tradicional.
- ☐ Leve sabor de microalgas.
- ☐ Salgado.
- ☐ Sabor muito diferente do convencional.
- ☐ Não sei o que esperar.

27. **Você já experimentou algum alimento inovador feito com ingredientes sustentáveis, como farinhas de subprodutos agroindustriais ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, e gostei.
- ☐ Sim, mas não gostei.
- ☐ Nunca experimentei, mas gostaria.
- ☐ Nunca experimentei e não tenho interesse.

28. **Você estaria disposto a substituir produtos tradicionais por versões mais saudáveis ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, sem problemas.
- ☐ Talvez, dependendo do preço e da qualidade.
- ☐ Não, prefiro manter minha alimentação como está.

29. **Na sua opinião, o que ajudaria a aumentar a aceitação de novos alimentos ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Informações claras sobre benefícios à saúde e ao meio ambiente.
- ☐ Campanhas educativas sobre inovação alimentar.
- ☐ Garantia de sabor e aparência agradáveis.
- ☐ Nada, ainda assim não me sentiria confortável em consumir.

30. **Estudos demonstram maior aceitação em novos produtos alimentícios quando seus benefícios à saúde e ao meio ambiente são expostos a seus consumidores. Sabendo disto, você estaria disposto a tentar novos alimentos se soubesse que eles são benéficos para a sua saúde e para o meio ambiente ? ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sim, definitivamente.
- ☐ Talvez, dependendo do produto.
- ☐ Não, prefiro alimentos tradicionais.
- ☐ Não, mesmo sabendo dos benefícios.

Agradecemos sua participação neste questionário. Caso possível, compartilhe-o para expandir nossa coleta de dados e contribua para o avanço da ciência e tecnologia de alimentos! 😊

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO DE ANÁLISE SENSORIAL

QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO ANÁLISE SENSORIAL

Você está sendo convidado a participar da pesquisa sobre "ACEITAÇÃO SENSORIAL DE MASSA DE PIZZA INTEGRAL ISENTA DE GLÚTEN".

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido: CAAE: 84317024.6.0000.010

Sua participação é de extrema importância para a pesquisa!

** Indica uma pergunta obrigatória*

FASE INTRODUTÓRIA

Neste momento, precisamos que você preencha suas informações pessoais.

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
- ☐ 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 a 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

SEGUNDA FASE

Neste momento, precisamos que você responda quais são seus hábitos alimentares.

6. Com que frequência você consome alimentos sem glúten ? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Frequentemente
- ☐ Esporadicamente
- ☐ Raramente
- ☐ Não consumo

7. **Com que frequência você consome produtos integrais ? ***

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Frequentemente
- ☐ Esporadicamente
- ☐ Raramente
- ☐ Não consumo

TERCEIRA FASE

Neste momento, precisamos que você responda as perguntas relacionadas ao consumo de pizza em sua rotina.

8. **Com que frequência você consome pizza ? ***

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Todos os dias
- ☐ 2 a 3 vezes por semana
- ☐ 1 vez por semana
- ☐ De 15 em 15 dias
- ☐ 1 vez por mês
- ☐ Raramente
- ☐ Não consumo

9. **O que você leva em consideração no momento da compra do produto ? ***

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Marca
- ☐ Ingredientes
- ☐ Preço
- ☐ Certificação (orgânico, sem glúten, vegano)

10. **O que você mais gosta na massa de uma pizza ? ***

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Crocância
- ☐ Maciez
- ☐ Cor
- ☐ Sabor neutro
- ☐ Aparência

FASE DE PROVA

Agora, precisamos que você prove a amostra **404** e responda as perguntas abaixo:

AMOSTRA 404

Avalie a amostra de acordo com a escala hedônica

- 1. Desgostei extremamente
- 2. Desgostei muito
- 3. Desgostei moderadamente
- 4. Desgostei ligeiramente
- 5. Indiferente
- 6. Gostei ligeiramente
- 7. Gostei moderadamente
- 8. Gostei muito
- 9. Gostei extremamente

11. **Amostra 404 ***

Marque todas que se aplicam.

	1 Desgostei extremamente	2	3	4	5 Indiferente	6	
Impressão Global (aceitação geral)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	[
Aparência	☐	☐	☐	☐	☐	☐	[
Odor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	[
Cor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	[
Textura	☐	☐	☐	☐	☐	☐	[
Sabor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	[

12. Marque **todas** as alternativas que se aplicam a **amostra 404 ***

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Boa textura
- ☐ Crocante
- ☐ Macia
- ☐ Firmeza
- ☐ Cor agradável
- ☐ Cor desagradável
- ☐ Sabor residual
- ☐ Salgado
- ☐ Saboroso
- ☐ Uniformidade na massa
- ☐ Espessura agradável
- ☐ Espessura desagradável
- ☐ Aroma agradável
- ☐ Aroma desagradável

14. Marque **todas** as alternativas que se aplicam a **amostra 910** *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Boa textura
- ☐ Crocante
- ☐ Macia
- ☐ Firmeza
- ☐ Cor agradável
- ☐ Cor desagradável
- ☐ Sabor residual
- ☐ Salgado
- ☐ Saboroso
- ☐ Uniformidade na massa
- ☐ Espessura agradável
- ☐ Espessura desagradável
- ☐ Aroma agradável
- ☐ Aroma desagradável

Agradecemos a sua participação e contribuição com a Ciência e Tecnologia de Alimentos.

ANEXO 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 da UEPG
Av. Gen. Carlos Cavalcanti, 4748. CEP: 84030-900
Campus Uvaranas Bloco da Reitoria - Sala 22 – Ponta Grossa. Fone: (42) 3220-3108 email: propespsecretaria@uepg.br

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Você está sendo convidado a participar da pesquisa sobre “Desenvolvimento de formulações de produtos alimentícios a base de subprodutos agroindustriais enriquecidos com biomassas de microrganismos fotossintetizantes”, tendo como pesquisadora responsável a Profª Drª Eliane D. Godoy da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

O objetivo da pesquisa é avaliar a viabilidade do aproveitamento de subprodutos agroindustriais como ingredientes para o desenvolvimento de alimentos com potencial funcional. Além disso, serão enriquecidos nutricionalmente com biomassas desidratadas de microalgas (microrganismos fotossintetizantes).

A sua participação no estudo será da seguinte forma: você receberá uma amostra por vez, cada amostra será acompanhada de questões objetivas onde deverá escolher qual atributo mais descreve o produto avaliado. Os subprodutos agroindustriais utilizados neste estudo apresentam importância nutricional devido aos teores de fibras, vitaminas, minerais e antioxidantes que contém, podendo enriquecer os produtos e conferir sustentabilidade às cadeias produtivas. 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. Além da participação como avaliador(a) na análise sensorial, a pesquisa conta com a participação voluntária respondendo a questionários para diagnóstico do perfil do consumidor potencial.

Você está contribuindo com este estudo de forma voluntária, portanto, não receberá recompensa ou gratificação, nem pagará para participar. No entanto, haverá compensação material de cobertura material para reparação a dano, causados pela pesquisa ao participante. Durante todas as fases da pesquisa nós garantimos sigilo e privacidade sobre a sua participação. Você está recebendo o TCLE que deve ser assinada pelo Pesquisador Responsável e por você. 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.

Comitê de Ética em Pesquisa da UEPG Universidade Estadual de Ponta Grossa Av. Carlos Cavalcanti, 4748 Uvaranas Bloco da Reitoria - Sala 22 Campus Uvaranas CEP: 84030- 900 Ponta Grossa PR E-mail: propespsecretaria@uepg.br Telefone: (42) 3220-3282
Eliane D. Godoy Cel.: (42) 999388576 e-mail: elianegodoydanesi@hotmail.com, edgodoy@uepg.br

Eliane Dalva Godoy

2 de abril de 2025

ANEXO B – PARECER CONSUBSTANCIADO 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 a base de subprodutos agroindustriais enriquecidos com microrganismos fotossintetizantes

Pesquisador: ELIANE DALVA GODOY

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 84317024.6.0000.0105

Instituição Proponente: Universidade Estadual de Ponta Grossa

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.623.056

Apresentação do Projeto:

Projeto de Pesquisa:

Desenvolvimento de formulações de produtos alimentícios a base de subprodutos agroindustriais enriquecidos com microrganismos fotossintetizantes. Envolvimento de seres humanos em pesquisa de desenvolvimento de produtos alimentícios. A aceitabilidade deve ser investigada usando métodos que envolvem respostas pelos sentidos humanos, como paladar, odor, tato, visão. Dessa forma, após experimentarem produtos que foram definidos como seguros para consumo, emitirão resposta sobre o sabor, aroma, cor, textura e impressão global. A participação será voluntária e após concordância e assinatura do TCLE.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Avaliar a viabilidade tecnológica e sensorial da adição de subprodutos agroindustriais e de

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:** cep105@uepg.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG



Continuação do Parecer: 7.623.056

microrganismos

foto-sintetizantes na elaboração de alimentos com potencial funcional.

Objetivo Secundário:

Capacitação de recursos humanos com participação de alunos/as do curso de Engenharia de Alimentos para melhor atuação profissional Produção científica da equipe

Divulgação da universidade em eventos científicos. Possibilidade de transferência de tecnologia ao setor agroindustrial sobre formas de aproveitamento dos

subprodutos Contribuição aos conhecimentos sobre formulações de alimentos com potencial funcional

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 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 avaliadores.

Benefícios:

Destinar subprodutos que são 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 teores de fibras e

compostos bioativos, essas ações permitirão inserção em práticas de Economia Circular, com sustentabilidade. As microalgas são produzidas por

técnicas sustentáveis ou *ecofriendly*, possibilitando oferta de alimentos com potencial funcional para

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: cep105@uepg.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG



Continuação do Parecer: 7.623.056

nichos de mercado específicos. A participação voluntária na avaliação sensorial contribuirá com os desfechos das pesquisas, fornecendo informações sobre o posicionamento, definindo a aceitação destes produtos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A crescente demanda por alimentos funcionais deve-se as evidências que relacionam hábitos alimentares aos benefícios no estado de saúde.

Alimentos funcionais representam uma tendência de longo prazo com importante potencial de mercado.

Aliada a essa tendência, a necessidade de

ações relacionadas à Economia Circular e processos *‘eco-friendly’* são preocupações recorrentes. O uso de subprodutos agroindustriais e de

microrganismos fotossintetizantes como ingredientes no desenvolvimento de formulações são

favoráveis nesse sentido. Esses materiais apresentam

em sua composição fibras alimentares, proteínas, minerais, vitaminas, compostos bioativos com potencial antioxidante e vários efeitos positivos

comprovados no metabolismo humano. Essas formulações deverão ser submetidas à análise sensorial utilizando métodos de aceitação. Com os

resultados espera-se caracterizar as formulações dos produtos com aceitação e interesse de compra, atendendo as necessidades de um público

que busca alimentos com apelo saudável e com sustentabilidade.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Em anexo e de acordo com as normas vigentes. Todos os termos de apresentação obrigatória estão corretamente preenchidos e anexados. Todos os documentos pertinentes foram apresentados em anexo e de acordo com as normas 466/2012 e 510/2016, bem como a Lei 14.874.

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:** cep105@uepg.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG



Continuação do Parecer: 7.623.056

Recomendações:

Enviar o relatório final pela plataforma Brasil por notificação ao término do projeto

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Avaliada a documentação pertinente considera-se aprovado o projeto

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_2445174.pdf	06/06/2025 10:30:16		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLEPENDENCIA.docx	02/04/2025 16:26:57	ELIANE DALVA GODOY	Aceito
Folha de Rosto	PENDENCIAFOLHAROSTO.pdf	02/04/2025 16:25:38	ELIANE DALVA GODOY	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETOCOEP24.pdf	24/10/2024 15:29:18	ELIANE DALVA GODOY	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

PONTA GROSSA, 06 de Junho de 2025

Assinado por:
ULISSES COELHO
(Coordenador(a))