



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM
ALIMENTOS

POLIANA BRITO DE SOUSA

**POTENCIAL DE USO DA SEMENTE DE FLAMBOYANT-MIRIM (*CAESALPINIA*
PULCHERRIMA (L) SW.) COMO INGREDIENTE FUNCIONAL EM PÃES**

FORTALEZA

2026

POLIANA BRITO DE SOUSA

POTENCIAL DE USO DA SEMENTE DE FLAMBOYANT-MIRIM (*CAESALPINIA
PULCHERRIMA* (L) SW.) COMO INGREDIENTE FUNCIONAL EM PÃES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Ceará – *Campus* Pici para a obtenção do título de Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de produtos de origem vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Audino Zambelli.
Coorientador: Prof. Dr. Elenilson de Godoy Alves Filho.

FORTALEZA

2026

POLIANA BRITO DE SOUSA

POTENCIAL DE USO DA SEMENTE DE FLAMBOYANT-MIRIM (*CAESALPINIA
PULCHERRIMA* (L) SW.) COMO INGREDIENTE FUNCIONAL EM PÃES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Ceará – *Campus* Pici para a obtenção do título de Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de produtos de origem vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Audino Zambelli.
Coorientador: Prof. Dr. Elenilson de Godoy Alves Filho.

Aprovada em: 28/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rafael Audino Zambelli (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Luan Ícaro Freitas Pinto
Instituto Federal do Rio Grande do Norte - IFRN

Prof. Dr. Jurandy do Nascimento Silva
Universidade Federal do Piauí - UFPI

Profa. Dra. Luciana Gama de Mendonça
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Profa. Dra. Andrêssa Maria Medeiros Theóphilo Galvão
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

À Manoel de Jesus Marques (*In Memoriam*).

À minha família, amigos e a todos que me apoiaram nos momentos mais difíceis da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis da minha vida, por sempre me dar forças e sempre me ensinar a continuar lutando, embora encontrando vários obstáculos na vida.

Aos meus pais, José Paulo e Maria de Jesus, por tudo que sou, pelo respeito, compreensão, amor e incentivo. À minha mãe, pelo apoio que sempre me deu, pelos conselhos dados e paciência que sempre teve comigo.

Aos demais familiares, pela presença, palavras, sorrisos ou pelas simples lembranças, encorajando-me e determinando-me a traçar um caminho em busca dos meus ideais, em especial às minhas irmãs Alexandra e Andréa, à minha prima Antônia e aos meus sobrinhos Ana Clara e Marcos Antônio.

À Manoel de Jesus Marques (*In memoriam*), pela amizade, companheirismo e incentivo ao doutorado. Obrigada, por me ensinar a transpor muitas barreiras, contribuindo com meu êxito e crescimento como pessoa. Agradeço pelas conversas, atenção, conselhos “infalíveis”, elogios, pelos trabalhos e pela frase, “tente sempre, o máximo que pode acontecer é não dar certo”.

Aos meus orientadores, prof. Rafael Zambelli e prof. Elenilson, pela paciência e dedicação na orientação, amizade, responsabilidade em transmitir conhecimentos e pelo exemplo de conduta como pesquisadores e professores.

Aos professores da Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da UFC Campus *Pici*, pelos ensinamentos durante a jornada do doutorado.

Aos professores Luan Ícaro e Jurandy, pela amizade, apoio e incentivo ao doutorado, por contribuir com importantes observações e sugestões no projeto de qualificação e na tese de doutorado.

Aos demais membros da banca (Prof. Luciana e Prof. Andrêssa) que contribuíram com importantes observações e sugestões na minha tese de doutorado.

Aos colegas da Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da UFC: Neilane, Camila, Cristina Zita, Thaila, Elisabeth, Gabriel, Diogo e Rayane, pela gratificante convivência.

Meu agradecimento eterno para Neilane, Camila e Ana Karoline, por estarem comigo em cada etapa deste doutorado, pelas ajudas durante o processamento do meu produto e nas etapas de caracterização da matéria-prima e pelas sugestões de melhoria no trabalho.

Um agradecimento especial para Wesleyne, por ter aberto as portas da sua casa com tanto carinho e confiança durante todo esse tempo do doutorado. Sou muito grata pela sua amizade, pelo incentivo, pelo apoio na minha pesquisa, principalmente nas coletas do Flamboyant-mirim, pelos “puxões de orelha” e por sempre acreditar em mim.

Mais um agradecimento especial ao grupo de ciclismo de Fortaleza (Ciclista Amigo) por me proporcionar momentos de puro lazer e alívio do estresse durante toda a minha jornada do doutorado. Em especial gostaria de agradecer aos amigos que contribuíram diretamente na minha pesquisa, exclusivamente na coleta da minha matéria-prima (Flamboyant-mirim): Júlio César, Marluvia, Robin, Berg e Gustavo.

Ao diretor geral do IFPI Campus Teresina Central (prof. Paulo Vilarinho), ao diretor de ensino do IFPI Campus Teresina Central (prof. Francieric), ao Chefe do departamento de Informação, Ambiente, Saúde e Produção Alimentícia – DIASPA (profa. Layane), a Coordenação do Curso de Tecnologia em Alimentos e Agroindústria (profa. Lívia e prof. Nívea), ao técnico em Alimentos Luís Henrique e aos monitores do laboratório de alimentos (Iza, Sandiana, Emily, Natália, Francielly e etc.), pelo apoio e compreensão nos momentos em que precisei me ausentar.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela oportunidade e possibilidade de realização deste sonho.

À Universidade Federal do Ceará, Ao Instituto Federal do Piauí e a Embrapa que possibilitou esta pesquisa.

E a todos os amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o meu sucesso. Sou o resultado da confiança e da força de cada um de vocês!

“Eu acredito, eu luto até o fim: não há como perder, não há como não vencer.”

Oleg Taktarov.

RESUMO

As sementes de flamboyant-mirim são fontes de proteínas, lipídios e outros nutrientes, como minerais e vitaminas, podendo ser utilizadas como ingrediente para enriquecimento nutricional de produtos de panificação. Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi caracterizar a farinha de semente de flamboyant-mirim (FSF) e avaliar o efeito da adição de sua farinha e de seu gel (GSF) na elaboração de pães tipo forma. Inicialmente, a FSF foi fracionada por peneiramento granulométrico (0,710 mm, 0,500 mm, 0,355 mm e 0,250 mm) e submetidas às análises químicas, tecnológicas, funcionais, microestruturais e de toxicidade. A fração de 0,250 mm apresentou elevados teores de cinzas, lipídios, proteínas, fibras, minerais (Ca, Mg, P, K, Fe, Mn e Zn) e melhor desempenho funcional, incluindo maior solubilidade em água, capacidade de absorção de óleo e propriedades emulsificantes. As análises indicaram morfologia heterogênea, padrões cristalinos semelhantes entre as amostras e ausência de toxicidade. Compostos como aminoácidos, açúcares e ácidos graxos insaturados também foram identificados. Na segunda etapa, pães tipo forma foram elaborados com diferentes concentrações de FSF (3,96–11,04%) e GSF (0,17–5,82%), utilizando o delineamento composto central rotacional. As variáveis dependentes incluíram parâmetros tecnológicos, físico-químicos, nutricionais e funcionais. A inclusão de FSF e GSF nos pães tipo forma aumentou os teores de proteínas, lipídios, cinzas, fibras, minerais, compostos fenólicos e atividade antioxidante. Também foram observadas melhorias em parâmetros tecnológicos, como volume específico, estrutura alveolar e características de cor. Em contrapartida, houve redução de umidade, acidez, densidade e luminosidade do miolo. Conclui-se que as formulações contendo 11,035% de FSF e 3% de GSF, 10% de FSF e 5% de GSF e 10% de FSF e 1% de GSF proporcionaram pães com maior valor nutricional, propriedades tecnológicas aprimoradas e potencial funcional elevado, configurando alternativas promissoras para o desenvolvimento de produtos panificados com apelo *clean label* e enriquecimento natural.

Palavras-chave: bioativos; desenvolvimento de novos produtos; farinha de vegetais; leguminosa não convencional; panificação; qualidade tecnológica; sustentabilidade.

ABSTRACT

Flamboyant-mirim seeds are a source of protein, lipids, and other nutrients, such as minerals and vitamins, and can be used as an ingredient to enrich the nutritional value of baked goods. Therefore, the objective of this research was to characterize flamboyant-mirim seed flour (FSF) and evaluate the effect of adding its flour and gel (GSF) in the production of loaf bread. Initially, the FSF was fractionated by granulometric sieving (0.710 mm, 0.500 mm, 0.355 mm, and 0.250 mm) and subjected to chemical, technological, functional, microstructural, and toxicity analyses. A 0.250 mm fraction showed high levels of ash, lipids, protein, fiber, minerals (Ca, Mg, P, K, Fe, Mn, and Zn), and better functional performance, including greater water solubility, oil absorption capacity, and emulsifying properties. Analyses indicated heterogeneous morphology, similar crystalline patterns among the samples, and absence of toxicity. Compounds such as amino acids, sugars, and unsaturated fatty acids were also identified. In the second stage, loaf-type breads were made with different concentrations of FSF (3.96–11.04%) and GSF (0.17–5.82%), using a central composite rotatable design. Dependent variations included technological, physicochemical, nutritional, and functional parameters. The inclusion of FSF and GSF in the loaf-type breads increased the levels of protein, lipids, ash, fiber, minerals, phenolic compounds, and antioxidant activity. Improvements were also observed in technological constraints, such as specific volume, alveolar structure, and color characteristics. Conversely, there was a reduction in moisture, acidity, density, and luminosity of the crumb. It is concluded that formulations containing 11.035% FSF and 3% GSF, 10% FSF and 5% GSF, and 10% FSF and 1% GSF provide benefits with greater nutritional value, improved technological properties, and high functional potential, representing promising alternatives for the development of baked goods with clean label appeal and natural enrichment.

Keywords: bioactives; new product development; vegetable flour; unconventional legume; baking; technological quality; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Representação da planta de <i>Caesalpinia pulcherrima</i> L. Swartz	18
Figura 2 -	Vagens (a) e sementes (b) de <i>Caesalpinia pulcherrima</i> L. Swartz	35
Figura 3 -	Processamento da Farinha da semente de flamboyant-mirim – FSF	35
Figura 4 -	Farinha da semente de flamboyant-mirim – FSF com diferentes granulometrias: 0,710 mm (a), 0,500 mm (b), 0,355 mm (c) e 0,250 mm (d)	35
Figura 5 -	Curva de calibração do padrão de referência ácido gálico	42
Figura 6 -	Micrografia eletrônica de varredura da FSF com diferentes granulometrias, 0,710 mm (a), 0,500 mm (b), 0,355 mm (c) e 0,250 mm (d) com uma lente de aumento de 1000 x	73
Figura 7 -	Difratogramas de raios-X obtidos da FSF com diferentes granulometrias.	76
Figura 8 -	Comparação entre os espectros de ¹ H RMN de farinha de sementes de flamboyant-mirim (0,250 mm) considerando os seguintes solventes deuterados da extração: clorofórmio (a), metanólico (b) e água (c).	81
Figura 9 -	Resultados do PLS-DA da classificação das amostras de acordo com a granulometria: a) sistema de coordenadas de escores (LV1 × LV2); b) resíduos Hotelling T ² × Q; c) cargas LV1 × LV2; e d) análise VIP	85
Figura 10 -	Processamento da farinha da semente de flamboyant-mirim – FF	107
Figura 11 -	Processamento do gel da semente de flamboyant-mirim - GSF	108
Figura 12 -	Fluxograma do processo de fabricação dos pães tipo forma	110
Figura 13 -	Pão tipo forma controle (C) e pães tipo forma produzido com farinha da semente de flamboyant-mirim - FSF e gel da semente de flamboyant-mirim - GSF (1-11)	110
Figura 14 -	Gráfico de superfície de resposta (a) e curvas de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre a coloração b* do miolo dos pães tipo forma	132
Figura 15 -	Gráfico de superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre a cromaticidade C* do miolo dos pães tipo forma.	133
Figura 16 -	Gráfico de superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre o teor lipídico dos pães tipo forma.	149
Figura 17 -	Gráfico de superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre o teor de proteínas dos pães tipo forma	151
Figura 18 -	Gráfico de superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre o teor de ferro dos pães tipo forma	160

Figura 19 - Gráfico de superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre o teor de zinco dos pães tipo forma.	162
Figura 20 - Gráfico de superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre o teor de fósforo dos pães tipo forma.	163
Figura 21 - Micrografia eletrônica de varredura dos pães tipo forma controle (a) e adicionados de FSF e GSF (b-l) com uma lente de aumento de 1000 x.	166

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Perfil granulométrico da farinha de semente de flamboyant-mirim - FSF.....	46
Tabela 2 -	Análises físico-químicas e centesimais da farinha de semente de flamboyant com diferentes granulometrias.	48
Tabela 3 -	Propriedades tecnológicas da farinha de semente de flamboyant com diferentes granulometrias.	59
Tabela 4 –	Capacidade de formação de gel - CFG da farinha de semente de flamboyant-mirim com diferentes granulometrias	64
Tabela 5 -	Análise de minerais da farinha de semente de flamboyant-mirim com diferentes granulometrias.....	65
Tabela 6 -	Teores de fenólicos totais (mg de EAG/g) dos extratos aquosos das frações granulométricas da FSF.....	70
Tabela 7 -	Capacidade antioxidante <i>in vitro</i> (EC ₅₀ mg/mL) frente ao radical DPPH* dos extratos aquosos das frações granulométricas da FSF	71
Tabela 8 -	Teste de toxicidade aguda <i>in vitro</i> da farinha da semente de flamboyant-mirim com granulometria de 0,250 mm.....	78
Tabela 9 -	Concentrações dos compostos orgânicos identificados por RMN em mg por 100 mg dos extratos clorofórmico, metanólico e aquoso da farinha de sementes de flamboyant-mirim com granulometria de 0,250 mm	81
Tabela 10 –	Formulação padrão de pão tipo forma.....	108
Tabela 11 -	Variáveis e níveis do planejamento experimental.....	109
Tabela 12 -	Matriz do delineamento experimental com valores codificados e reais.....	109
Tabela 13 -	Resultados médios e teste Tukey para os parâmetros de perda por cocção, densidade e volume específico dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim.....	118
Tabela 14 -	Resultados médios e teste Tukey para os parâmetros de índice de expansão, número de alvéolos e circularidade dos alvéolos dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim	121
Tabela 15 -	Resultados médios e teste Tukey para os parâmetros de cor do miolo (L, a*, b* e C*) dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim	123
Tabela 16 -	Resultados médios e teste Tukey para os parâmetros de cor da crosta (L, a*, b* e C*) dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-	

mirim	126
Tabela 17 - Coeficientes de regressão das respostas avaliadas de perda por cocção, densidade, volume específico, índice de expansão, número de alvéolos e circularidade dos alvéolos.....	130
Tabela 18 - Coeficientes de regressão das respostas avaliadas de cor do miolo (L*, a*, b* e C*) e da crosta (L*, a*, b* e C*).....	130
Tabela 19 - ANOVA da regressão para a resposta de cor b* do miolo.	131
Tabela 20 - ANOVA da regressão para a resposta de cor C* do miolo.....	133
Tabela 21 - Resultados médios e teste Tukey para os parâmetros de pH, acidez, umidade e atividade de água dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, do pão controle e das matérias-primas avaliadas (FSF e GSF)	135
Tabela 22 - Resultados médios e teste Tukey para os parâmetros de lipídios, proteínas, fibra bruta e cinzas dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, do pão controle e das matérias-primas avaliadas (FSF e GSF).	140
Tabela 23 - Resultados médios e teste Tukey para os parâmetros centesimais de carboidratos, calorias, fenólicos totais e atividade antioxidante dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, do pão controle e das matérias-primas avaliadas (FSF e GSF).....	143
Tabela 24 - Coeficientes de regressão do modelo das respostas avaliadas de pH, acidez, umidade, atividade de água, lipídios e proteínas.....	148
Tabela 25 - Coeficientes de regressão do modelo das respostas avaliadas de fibras, cinzas, carboidratos, calorias, fenólicos e atividade antioxidante.....	148
Tabela 26 - ANOVA da regressão para a resposta ao teor de lipídios.....	149
Tabela 27 - ANOVA da regressão para a resposta ao teor de proteínas	151
Tabela 28 - Resultados médios e teste Tukey para os parâmetros de cálcio, magnésio e potássio dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, do pão controle e das matérias-primas avaliadas (FSF e GSF).	152
Tabela 29 - Resultados médios e teste Tukey para os parâmetros de fósforo, ferro e zinco dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, do pão controle e das matérias-primas avaliadas (FSF e GSF).....	155
Tabela 30 - Coeficientes de regressão do modelo das respostas avaliadas de cálcio, magnésio,	

potássio, fósforo, ferro e zinco.	159
Tabela 31 - ANOVA da regressão para a resposta ao teor de ferro.	160
Tabela 32 - ANOVA da regressão para a resposta ao teor de zinco.	161
Tabela 33 - ANOVA da regressão para a resposta ao teor de fósforo.	163

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	16
	CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA	18
1	Flamboyant-mirim	18
2	Pão	20
3	Enriquecimento de pães	21
4	Alimentos Funcionais	22
	REFERÊNCIAS	24
	CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DA SEMENTE DE FLAMBOYANT-MIRIM E AVALIAÇÃO DO EFEITO GRANULOMÉTRICO	32
1	INTRODUÇÃO	33
2	METODOLOGIA	34
2.1	Obtenção da matéria-prima	34
2.2	Processamento da Farinha da Semente de Flamboyant-mirim (FSF)	34
2.3	Análises realizadas na Farinha de Semente de Flamboyant-mirim (FSF)	36
2.4	Análises estatísticas	45
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.1	Análises de Granulometria	46
3.2	Análises físico-químicas e centesimais	47
3.3	Propriedades tecnológicas	58
3.4	Análise de Minerais	65
3.5	Propriedades funcionais	70
3.6	Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV	73
3.7	Análise de difração de raios – X	75
3.8	Análise de Toxicidade	78
3.9	Análise de RMN	79
3.10	Análise estatística multivariada	84
4	CONCLUSÃO	87
	REFERÊNCIAS	88
	CAPÍTULO III – EFEITO TECNOLÓGICO DA ADIÇÃO DE FARINHA E GEL DA SEMENTE DE FLAMBOYANT-MIRIM NA QUALIDADE DE PÃES TIPO FORMA	104

1	INTRODUÇÃO	105
2	METODOLOGIA	106
2.1	Obtenção da matéria-prima	106
2.2	Processamento da Farinha da Semente de Flamboyant-mirim (FSF)	107
2.3	Produção do Gel da Semente de Flamboyant-mirim – GSF	107
2.4	Preparação do pão tipo forma padrão	108
2.5	Desenvolvimento dos pães tipo forma adicionado de Farinha da Semente	108
2.6	Processo de fabricação de pães tipo forma	109
2.7	Análises realizadas nas matérias-primas (FSF e GSF) e nas formulações	111
2.7.1	<i>Perda por Cocção</i>	111
2.7.2	<i>Índice de expansão</i>	111
2.7.3	<i>Volume específico do pão</i>	111
2.7.4	<i>Densidade</i>	112
2.7.5	<i>Análise de imagem da estrutura do miolo</i>	112
2.7.6	<i>Análise instrumental de cor</i>	113
2.7.7	<i>Análises físico-químicas e centesimal</i>	113
2.7.8	<i>Determinação do teor de fenólicos totais</i>	113
2.7.9	<i>Determinação da capacidade antioxidante pelo método DPPH</i>	114
2.7.10	<i>Análises de Minerais</i>	115
2.7.11	<i>Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV</i>	116
2.8	Análises estatísticas	116
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	117
3.1	Resultados dos parâmetros físicos e tecnológicos dos pães analisados	117
3.1.1	<i>Efeitos da adição de FSF e GSF nas respostas avaliadas</i>	129
3.2	Resultados das análises físico-químicas, centesimais e funcionais	134
3.2.1	<i>Efeitos da adição de FSF e GSF nas respostas avaliadas</i>	147
3.3	Resultados dos teores de minerais das matérias-primas (FSF e GSF)	152
3.3.1	<i>Efeitos da adição de FSF e GSF nas respostas avaliadas</i>	158
3.4	Resultados das análises de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV	164
4	CONCLUSÃO	170
	REFERÊNCIAS	171

INTRODUÇÃO

O interesse dos consumidores por dietas saudáveis tem focado nos potenciais benefícios dos alimentos à saúde. Atualmente, a alimentação não visa apenas suprir a fome e as demandas nutricionais básicas, mas também prevenir doenças relacionadas à dieta e promover o bem-estar do consumidor (WIRKIJOWSKA *et al.*, 2020).

Os alimentos funcionais são o resultado da suplementação de alimentos com nutracêuticos ou ingredientes bioativos capazes de proporcionar benefícios à saúde. Esses alimentos representam uma das respostas da indústria de alimentos às novas preocupações dos consumidores relacionadas aos alimentos (LABRECQUE; CHARLEBOIS, 2011; MULRY, 2002).

Dentre os diversos tipos de indústrias de alimentos, na panificação é importante visar um produto com efeitos fisiológicos benéficos e com aceitação pelo consumidor em termos de aparência, sabor e textura. A panificação é um processo complexo no qual a massa, normalmente composta por farinha, água, fermento, açúcar, sal e óleo, é misturada, amassada, fermentada e assada (ALTUNKAYA *et al.*, 2013; FAN *et al.*, 2006; ŚWIECA *et al.*, 2013).

O pão é um dos produtos da panificação, considerado o alimento básico na maioria das dietas desde a antiguidade. Globalmente, seu consumo ultrapassa 9 bilhões de quilos anualmente. Estima-se que o consumo diário de pão e produtos de panificação compõem 70% do consumo total de cereais (ĐUROVIĆ *et al.*, 2020; LOPES; CAVALEIRO; RAMOS, 2017; PENG *et al.*, 2010; PIECHOWIAK *et al.*, 2020).

Uma maneira simples de enriquecer o pão e outros produtos cujo processamento inclui a formação de massa, consiste em usar pó de frutas e vegetais como substituto parcial da farinha de trigo. Diversos pesquisadores exploraram o uso do pó de frutas e vegetais na fabricação de pães (ALASHI *et al.*, 2018; ALKANDARI; SARFRAZ; SIDHU, 2019; FAMUWAGUN *et al.*, 2016; GAWLIK-DZIKI *et al.*, 2014; ŚWIECA *et al.*, 2014; WIRKIJOWSKA *et al.*, 2020; ZAMBELLI *et al.*, 2017).

Esse interesse por adicionar pó de frutas e/ou vegetais na panificação ocorre devido à grande variedade de compostos funcionais que podem ser extraídos a partir de plantas que podem contribuir com aspecto nutricional e tecnológico dos produtos. Chanda e Baravalia (2011) afirmam que os constituintes naturais à base de plantas podem ser derivados de qualquer parte da planta como cascas, folhas, raízes, frutos e sementes.

Dentre as plantas que apresentam uma abundância de compostos funcionais está o flamboyant-mirim (*Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz), nativa da América Central, bem

adaptada a diferentes regiões, incluindo a Caatinga do Nordeste brasileiro (CERQUEIRA *et al.*, 2009). A flor de *C. pulcherrima* é conhecida por possuir atividades antivirais, antimicrobianas, antioxidantes, anti-helmínticas, dentre outras (CHIANG *et al.*, 2003; DHAKED; KSHIRSAGAR; SAKARAR, 2011; DHAKED; PANIGRAHY; KSHIRSAGAR, 2011; YAMUNA; PADMA, 2013).

As folhas foram relatadas propriedades antimicrobianas, antioxidantes, antivirais, antiulcerosas e anticonvulsivante (AGUIAR *et al.*, 2019; CHIANG *et al.*, 2003; KUMAR; NIRMALA, 2004; KUMAR *et al.*, 2010; ROUMY *et al.*, 2020). O extrato do caule foi descrito possuindo atividade antiviral, antibacteriana, antiplasmodial e citotóxica (ASATI e YADAVA, 2017; OGU; AISUODIONOE; NWACHUKWU, 2012; CHIANG *et al.*, 2003; MCPHERSON *et al.*, 1983).

As sementes são fontes de proteínas, carboidratos, vitaminas lipossolúveis A e E, minerais e juntamente com as cascas dos frutos possuem propriedades antimicrobianas e antioxidantes. Além disso, as sementes acumulam grandes quantidades de galactomanana com potencial aplicação na indústria de alimentos, como hidrocoloide, modificador de textura e fonte de fibra alimentar (BURITI *et al.*, 2014; CERQUEIRA *et al.*, 2009; CHANDA *et al.*, 2010; MARQUES, 2019; ODERINDE; ADEWUYI; AJAYI, 2008).

Diante de sua composição nutricional e efeitos benéficos à saúde relatados na literatura, e considerando a ausência de estudos sobre a incorporação da semente de flamboyant-mirim em formulações de pães, a presente pesquisa foi dividida em três capítulos: no primeiro (I), foi apresentada uma revisão de literatura sobre os temas pertinentes ao estudo, no segundo (II), foram analisadas as características físico-químicas, tecnológicas, nutricionais e funcionais da farinha de sementes de flamboyant-mirim em diferentes granulometrias; e, no terceiro (III), foram avaliados os efeitos da farinha e do gel da semente nos parâmetros de qualidade de pães tipo forma.

CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA

1 Flamboyant-mirim

O gênero *Caesalpinia* L. (Caesalpinaceae) é um gênero pantropical de árvores, arbustos e escaladores espinhosos, compreendendo cerca de 150 espécies distribuídas pelo mundo. A maioria das espécies do gênero *Caesalpinia* possui importância econômica, medicinal e ornamental (KATHUN e RAHMAN, 2006).

Essas plantas têm sido utilizadas desde a antiguidade devido às suas propriedades medicinais e terapêuticas. Entre as plantas de interesse está *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz. Internacionalmente, é conhecida por diversos nomes comuns, como *peacock flower*, *dwarf poinciana*, *Mexican bird of Paradise* e *pride of Barbados* (ATIENZA *et al.*, 2016). No Brasil recebe denominações populares como barba-flamboyana, barba-barata, flamboyanzinho e flamboyant-mirim (AGUIAR *et al.*, 2019; BRAGA *et al.*, 2011; BURITI *et al.*, 2014).

Flamboyant-mirim é uma árvore pequena, com altura entre 3,7 e 4,3 m, apresentando poucos espinhos nos galhos e casca de coloração acinzentada. As folhas são abruptamente bipinadas, folhetos em 13 a 20 pares, com 1,3 a 1,9 cm de comprimento. As flores são vermelhas ou amarelas, perfumadas (Figura 1). O fruto de flamboyant-mirim é um legume deiscente, glabro e de coloração marrom-escuro quando maduro, contendo múltiplas sementes. Apresenta variação nas dimensões (comprimento, largura e espessura) e no número de sementes por vagem, que podem variar de 2 a 15 (ARAÚJO NETO *et al.*, 2014; BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2012).

Figura 1 - Representação da planta de *Caesalpinia pulcherrima* L. (SW).



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

A floração desta planta ocorre geralmente entre setembro e novembro, enquanto a frutificação se dá de março a abril. A propagação ocorre principalmente por sementes, cresce bem em todos os tipos de solo e é altamente resistente à seca, mas tem histórico de ser intolerante a inundações (ATIENZA *et al.*, 2016; BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2012).

Na medicina popular, diferentes partes da planta (folhas, vagens, flores e cascas) são utilizadas no tratamento de enfermidades como reumatismo, úlceras (SUDHAKAR *et al.*, 2006), febre, infecções, feridas, irritações oculares (GOVINDARAJAN; RAJESWARY; AMSATH, 2013) bronquite, asma e tumores (CHIANG *et al.*, 2003; FIGUEIREDO; SÁBER, 2016; PULIPATI *et al.*, 2012). Especificamente na China é usado como tônico que estimula o fluxo sanguíneo e sua casca é usado como abortivo (ISLAM *et al.*, 2003).

A *Caesalpinia pulcherrima* possui vários compostos bioativos, como esteroides, açúcares, triterpenoides, alcaloides, compostos fenólicos, flavonoides, catequinas, saponinas, taninos, antraquinonas e aminoácidos (OSUNTOKUN; JU; THONDA, 2017; SANGEETHA *et al.*, 2024).

Extratos etanólicos de frutos secos de *Caesalpinia pulcherrima* apresentam atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*. Além disso, os extratos de *C. pulcherrima* exibiram atividade antifúngica contra *Candida albicans*, *Aspergillus niger* e *Rhizopus oligosporus* (SUDHAKAR *et al.*, 2006).

As sementes de *Caesalpinia pulcherrima* são fontes de galactomananas (polissacarídeos) com potenciais aplicações na indústria de alimentos, atuando como hidrocoloide, modificador de textura e fonte de fibra alimentar (BURITI *et al.*, 2014). Esses polissacarídeos representam uma alternativa de baixo custo às substâncias sintéticas, apresentando a vantagem de serem produzidos localmente. Além disso, sua aplicação para aumentar a vida útil das frutas pode contribuir significativamente para a economia de países como o Brasil (CERQUEIRA *et al.*, 2009).

Thombre *et al.* (2013) relataram que a galactomanana pode ser facilmente obtida a partir de sementes maduras de *C. pulcherrima*, podendo ser usada como modificador de viscosidade e agente espessante nas indústrias de alimentos e farmacêutica.

Em sobremesas lácteas, a galactomanana presente nas sementes de *C. pulcherrima* contribuiu para a formação de géis mais firmes e estáveis, além de apresentar sinergismo com amido, proteína do leite e a sacarose (MEDEIROS *et al.*, 2020). Ademais, Passos *et al.* (2016) demonstraram que essa galactomanana pode ser utilizada como substituta aos estabilizantes convencionais (super liga neutra e goma xantana) em sorvetes. Já as pesquisas de Senarathna

et al. (2022) revelaram a adequação da goma da semente como material para a fabricação de filmes comestíveis.

Garcia (2025) verificou que a farinha da semente de flamboyant-mirim germinada pode ser adicionada em formulações de pães para potencializar sua bioatividade e valor funcional. Além disso, o uso de concentrações de até 4% apresentou um melhor desempenho tecnológico, contribuindo para o desenvolvimento de produtos com maior apelo funcional.

Devido à escassez de trabalhos relacionados com o uso da semente de *Caesalpinia pulcherrima* no desenvolvimento de produtos alimentícios e tendo em vista o seu potencial nutricional, avaliar a aplicação dessa semente em pães de forma contribui para a geração de conhecimentos em ciência e tecnologia de alimentos, além de fomentar o desenvolvimento de formulações industriais inovadoras.

2 Pão

Pães são produtos elaborados a partir da farinha de trigo ou outras farinhas, combinadas com líquidos, podendo ser fermentados ou não e assados. Podem incluir outros ingredientes desde que não comprometam suas características essenciais, e apresentar variedade de cobertura, recheio, formato e textura (BRASIL, 2022).

A tecnologia de panificação é provavelmente uma das tecnologias mais antiga conhecidas mundialmente. No processo tradicional de panificação, farinha, água, sal e leveduras são misturados para formar uma massa viscoelástica, que passa por fermentação e cozimento, resultando em pães, bolos, biscoitos e outros produtos (BAIANO *et al.*, 2015; SELOMULYO; ZHOU, 2007; SIVAM *et al.*, 2010).

O valor nutricional do pão depende do tipo de farinha utilizada e da variedade de outros ingredientes adicionados à produção. O pão é bem digerido, pois sua estrutura elástica permite que proteínas sejam parcialmente desnaturadas, o amido se organize em agregados e os açúcares fiquem solubilizados, tornando-os acessíveis à ação de enzimas no sistema no trato gastrointestinal (DIMOV *et al.*, 2018; DROBOT; SHEVCHENKO, 2017).

A qualidade dos pães tende a ser influenciadas pelos ingredientes usados na formulação do pão e pelos parâmetros de cozimento, incluindo a temperatura e o tempo usado durante o cozimento (AMOAHA *et al.*, 2020).

O sabor é um dos principais fatores que influenciam a escolha dos consumidores. O aroma do pão tem sido extensivamente estudado, com diversos métodos desenvolvidos para identificar os compostos responsáveis pelo seu sabor. Mais de 540 compostos voláteis foram

relatados na fração volátil complexa de pão (CAYOT, 2007; POINOT *et al.*, 2007; RUIZ *et al.*, 2003).

As características sensoriais (volume, textura, cor e sabor) desempenham um papel fundamental na aceitação de pão pelos consumidores. Compostos que afetam direta ou indiretamente as características sensoriais do pão podem ser produzidas durante o amassamento da massa, fermentação e cozimento (CAVALLO *et al.*, 2017; PICO; BERNAL; GÓMEZ, 2015).

Produtos derivados de cereais fornecem carboidratos, proteínas, ácidos graxos insaturados e fibra alimentar, porém apresentam baixo teor de antioxidantes. Muitos compostos bioativos, especialmente polifenóis, estão concentrados na camada de farelo, frequentemente descartada na produção de pão e farinha de bolo. Além disso, a maioria dos antioxidantes é sensível ao calor. Por esse motivo, padeiros e pesquisadores buscam otimizar as tecnologias de panificação para aumentar o valor nutricional e bioativo dos produtos. Entre os ingredientes adicionáveis que podem enriquecer os pães estão ervas, frutas e vegetais secos, bem como extratos de plantas com alta atividade antioxidante (PENG *et al.*, 2010; PIECHOWIAK *et al.*, 2020).

3 Enriquecimento de pães

Para aumentar o valor nutricional do pão, há uma crescente incorporação de sementes, folhas e extratos vegetais como fontes de fitonutrientes. Este interesse do consumidor por pães funcionalizados tem se expandido globalmente, principalmente devido ao potencial desses alimentos na prevenção de doenças cardiovasculares, distúrbios gastrointestinais, diferentes tipos de câncer e diabetes tipo 2, frequentemente associados a padrões alimentares modernos e desequilibrados (ĐUROVIĆ *et al.*, 2020; GONZALEZ-ANTON *et al.*, 2017).

Antioxidantes naturais têm sido amplamente incorporados na indústria alimentícia, sendo bem aceitos pelos consumidores por serem considerados seguros e “naturais”. Compostos naturais com atividade antimicrobiana contra micro-organismos patogênicos e deteriorantes podem ser aplicados na preservação de alimentos, contribuindo simultaneamente para o aumento da vida útil e a melhoria da segurança dos alimentos (CONTO *et al.*, 2012; KRAMER *et al.*, 2015; NIONELLI *et al.*, 2018).

Uma estratégia promissora para a indústria alimentícia moderna é a utilização de matérias-primas com evidências de atividade antioxidante, ou o desenvolvimento de

formulações que resultem em produtos com elevado potencial antioxidante (ĐUROVIĆ *et al.*, 2020).

Nos últimos anos, farelo, prebióticos, vitaminas, minerais e outros constituintes funcionais têm sido sugeridos como substitutos parciais ou ingredientes para o enriquecimento da farinha de trigo (AL-SHERAJI *et al.*, 2013; BASHMIL *et al.*, 2025).

Alguns trabalhos têm mostrado o uso potencial de vegetais para melhorar as propriedades bioativas do pão. Por exemplo, conteúdo fenólico e propriedades antioxidantes foram mostrados em maior quantidade em pães de trigo enriquecidos com vegetais do que no pão tradicional (ALASHI *et al.*, 2018; RANAWANA *et al.*, 2016; ŚWIECA *et al.*, 2014).

Baiano *et al.* (2015) elaboraram pães com substituição da água por extratos aquosos de chicória, repolho, aipo, funcho, folha de oliveira ou bagaço de uva, obtidos por extração assistida por micro-ondas. Os autores verificaram que os extratos derivados do bagaço de uva e folhas de oliveira conferiram aos pães maiores teores de fenólicos e atividade antioxidante; contudo, as propriedades físicas e sensoriais foram fortemente modificadas pela adição de todos os tipos de extratos.

Meral e Doğan (2013) relataram que a farinha da semente de uva pode ser adicionada em formulações de pães para melhorar as propriedades reológicas da massa e aumentar a atividade antioxidante dos produtos finais.

Além disso, a farinha de subprodutos de alcachofra pode ser acrescentada as preparações de pães sem glúten para aprimorar as características nutricionais - especialmente o teor de fibras - e aumentar a atividade antioxidante desses produtos (PROETTO *et al.*, 2024).

As propriedades de processamento e o valor nutricional da farinha de trigo podem ser melhorados pela substituição de proporções específicas por farinha de banana verde, sem comprometer significativamente os atributos reológicos da massa (BASHMIL *et al.*, 2025).

O sucesso comercial de um produto funcional depende de características como sabor e aroma atraentes, estabilidade no conteúdo de polifenóis e catequinas, praticidade de consumo e efeitos positivos na prevenção de doenças como Parkinson, doenças cardiovasculares e Alzheimer (BAJERSKA *et al.*, 2010; HASLER, 2002; SIRÓ *et al.*, 2008).

4 Alimentos Funcionais

Alimentos funcionais são comumente definidos como alimentos integrais, fortificados, enriquecidos ou aprimorados que proporcionam benefícios à saúde além da nutrição básica, quando consumidos regularmente e em quantidades eficazes, como parte de

uma dieta equilibrada e variada (HASLER, 2002; MCCLEMENTS, 2019; PINTO; VILELA; COSME, 2026).

Com a crescente popularidade dos alimentos funcionais, os consumidores estão cada vez mais conscientes da qualidade nutricional e dos benefícios à saúde proporcionados por diferentes dietas. Como resultado, o interesse pela ingestão de itens benéficos e a demanda por produtos alimentícios saudáveis aumentaram significativamente (BAKER *et al.*, 2022).

O mercado de alimentos funcionais está experimentando um rápido crescimento, impulsionado pela crescente demanda por ingredientes funcionais e fortificantes, pela maior conscientização sobre saúde, pelo envelhecimento da população e pelo aumento da incidência de doenças crônicas (RASHIDINEJAD, 2024).

O conceito de alimento funcional surgiu no Japão na década de 1980, quando agências governamentais passaram a aprovar itens com benefícios comprovados à saúde (ARSHAD *et al.*, 2025). No Brasil, não há uma definição legal para a expressão 'alimento funcional'; no entanto, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabeleceu duas categorias de alegações: 'Alegação de Propriedade Funcional' e 'Alegação de Propriedade de Saúde' (BRASIL, 1999; BRASIL, 2024). Produtos assim classificados devem ser submetidos a análises rigorosas antes que quaisquer alegações de saúde sejam permitidas (SILVA *et al.*, 2020).

Os alimentos funcionais podem ser classificados de acordo com o tipo de alimento ou com base no ingrediente bioativo utilizado, sendo eles: fibras, flavonoides, vitaminas, minerais, ácidos graxos, carotenoides, entre outros (ARVANITTOYANNIS; VAN HOUWELINGEN-KOUKALIAROGLOU, 2005).

Os alimentos de origem vegetal são cada vez mais valorizados não apenas pelo seu conteúdo nutricional, mas também pela riqueza em compostos bioativos. Tais constituintes, presentes em frutas, verduras, grãos e outras matrizes, têm sido associados a uma ampla gama de benefícios à saúde, incluindo a prevenção e o controle de doenças crônicas (PINTO; VILELA; COSME, 2026).

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. M. S.; NASCIMENTO, D. K. D.; RAMOS, B. A.; MOURA, M. C.; COELHO, L. C. B. B.; NAPOLEÃO, T. H.; CORREIA, M. T. S.; FILHO, I. J. C.; MAIOR, A. M. S.; SILVA, T. D.; LIMA, C. S. A.; LORENA, V. M. B.; MELO, C. M. L. Antioxidant, antimicrobial and immunostimulant properties of saline extract from *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz (Fabaceae) leaves. **Indian Journal of Traditional Knowledge**, v. 18, n. 2, p. 281-289, 2019.
- AL-SHERAJI, S.H.; ISMAIL, A.; MANAP, M.Y.; MUSTAFA, S.; YUSOF, R.M.; HASSAN, F.A. Prebiotics as functional foods: A review. **J. Funct. Foods**, v. 5, n. 1, p. 1542–1553, 2013.
- ALASHI, A. M.; TAIWO, K. A.; OYEDELE, D.; ADEBOOYE, O. C.; ALUKO, R. E. Antihypertensive properties of aqueous extracts of vegetable leaf-fortified bread after oral administration to spontaneously hypertensive rats. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 1705–1716, 2018.
- ALKANDARI, D.; SARFRAZ, H.; SIDHU, J. S. Development of a functional food (pan bread) using amla fruit powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 4, p. 2287–2295, 2019.
- ALTUNKAYA, A.; HEDEGAARD, R. V.; BRIMER, L.; GÖKMEN, V.; SKIBSTED, L. H. Antioxidant capacity versus chemical safety of wheat bread enriched with pomegranate peel powder. **Food & Function**, v. 4, n. 1, p. 722–727, 2013.
- AMOAH, I.; TAARJI, N.; JOHNSON, P. N. T.; BARRETT, J.; CAIRNCROSS, C.; RUSH, E. Plant-Based Food By-Products: Prospects for Valorisation in Functional Bread Development. **Sustainability**, v. 12, n. 7785, p. 1-31, 2020.
- ARAÚJO NETO, J. C.; CAMARA, C. A.; FERREIRA, V. M.; LESSA, B. F. T.; OLIVEIRA, Y. M. Caracterização morfológica, germinação e conservação de sementes de *Caesalpinia pulcherrima* (L.) SW. (Fabaceae: *Caesalpinioidea*). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2287-2300, 2014.
- ARSHAD, Z.; SHAHID, S.; HASNAIN, A.; YASEEN, E.; RAHIMI, M. Functional Foods Enriched With Bioactive Compounds: Therapeutic Potential and Technological Innovations. **Food Science & Nutrition**, v. 13, n. e71024, p. 1-25, 2025.
- ARVANITOYANNIS, I. S.; VAN HOUWELINGEN-KOUKALIAROGLOU, M. Functional foods: A survey of health claims, pros and cons, and current legislation. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 45, n. 5, p. 385–404, 2005.
- ASATI, N.; YADAVA, R. N. Antibacterial activity of a triterpenoid saponin from the stems of *Caesalpinia pulcherrima* Linn. **Natural Product Research**, v. 32, n. 5, p. 499–507, 2018.
- ATIENZA, A. A.; ARROLADO, E. C.; MANALO, R. A. M.; TOMAGAN, L. B.; DELA TORRE, G. L. Antioxidant Activity and Minimum Inhibitory Concentration of the Crude Methanolic Extract of *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz. **Der Pharma Chemica**, v. 8, n. 17, p. 99-104, 2016.

BAIANO, A.; VIGGIANI, I.; TERRACONE, C.; ROMANIELLO, R.; DEL NOBILE, M. A. Physical and sensory properties of bread enriched with phenolic aqueous extracts from vegetable wastes. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 33, n. 3, p. 247–253, 2015.

BAJERSKA, J.; MILDNER-SZKUDLARZ, S.; JESZKA, J.; SZWENGIEL, A. Catechin stability, antioxidant properties and sensory profiles of rye breads fortified with green tea extracts. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 49, n. 2, p. 104–111, 2010.

BAKER, M. T.; LU, P.; PARRELLA, J. A.; LEGGETTE, H. R. Review consumer acceptance toward functional foods: a scoping review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 1217, p. 1-40, 2022.

BALASUBRAMANIAN, V.; SEETARAM, P.; GAYASUDDIN, M. D.; VENKATAIAH, G. Demonstration of β -cell regeneration and anti-diabetic activity of *Caesalpinia Pulcherrima* flower extract in alloxan induced diabetic rats. **Der Pharmacia Lettre**, v. 4, n. 6, p. 1692-1697, 2012.

BASHMIL, Y. M.; BEKES, F.; RUDERMAN, M.; SULERIA, H. A. R.; APPELS, R.; DUNSHEA, F. R. The Physicochemical and Rheological Properties of Green Banana Flour–Wheat Flour Bread Substitutions. **Plants**, v. 14, n. 207, p. 1-22, 2025.

BRAGA, R. C.; TEIXEIRA-SÁ, D. M. A.; RIBEIRO, A. F.; MIRANDA, R. L.; ALMEIDA, L. M.; HORTA, A. C. G.; MOREIRA, R. A. Evaluation of *Caesalpinia Pulcherrima* Endospermic Gum as Affinity Matrices for Galactose-Binding Lectins Interaction. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 2, p. 283-292, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 19 de 30 de abril de 1999. Aprova o Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. n. 236-E, Seção 1, p. 32, 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução nº 711, de 01 de julho de 2022. Dispõe sobre o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Nota Técnica nº 43/2025. Atualização das orientações sobre alegações de propriedades funcionais para nutrientes com funções plenamente reconhecidas na rotulagem de alimentos embalados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2024.

BURITI, F. C. A.; SANTOS, K. M. O.; SOMBRA, V. G.; MACIEL, J. S.; TEIXEIRA SÁ, D. M. A.; SALLES, H. O.; OLIVEIRA, G.; PAULA, R. C. M.; FEITOSA, J. P. A.; MOREIRA, A. C. O. M.; MOREIRA, R. A.; EGITO, A. S. Characterisation of partially hydrolysed galactomannan from *Caesalpinia pulcherrima* seeds as a potential dietary fibre. **Food Hydrocolloids**, v. 35, n. 1, p. 512-521, 2014.

CAVALLO, N.; ANGELIS, M.; CALASSO, M.; QUINTO, M.; MENTANA, A.; MINERVINI, F.; CAPPELLE, S.; GOBBETTI, M. Microbial cell-free extracts affect the

biochemical characteristics and sensorial quality of sourdough bread. **Food Chemistry**, v. 237, n. 1, p. 159–168, 2017.

CAYOT, N. Sensory quality of traditional foods. **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 154–162, 2007.

CERQUEIRA, M.A.; PINHEIRO, A.C.; SOUZA, B.W.S.; LIMA, A.M.P.; RIBEIRO, C.; MIRANDA, C.; TEIXEIRA, J.A.; MOREIRA, R.A.; COIMBRA, M.A.; GONÇALVES, M.P.; VICENTE, A.A. Extraction, purification and characterization of galactomannans from non-traditional sources, **Carbohydrate Polymers**, v. 75, n. 1, p. 408–414, 2009.

CHANDA, S.; PAREKH, J.; BARAVALIA, Y.; PAREKH, S. Antimicrobial and antioxidant efficacy of various solvent extracts of seeds and fruits rind of *Caesalpinia pulcherrima* Swartz, **Archives of Clinical Microbiology**, v. 1, n. 4:5, p. 1-10, 2010.

CHANDA, S.; BARAVALIA, Y. Brine shrimp cytotoxicity of *Caesalpinia pulcherrima* aerial parts, antimicrobial activity and characterisation of isolated active fractions. **Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters**, v. 25, n. 20, p. 1955-1964, 2011.

CHIANG, L. C.; CHIANG, W.; LIU, M. C.; LIN, C. C. In vitro antiviral activities of *Caesalpinia pulcherrima* and it relates flavonoids. **Journal of antimicrobial chemotherapy**, v. 52, n. 1, p. 194-198, 2003.

CONTO, L. C.; OLIVEIRA, R. S. P.; MARTIN, L. G. P.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Effects of the addition of microencapsulated omega-3 and rosemary extract on the technological and sensory quality of white pan bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 103-109, 2012.

DHAKED, P.S.; PANIGRAHY, R.N.; KSHIRSAGAR, S.N. In vitro evaluation of anthelmintic activity of *Caesalpinia pulcherrima* (Linn) flower extracts in indian earthworm. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research**, v. 7, n. 1, p. 89-91, 2011.

DHAKED, P.S.; KSHIRSAGAR, S.N.; SAKARAR, D.M. Antimicrobial activity of ethanolic and aqueous extract of *Caesalpinia pulcherrima* flowers. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v. 2, n. 10, p. 2643-2646, 2011.

DIMOV, I.; PETKOVA, N.; NAKOV, G.; TANEVA, I.; IVANOV, I.; STAMATOVSKA, V. Improvement of antioxidant potential of wheat flours and breads by addition of medicinal plants. **Ukrainian Food Journal**, v. 7, n. 4, p. 671-681, 2018.

DROBOT, V.; SHEVCHENKO, A. Nutritional value and consumer properties of bakery products with fructose for diabetic nutrition, **Ukrainian Food Journal**, v. 6, n. 3, 2017.

ĐUROVIĆ, S.; VUJANOVIĆ, M.; RADOJKOVIĆ, M.; FILIPOVIĆ, J.; FILIPOVIĆ, V.; GAŠIĆ, U.; TEŠIĆE, Ž.; MAŠKOVIĆ, P.; ZEKOVIĆ, Z. The functional food production: Application of stinging nettle leaves and its extracts in the baking of a bread. **Food Chemistry**, v. 312, n. 126091, 2020.

FAMUWAGUN, A.A.; TAIWO, K.A.; GBADAMOSI, S.O.; OYEDELE, D.J. Optimization

of Production of Bread Enriched With Leafy Vegetable Powder. **Journal of Food Processing & Technology**, v. 7, n. 7, p. 1-7, 2016.

FAN, L.; ZHANG, S.; YU, L.; MA, L. Evaluation of antioxidant property and quality of breads containing *Auricularia auricula* polysaccharide flour. **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 1158–1163, 2006.

FIGUEIREDO, J.R., SÁBER, M.L. Atividade antimicrobiana de extratos etanólicos de *Caesalpinia pulcherrima*. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 8, n. 1, p. 853–860, 2016.

GARCIA, F. C. **Estudo do potencial da farinha de flamboyant-mirim (*Caesalpinia pulcherrima*) germinada e não germinada como ingrediente funcional em pães**. 2025. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025.

GAWLIK-DZIKI, U.; ŚWIECA, M.; DZIKI, D.; SĘCZYK, Ł.; RÓŻYŁO, R.; KASZUBA, K.; RYSZAWY, D.; CZYŻ, J. Anticancer and Antioxidant Activity of Bread Enriched with Broccoli Sprouts. **BioMed Research International**, v.14, 1-14, 2014.

GONZALEZ-ANTON, C.; ARTACHO, R.; RUIZ-LOPEZ, M. D.; GIL, A.; MESA, M. D. Modification of appetite by bread consumption: A systematic review of randomized controlled trials. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 14, p. 3035–3050, 2017.

GOVINDARAJAN M, RAJESWARY M, AMSATH A. Larvicidal Properties Of *Caesalpinia pulcherrima* (Family: Fabaceae) against *Culex tritaeniorhynchus*, *Aedes albopictus* and *Anopheles subpictus* (Diptera: Culicidae). **International Journal of Pure and Applied Zoology**, v. 1, n. 1, p. 15-23, 2013.

HASLER, C. M.: Functional foods: benefits, concerns and challenge. A position paper from the American Council on Science and Health. **The Journal of Nutrition**, v. 132, n. 1, p. 3772–3781, 2002.

ISLAM, A.K.M.N.; ALI, A.M.; SAYEED, A.; SALAM, A.S.M.; ISLAM, A.; RAHMAN, M.; KHATUN, S. An antimicrobial terpenoid from *Caesalpinia pulcherrima* Swartz. Its characterization, antimicrobial and cytotoxic activities. **Asian Journal of Plant Science**, v. 2, n. 1, p. 1162–1165, 2003.

KATHUN, B.M.R.; RAHMAN, M. O. Taxonomic revision of the genus *Caesalpinia* L. (Caesalpinaceae) for Bangladesh. **Bangladesh Journal of Plant Taxonomy**, v. 13, n. 2, p. 93-109, 2006.

KRAMER, B.; THIELMANN, J.; HICKISCH, A.; MURANYI, P.; WUNDERLICH, J.; HAUSER, C. Antimicrobial activity of hop extracts against foodborne pathogens for meat applications. **Journal of Applied Microbiology**, v. 118, n. 1, p. 648–657, 2015.

KUMAR, D.; SINGH, J.; BAGHOTIA, A.; KUMAR, S. Anticonvulsant effect of the ethanol extract of *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw., Fabaceae, leaves, **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 20, n. 5, p. 751-755, 2010.

KUMAR, A.; NIRMALA, V. Gastric antiulcer activity of the leaves of *Caesalpinia*

pulcherrima. **Indian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 66, n. 5, p. 676–678, 2004.

LABRECQUE, J.; CHARLEBOIS, S. Functional foods An empirical study on perceived health benefits in relation to pre-purchase intentions, **Nutrition & Food Science**, v. 41, n. 5, p. 308-318, 2011.

LOPES, M.; CAVALEIRO, C.; RAMOS, F. Sodium Reduction in Bread: A Role for Glasswort (*Salicornia ramosissima* J. Woods). **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 5, p. 1056–1071, 2017.

MARIUTTI, L. R. B.; REBELO, K. S.; BISCONSIN-JUNIOR, A.; MORAIS, J. S.; MAGNANI, M.; MALDONADE, I. R.; MADEIRA, N. R.; TIENGO, A.; MARÓSTICA Jr., M. R.; CAZARIN, C. B. B. The use of alternative food sources to improve health and guarantee access and food intake. **Food Research International.**, v. 149, n. 110709, 2021.

MARQUES, F. C. J.; PANTOJA, P. S.; MATOS, V. E. A. SILVA, R. O.; DAMASCENO, S. R. B.; FRANCO, A. X.; ALVES, R. C.; JUSTINO, P. F. C.; SOUZA, M. H. L. P.; FEITOSA, J. P. A.; CASTRO, R. R.; SOARES, P. M. G. Galactomannan from the seeds of *Caesalpinia pulcherrima* prevents indomethacin-induced gastrointestinal damage via neutrophil migration. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 141, n. 1, p. 68–75, 2019.

MCCLEMENTS, D.J. **Future foods: How modern science is transforming the way we eat**. Springer: Cham, Switzerland, p. 1–392, 2019.

MCPHERSON, D.D.; CORDELL, G.A.; SOEJARTO, D.D.; PEZZUTO, J.M.; FONG, H.H.S. Peltogynoids and homoisoflavonoids from *Caesalpinia pulcherrima*. **Phytochemistry**, v. 22, n. 1, p. 2835–2838, 1983.

MEDEIROS, S. R. A.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, A. M. C.; ARAUJO, M. L. H.; FEITOSA, J. P. A.; PAULA, R. C. M.; SOUSA, F. D.; MOREIRA, A. C. O. M.; BESERRA, F. J.; MOREIRA, R.A. *Caesalpinia pulcherrima* seed galactomannan on rheological properties of dairy desserts. **Ciência Rural**, v. 50, n. 6, 2020.

MERAL, R.; DOĞAN, I. S. Grape seed as a functional food ingredient in bread-making. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 64, n. 3, p. 372–379, 2013.

MULRY, M.C. “Functional foods – past, present and future”. **Natural Foods Merchandiser**, v. 23, n. 3, p. 82, 2002.

NIONELLI, L.; PONTONIO, E.; GOBBETTI, M.; RIZZELLO, C. G. Use of hop extract as antifungal ingredient for bread making and selection of autochthonous resistant starters for sourdough fermentation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 266, n. 1, p. 173–182, 2018.

ODERINDE, R. A.; ADEWUYI, A.; AJAYI, I. A. Determination of the mineral nutrients, characterization and analysis of the fat-soluble vitamins of *Caesalpinia pulcherrima* and *Albizia lebbek* seeds and seed oils. **Seed Science and Biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 74-78, 2008.

OGU, G.I.; AISUODIONOE, M.E.; NWACHUKWU, P.U. Anti-plasmodial activity of

Caesalpinia pulcherrima (Swartz) stem bark extract against *Plasmodium berghei* in albino mice. **International journal of biology, pharmacy and allied sciences**, v. 1, n. 2, p. 168–178, 2012.

OSUNTOKUN, O.T.; JU, J.; THONDA, OA. Bioprospective screening of antibacterial and phytochemical activity of *Caesalpinia pulcherrima* (Pride of Barbados) on selected clinical isolate. **Bioequivalence & Bioavailability International Journal**, v. 1, n. 3, p. 1-11, 2017.

PASSOS, A. A. C.; TEIXEIRA-SÁ, D. M. A.; MORAIS, G. M. D.; CHACON, L. S. S.; BRAGA, R. C. Avaliação da incorporação de galactomanana de *Caesalpinia pulcherrima* em sorvetes e comparação com estabilizantes comerciais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 275-282, 2016.

PENG, X.; MA, J.; CHENG, K.; JIANG, Y.; FENG, C.; WANG, M. The effects of grape seed extract fortification on the antioxidant activity and quality attributes of bread. **Food Chemistry**, v. 119, n. 1, p. 49–53, 2010.

PICO, J.; BERNAL, J.; GÓMEZ, M. Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review. **Food Research International**, v. 75, n. 1, p. 200–215, 2015.

PIECHOWIAK, T.; GRZELAK-BŁASZCZYK, K.; BONIKOWSKI, R.; BALAWAJDER, M. Optimization of extraction process of antioxidant compounds from yellow onion skin and their use in functional bread production. **LWT - Food Science and Technology**, v. 117, n. 108614, p. 1-7, 2020.

PINTO, T.; VILELA, A.; COSME, F. Bioactive Compounds and the Organoleptic Characteristics of Functional Foods: Mechanisms and Technological Innovations. **Processes**, v. 14, n. 529, p. 1-27, 2026.

POINOT, P.; GRUA-PRIOL, J.; ARVISENET, G.; RANNOU, C.; SEMENOU, M.; BAIL, A. L.; PROST, C. Optimisation of HS-SPME to study representativeness of partially baked bread odorant extracts. **Food Research International**, v. 40, n. 1, p. 1170–1184, 2007.

PROETTO, I.; PESCE, F.; ARENA, E.; GRASSO, A.; PARAFATI, L.; FALLICO, B.; PALMERI, R. Use of vegetable flours obtained from artichoke by-products as a functional ingredient in gluten-free bread formulations. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 38, n. 101015, p. 1-8, 2024.

PULIPATI, S.; PALLAVI, G.; SUJAN, B.; BABU, K. A.; SRINIVASA, P. Evaluation of antibacterial activity of fresh and dry flower extracts of *Caesalpinia pulcherrima* L., **International Journal of Biological & Pharmaceutical Research**, v. 3, n. 3, p. 360-365, 2012.

RASHIDINEJAD, A. The road ahead for functional foods: Promising opportunities amidst industry challenges. **Future Postharvest Food.**, v. 1, n.1, p. 266–273, 2024.

RANAWANA, V.; CAMPBELL, F.; BESTWICK, C.; NICOL, P.; MILNE, L.; DUTHIE, G.; RAIKOS, V. Breads fortified with freeze-dried vegetables: quality and nutritional attributes. Part II: breads not containing oil as an ingredient. **Foods**, v. 5, n. 62, 2016.

RUIZ, J. A.; QUÍLEZ, J.; MESTRES, M.; GUASCH, J. Solid-phase microextraction method for headspace analysis of volatile compounds in bread crumb. **Cereal Chemistry**, v. 80, n. 3, p. 255–259, 2003.

ROUMY, V.; RUIZ, L.; MACEDO, J.C.R.; GUTIERREZ-CHOQUEVILCA, A. L.; SAMAILLIE, J.; ENCINAS, A. E.; MESIA, W. R.; COTRINA, H. E. R.; RIVIÈRE, C.; SAHPAZ, S.; BORDAGE, S.; GARÇON, G.; DUBUISSON, J. ANTHÉRIEU, S.; SERON, K. HENNEBELLE, T. Viral hepatitis in the Peruvian Amazon: Ethnomedical context and phytomedicine resource. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 255, n. 112735, p. 1-11, 2020.

SANGEETHA, S.; SARAVANAKUMAR, A.; PARTHIBAN, C.; KAVINKUMAR, C.; LOGANATHAN, M.; HEERA, G.; HARSHITHA, S. T.; POOJA, S.; MOHAN, S. R. An Overview Of The Marvelous Plant: *Caesalpinia Pulcherrima*. **International Journal of Research in Pharmacology & Pharmacotherapeutics (IJRPP)**, v. 13, n. 4, p. 714-728, 2024.

SELOMULYO, V.O.; ZHOU, W. Frozen bread dough: effects of freezing storage and dough improvers. **Journal of Cereal Science**, v. 45, n. 1, p. 1–17, 2007.

SENARATHNA, S.; NAVARATNE, S.; WICKRAMASINGHE, I.; COOREY, R. Development and characterization of *Caesalpinia pulcherrima* seed gum-based films to determine their applicability in food packaging. **Journal of Consumer Protection and Food Safety**, v. 17, n. 1, p. 65–72, 2022.

SILVA, M. A.; ALBUQUERQUE, T. G.; ALVES, R. C.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; COSTA, H. S. Melon (*Cucumis melo* L.) by-products: Potential food ingredients for novel functional foods? **Trends in Food Science & Technology**, v. 98, n. 1, p. 181–189, 2020.

SIVAM A.S.; WATERHOUSE D.S.; QUEK S.; PERERA, C.O. Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: a review. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 1, p. 163–174, 2010.

SIRÓ, I.; KÁPOLNA, E.; KÁPOLNA, B.; LUGASI, A. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. **Appetite**, v. 51, n. 1, p. 456–467, 2008.

SUDHAKAR, M.; RAO, C.V.; RAO, P. M.; RAJU, D.B.; VENKATESWARLU, Y. Antimicrobial activity of *Caesalpinia pulcherrima*, *Euphorbia hirta* and *Asystasia gangeticum*. **Fitoterapia**, v. 77, n. 1, p. 378–380, 2006.

ŚWIECA, M.; GAWLIK-DZIKI, U.; DZIKI, D.; BARANIAK, B.; CZYŻ, J. The influence of protein–flavonoid interactions on protein digestibility in vitro and the antioxidant quality of breads enriched with onion skin. **Food Chemistry**, v. 141, n. 1, p. 451–458, 2013.

ŚWIECA, M.; SĘCZYK, Ł.; GAWLIK-DZIKI, U.; DZIKI, D. Bread enriched with quinoa leaves – The influence of protein–phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality. **Food Chemistry**, v. 162, n. 1, p. 54–62, 2014.

THOMBRE, N. A.; GIDE, P. S. Rheological characterization of galactomannans extracted from seeds of *Caesalpinia pulcherrima*. **Carbohydrate Polymers**, v. 94, n. 1, p. 547– 554, 2013.

WIRKIJOWSKA, A.; ZARZYCKI, P.; SOBOTA, A.; Nawrocka, A.; Blicharz-Kania, A.; Andrejko, D. The possibility of using by-products from the flaxseed industry for functional bread production. **LWT - Food Science and Technology**, v. 118, n. 108860, p. 1-7, 2020.

YAMUNA, S.T.; PADMA, P. R. Antioxidant potential of the flowers of *Caesalpinia pulcherrima*, Swartz in an in vitro system subjected to oxidative stress. **Journal of pharmacy research**, v. 7, n. 1, p. 661-665, 2013.

ZAMBELLI, R.A.; GALVÃO, A. M. T.; PINTO, L. I. F.; SANTOS, G. B. M.; SILVA, A. C.; MELO, C. A. L.; FARIAS, M. M.; MENDONÇA, L. G. Effect of Vegetable Powders on the Bread Quality Made from Frozen Dough. **International Journal of Nutrition and Food Sciences**, v. 6, n. 6-1, p. 1-8, 2017.

CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DA SEMENTE DE FLAMBOYANT-MIRIM E AVALIAÇÃO DO EFEITO GRANULOMÉTRICO

RESUMO

O uso de diferentes grãos e sementes, como *Caesalpinia pulcherrima* L. Swartz, na produção de farinhas tem despertado crescente interesse científico. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo caracterizar a farinha de sementes de flamboyant-mirim (FSF) e avaliar os efeitos da granulometria sobre suas propriedades físico-químicas, nutricionais e funcionais. As sementes foram moídas e separadas em diferentes frações granulométricas (0,710 mm, 0,500 mm, 0,355 mm e 0,250 mm), sendo posteriormente analisadas quanto à composição química, físico-químicas, centesimais, tecnológicas, minerais, funcionais, toxicidade e caracterização microestrutural. O tratamento estatístico dos dados incluiu ANOVA seguido do teste de comparação múltipla de Tukey, além de análise multivariada supervisionada por PLS-DA. A fração mais fina (0,250 mm) apresentou os maiores teores de cinzas, lipídios, proteínas, fibras, valor energético e minerais, além de elevada solubilidade em água, alta capacidade de absorção de óleo, boa formação de espuma, atividade emulsificante e propriedades gelificantes superiores. Por sua vez, a fração de 0,500 mm apresentou os maiores teores de fenólicos totais e elevada atividade antioxidante. A caracterização microestrutural indicou partículas heterogêneas entre as frações, enquanto os padrões cristalinos permaneceram semelhantes. Os extratos aquosos apresentaram ausência de toxicidade no bioensaio com *Artemia salina* e a análise por RMN revelou a presença de aminoácidos, açúcares e ácidos graxos, compostos que contribuem para o valor nutricional da farinha. A análise multivariada (PLS-DA) indicou que as variações de pH, sólidos solúveis, parâmetros de cor, capacidade de formação de espuma, teores de fenólicos e atividade antioxidante foram as variáveis mais relevantes para a discriminação das frações de farinha. Diante disso, conclui-se que as diferentes frações granulométricas da FSF apresentaram propriedades físico-químicas, tecnológicas e bioativas distintas, com destaque para a fração de 0,250 mm, que reúne características desejáveis para aplicação industrial, especialmente em produtos de panificação como pães tipo forma.

Palavras-chave: farinhas de vegetais; flamboyant-mirim; granulometria; leguminosa não convencional; qualidade nutricional.

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes alimentares ricas em nutrientes pode constituir uma estratégia para contornar a insegurança alimentar e nutricional e garantir o acesso a alimentos saudáveis para a população (MARIUTTI *et al.*, 2021). O Brasil é um dos países do mundo com maior biodiversidade de espécies vegetais comestíveis distribuídas nos diferentes biomas (CARVALHO *et al.*, 2021).

Dentre as espécies vegetais encontra-se a *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz, também conhecida como flamboyant-mirim, nativa da América Central, mas bem adaptada em várias regiões do mundo, incluindo a caatinga do nordeste brasileiro (MARQUES *et al.*, 2019). Os estudos farmacológicos desenvolvidos com essa espécie mostraram que os extratos (aquosos, etanólicos, hexânicos, metanólicos, clorofórmicos ou acetônicos) preparados de diferentes partes (sementes, flores, folhas, cascas de frutos, vagens, e /ou raízes) da *C. pulcherrima* possuem atividade antiviral (CHIANG *et al.*, 2003; ROUMY *et al.*, 2020), antimicrobiana (CHANDA *et al.*, 2010; SUDHAKAR *et al.*, 2006), antioxidante (ATIENZA *et al.*, 2016; FALOYE *et al.*, 2022; YAMUNA e PADMA, 2013), anti-inflamatória (ERHARUYI *et al.*, 2017; RAO; FANG; TZENG, 2005), anti-úlceras (SHARMA; RAJANI, 2011), anticonvulsivante (KUMAR *et al.*, 2010) e anti-helmíntica (SINGH *et al.*, 2019).

As sementes são fontes de proteínas, carboidratos, vitaminas lipossolúveis (A e E) e minerais (ODERINDE; ADEWUYI; AJAYI, 2008), e juntamente com as cascas dos frutos apresentam propriedades antimicrobianas e antioxidantes (CHANDA *et al.*, 2010). Além disso, as sementes acumulam grandes quantidades de galactomananas, com potencial aplicação na indústria de alimentos como hidrocoloide, modificador de textura e fonte de fibra alimentar (BURITI *et al.*, 2014). Essas sementes também têm sido utilizadas como material comestível na produção de filmes (SENARATHNA *et al.*, 2022), na fabricação de sorvetes (PASSOS *et al.*, 2016) e em sobremesas lácteas (MEDEIROS *et al.*, 2020).

Farinhas de diferentes grãos e sementes têm sido amplamente utilizadas em pães, bolos, massas e biscoitos devido aos seus benefícios à saúde (GONZÁLEZ-MONTEMAYOR *et al.*, 2019). Esses produtos fornecem, além da fibra alimentar, vitaminas, proteínas, minerais e carboidratos (GUSMÃO *et al.*, 2016).

O tamanho da partícula é um parâmetro fundamental que afeta as propriedades funcionais e físico-químicas da farinha vegetal e é diretamente influenciado pelas operações do processo, como moagem, separação e mistura (NABIL *et al.*, 2020). A peneiração da farinha

pode produzir amostras com distribuição uniforme do tamanho das partículas resultando no desenvolvimento de produtos com melhores propriedades funcionais (BALA *et al.*, 2020).

Diversas pesquisas avaliando a fração granulométrica de farinhas de vegetais foram relatadas na literatura, tais como farinha de resíduos de acerola, laranja, maçã e uva (STORCK *et al.*, 2015), farinha de banana verde (SAVLAK; TÜRKER; YEŞILKANAT, 2016), farinha de caqui (LUCAS-GONZÁLEZ *et al.*, 2017), farinha de arroz (FAROOQ *et al.*, 2018), farinha de quinoa (AHMED; THOMAS; ARFAT, 2019), farinha de ervilha (BALA *et al.*, 2020), farinha de lentilha vermelha (MARCHINI *et al.*, 2021), farinha de inhame (WU *et al.*, 2022), farinha de trigo integral (CAI *et al.*, 2023), farinha de fava (OLAKANMI *et al.*, 2024) e farelo e gérmen (CAPELLI *et al.*, 2025).

O uso de diferentes grãos e sementes, como exemplo da *C. pulcherrima*, para a produção de farinhas tem despertado crescente interesse científico. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da granulometria sobre as propriedades químicas, físico-químicas, centesimais, tecnológicas, funcionais, minerais, toxicológicas e microestruturais da farinha de sementes de flamboyant-mirim (FSF).

2 METODOLOGIA

2.1 Obtenção da matéria-prima

As vagens contendo as sementes de *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz (Código Sisgen: ABF331B) foram coletadas na Universidade Federal do Ceará – *Campus Pici*, Fortaleza, Ceará (Latitude: 3°44'38.6"S; Longitude: 38°34'47.3"W), em ponto de maturação ideal, caracterizado por vagens secas ao toque, facilmente abertas com leve pressão, liberando as sementes, e com coloração marrom. As amostras foram depositadas no Herbário Prisco Bezerra – EAC, sob n. de depósito EAC 67246.

2.2 Processamento da Farinha da Semente de Flamboyant-mirim (FSF)

As vagens foram abertas e as sementes foram retiradas manualmente (Figura 2), sendo selecionadas quanto à integridade e sanidade. Em seguida, as sementes foram trituradas inicialmente em liquidificador industrial (Mod. Li1.5, Skymesen) por 5 minutos, em intervalos de 1 minuto, e posteriormente moídas em moinho de facas (Mod. Luca-226/5, Lucadema), por 5 minutos em intervalos de 1 minuto, obtendo-se a farinha (Figura 3). A amostra foi então

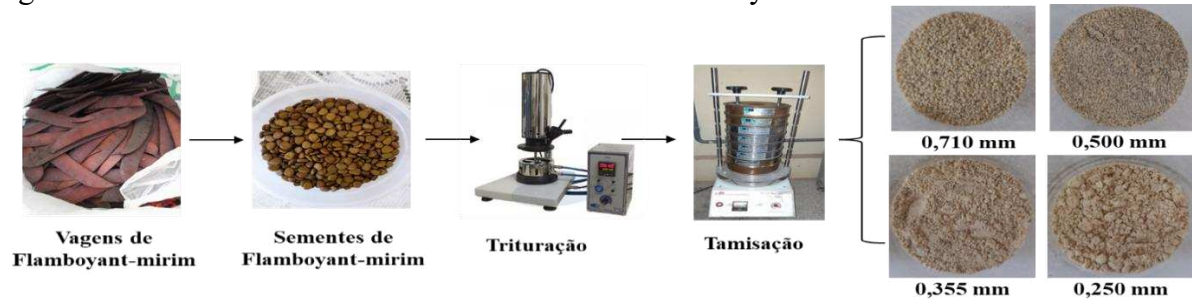
fracionada por tamanho de partícula utilizando quatro peneiras granulométricas (Bertel) com aberturas de 0,710mm, 0,500mm, 0,355mm e 0,250mm, acopladas a um agitador eletromagnético (Rotachoc Chopin®) com velocidade constante, durante 10 minutos. Após a separação das diferentes frações da farinha de semente de flamboyant-mirim (FSF) (Figura 4), as amostras foram embaladas a vácuo e armazenadas em local escuro sob refrigeração (4°C).

Figura 2 - Vagens (a) e sementes (b) de *Caesalpinia pulcherrima* L. Swartz.



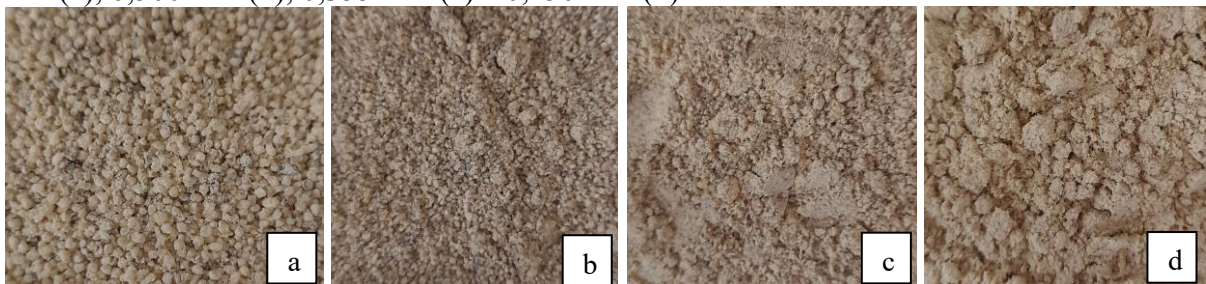
Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

Figura 3 - Processamento da Farinha da semente de flamboyant-mirim – FSF.



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

Figura 4 - Farinha da semente de flamboyant-mirim – FSF com diferentes granulometrias: 0,710 mm (a), 0,500 mm (b), 0,355 mm (c) e 0,250 mm (d).



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

2.3 Análises realizadas na Farinha de Semente de Flamboyant-mirim (FSF)

2.3.1 Análises de Granulometria

A granulometria da FSF foi determinada conforme metodologia adaptada da AACC (1999). Foram pesados 100 g de amostra e submetidos ao peneiramento em um conjunto de peneiras (Bartel) com aberturas de 0,710, 0,500, 0,355 e 0,250 mm, acopladas a fundo coletor por 10 minutos. O processo foi realizado utilizando um agitador eletromagnético de peneiras (Rotachoc Chopin®) com velocidade constante. A fração retida em cada peneira foi calculada utilizando-se a Equação 1:

$$\% R = \frac{Mr \times 100}{M} \quad (1)$$

Onde: Mr é a massa da amostra retida em cada peneira, e M é a massa da amostra inicial.

2.3.2 Análises físico-químicas e centesimal

Foram realizadas análises de pH, sólidos solúveis, lipídios, proteínas, umidade, cinzas e fibra bruta, seguindo os procedimentos do Instituto Adolfo Lutz (2008) e da AOAC (2005). A atividade de água (aw) foi determinada utilizando um analisador de atividade de água (Nov-Labswift, Novasina). O teor de carboidratos foi calculado por diferença para totalizar 100% da composição total.

O valor calórico de 100 g das amostras foi estimado com base na Tabela de Composição de Alimentos (BRASIL, 2011), utilizando os fatores de Atwater: 4 kcal/g para carboidratos, 9 kcal/g para lipídios e 4 kcal/g para proteínas. Todas as análises foram realizadas em triplicatas.

A cor da FSF foi avaliada pelo sistema CIE Lab* utilizando um colorímetro (Konica Minolta CR-400, Japão), com área de medição de 8 mm, geometrias d/0°, iluminante padrão D65 e ângulo de visão de 10°. Os resultados foram expressos em L*, a* e b*, segundo manual técnico do fabricante. L* indica luminosidade (0 = preto, 100 = branco), a* valores positivos indicam tendência ao vermelho e negativos ao verde, b* valores positivos indicam tendência ao amarelo e negativos ao azul (KONICA MINOLTA, 2007).

A densidade aparente foi determinada conforme Du *et al.*, (2014) e Kaur *et al.*, (2015). As amostras foram depositadas em proveta graduada de 10 mL, previamente tarada e o

fundo do cilindro foi batido suavemente até estabilização do nível do material. A densidade aparente foi calculada como a razão entre o peso da amostra e o seu volume (g/mL). Todas as medições foram realizadas em triplicata.

2.3.3 Propriedades Tecnológicas

2.3.3.1 Índice de Solubilidade de Água (ISA)

O índice de solubilidade em água (ISA) da FSF foi determinado conforme Kaur e Singh (2005), com adaptações de Du *et al.*, (2014). Para tanto, 2,5 g de amostra foi dispersos em 30 mL de água destilada e aquecidos em banho-maria (Luca 150/30D, Lucadema) a 70 °C por 30 minutos. Após o aquecimento, a suspensão foi resfriada à temperatura ambiente, transferida para tubos de centrífuga (Benfer) pré-pesados e centrifugada a 3000 rpm por 20 minutos. O sobrenadante foi cuidadosamente colocado em uma placa de Petri previamente tarada e seca em estufa de circulação forçada de ar (LUCA 82/150, Lucadema) a 105 °C até peso constante. O ISA foi calculado pela seguinte equação:

$$ISA = \frac{\text{Peso de sólidos dissolvidos no sobrenadante (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \times 100 \quad (2)$$

2.3.3.2 Capacidade de Absorção de Água (CAA)

A Capacidade de Absorção de Água (CAA) da FSF foi determinada conforme os métodos de centrifugação relatado por Kaur e Singh (2005) e adaptados por Du *et al.*, (2014). Para tanto, 3 g das amostras foram dispersas em 25 mL de água destilada e transferidos para tubos de centrífuga tipo Falcon pré-pesados de 50 mL. As suspensões foram agitadas a intervalos de 5 minutos e mantidas por 30 minutos, seguidas de centrifugação por 30 minutos a 3000 rpm. O sobrenadante foi cuidadosamente decantado, e o excesso de umidade foi removido por drenagem em estufa de circulação forçada de ar a 50 °C por 25 minutos. A amostra então foi pesada novamente e a CAA foi calculada utilizando a seguinte equação:

$$CAA = \frac{\text{Peso do sedimento (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \quad (3)$$

2.3.3.3 Capacidade de Absorção de Óleo (CAO)

Para a Capacidade de Absorção de Óleo (CAO) da FSF, foi determinada conforme os métodos descritos por Kaur e Singh (2005) e Du *et al.*, (2014). Para a análise 2,5 g da amostra foram misturados com 30 mL de óleo de soja em tubos de centrífuga tipo Falcon previamente pesados e agitados por 1 min. Após repouso de 30 minutos, os tubos foram centrifugados a 3000 rpm por 30 minutos. O excesso de óleo foi cuidadosamente removido com pipeta, e os tubos foram invertidos por 25 minutos para drenar o óleo antes da pesagem final. A CAO foi então calculada usando a seguinte equação:

$$CAO = \frac{\text{Peso do óleo absorvido (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \quad (4)$$

2.3.3.4 Atividade Emulsificante (AE)

A atividade emulsificante das amostras de FSF foi avaliada conforme o método de Yasumatsu *et al.* (1972), com modificações propostas por Kaur *et al.*, (2015). Para a preparação da emulsão, 1 g de amostra, foi misturado com 10 mL de água destilada e 10 mL de óleo de soja em um tubo de centrífuga tipo Falcon graduado. A emulsão foi centrifugada a 2000 rpm por 5 minutos, e a atividade emulsificante foi calculada utilizando a equação apresentada a seguir:

$$AE (\%) = \frac{\text{Volume da emulsão}}{\text{Volume total}} \times 100 \quad (5)$$

2.3.3.5 Capacidade de formação de espuma (CFE)

A capacidade de formação de Espuma (CFE) foi determinada conforme método descrito por Kaur e Singh (2005) com modificações propostas por Bala *et al.*, (2020). Para o ensaio, 1 g de amostra de farinha foi adicionado a 50 mL de água destilada em um bquer de 250 mL. A mistura foi homogeneizada por 1 minuto utilizando liquidificador doméstico com potência de 900W e, em seguida, transferida imediatamente para uma proveta graduada de 100 mL. O volume final da espuma (mL) foi registrado, e a capacidade espumante foi calculada de acordo com a equação apresentada a seguir:

$$CFE (\%) = \frac{\text{Volume final} - \text{volume inicial}}{\text{Volume inicial}} \times 100 \quad (6)$$

2.3.3.6 Capacidade de formação de gel (CFG)

A capacidade de formação de gel (CFG) foi determinada segundo o método descrito por Coffman e Garcia (1977), com modificações propostas por Kaur *et al.*, (2015). Dispersões de farinha de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 e 30 g/100 mL (p/v) foram preparadas em 5 mL de água destilada, acondicionada em tubos de ensaio e aquecidas a 90 °C por 1 h em banho-maria (Luca 150/30D, Lucadema). Após o aquecimento, as dispersões foram resfriadas à temperatura ambiente e posteriormente refrigeradas a 10±2 °C por 2 horas. Em seguida, os tubos foram invertidos para avaliação da formação de gel, sendo classificados como ausência de gelificação (-), gel frágil (±), ou gel resistente (+). A concentração mínima de gelificação (CMG) foi definida como a menor na qual a amostra não se deslocou ou escorreu após a inversão do tubo (KAUR; SINGH, 2005).

2.3.4 Análises de Minerais

As análises de minerais foram realizadas conforme os métodos descritos por Silva e Queiroz (2006). Foram pesadas 200 mg (0,2 g) da amostra, que foram transferidas para tubos de digestão, aos quais se adicionaram 5 mL da solução digestora nitro-perclórica, (HNO₃:HClO₄, 2:1 v/v). Os tubos foram então colocados no bloco digestor, mantidos por aproximadamente 2 horas até atingir a temperatura de 200 °C. Após o processo de digestão, os extratos apresentaram aspecto transparente e límpido, com um volume final aproximado de 2 mL.

2.3.4.1 Fósforo (P)

A determinação do fósforo foi realizada por colorimetria, conforme método descrito por Silva e Queiroz (2002). Após a digestão, o extrato foi completado com água destilada até o volume de 20 mL e homogeneizado. Em seguida, uma alíquota de 200 µL foi transferida para um tubo de ensaio, adicionando-se 8,4 mL de água destilada, 1 mL da solução ácida de molibdato de amônio e 400 µL de solução de ácido ascórbico a 2%. A mistura foi homogeneizada em agitador tipo vórtex, e a leitura foi realizada no espectrofotômetro (2000 UV, BEL Photonics) a 725 nm. A leitura do branco foi efetuada e subtraída do valor obtido

para cada amostra. Os valores de absorvância foram posteriormente aplicados na seguinte equação:

$$P = (0,2 \times \text{Leitura} / \text{Peso da amostra}) / 10000 \quad (7)$$

Onde o valor 0,2 corresponde ao fator obtido da curva de calibração. As concentrações de fósforo foram inicialmente expressas em partes por milhão (ppm) e posteriormente convertidas para $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$.

2.3.4.2 Potássio (K)

Após a digestão, o extrato foi avolumado com água destilada até 20 mL e homogeneizado. Em seguida, uma alíquota de 2 mL foi transferida para um tubo contendo 2 mL de água destilada, sendo novamente homogeneizada. A leitura foi realizada diretamente com o fotômetro de chama (906 AA, Micronal), previamente ajustado e calibrado com solução padrão. As concentrações de potássio foram inicialmente expressas em partes por milhão (ppm) e posteriormente convertidas para $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$.

2.3.4.3 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Após a digestão, o extrato foi dissolvido com água destilada até 20 mL e homogeneizado. Em seguida, 800 μL do extrato foram transferidos para um tubo de ensaio contendo 7 mL de lantânio e 6,2 mL de água destilada. Após a homogeneização, a leitura foi realizada em espectrofotômetro de absorvância atômica (B462, GBC). As concentrações de cálcio e magnésio foram obtidas em partes por milhão (ppm) e posteriormente convertidas para $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$.

2.3.4.4 Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Manganês (Mn)

Após a digestão, o extrato foi diluído com água destilada até 20 mL. Em seguida foi homogeneizado e a leitura foi realizada em espectrofotômetro de absorvância atômica (B462, GBC). As concentrações de Ferro, Zinco e Manganês foram obtidas em partes por milhão (ppm) e posteriormente convertidas para $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$.

2.3.5 Propriedades funcionais

2.3.5.1 Determinação do teor de fenólicos totais e atividade antioxidante

2.3.5.1.1 Obtenção dos extratos

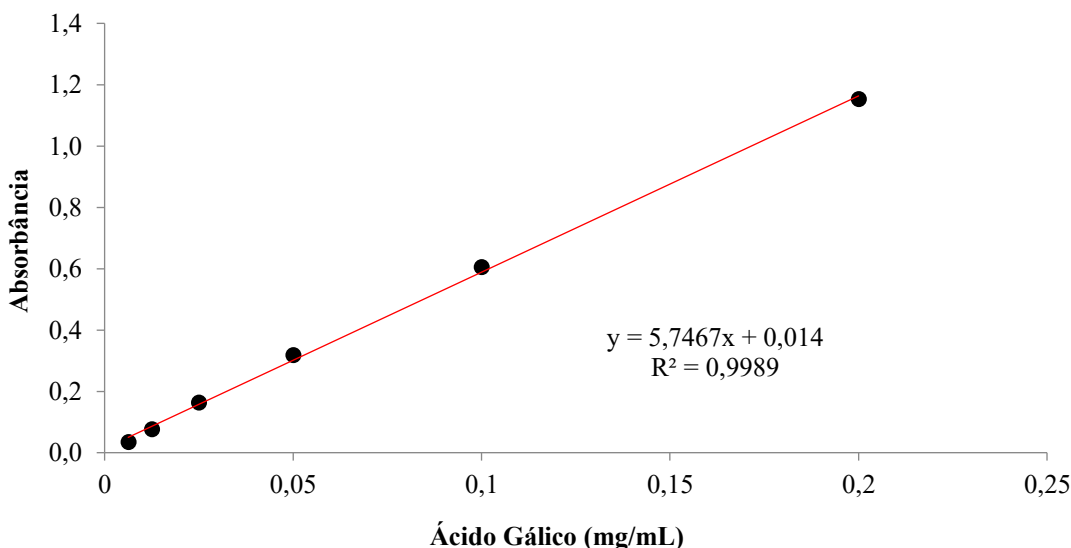
Para a obtenção dos extratos aquosos das diferentes frações granulométricas da farinha de semente de flamboyant-mirim, utilizou-se o método de extração sequencial, empregando 10 g de amostra para 100 mL de solvente (proporção 1:10). As amostras foram submetidas à agitação contínua em mesa agitadora orbital de bancada (NT145, Nova Técnica) a 9 rpm por 30 minutos. Em seguida colocada em um béquer encamisado com renovação da água para evitar a degradação de metabólitos termossensíveis, para realizar a sonicação em aparelho de ultrassom (LGI-LUC-180, LGI Scientific) a 37 kHz por 30 minutos. Por fim, os extratos foram filtrados em papel Whatman nº 4 com auxílio de bomba de vácuo (132 tipo 2VC, Primastec), armazenados em frascos de vidro âmbar e mantidos sob refrigeração (4 °C) até as análises de compostos fenólicos e atividade antioxidante.

2.3.5.1.2 Análise de Fenólicos Totais

A determinação do teor de fenólicos totais foi realizada conforme o método descrito por Swain e Hills (1959). As amostras foram inicialmente solubilizadas em água destilada, e uma alíquota de 0,5 mL de cada solução foi transferida para tubos de ensaio, aos quais foram adicionados 8 mL de água destilada e 0,5 mL do reagente *Folin-Ciocalteu* 20% (v:v). Após a homogeneização em agitador tipo vórtex e repouso de 3 minutos adicionou-se 1 mL de solução de carbonato de sódio (Na₂CO₃) a 20% (m: v). As amostras foram mantidas em banho-maria a 37°C por 1 hora, e a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro (SP2100/UV/5NM-IC, Biosystems) a 720 nm.

Como padrão de referência foi utilizado o ácido gálico (Sigma Aldrich Inc.) para a construção da curva de calibração, cuja equação da reta foi $y = 5,7467x + 0,014$ com $R^2 = 0,9989$ (Figura 5). A partir desta equação calculou-se o teor de fenólicos totais, expresso em mg de equivalente em ácido gálico (EAG) por grama de amostra. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Figura 5 - Curva de calibração do padrão de referência ácido gálico.



Fonte: dados da pesquisa, 2026.

2.3.5.1.3 Determinação da capacidade antioxidante pelo método DPPH^{*}

Para determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH^{*}, utilizou-se 1,5 mL da solução etanólica do radical DPPH^{*} (6×10^{-5} M) juntamente com 0,5 mL das amostras em diferentes concentrações de cada extrato. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (SP2100/UV/5NM-IC, Biosystems) a 517 nm, 30 minutos após o início da reação. Todas as determinações foram feitas em triplicata, incluindo um controle negativo (sem antioxidante) e dois controles positivos (ácido ascórbico e Trolox, como padrões natural e sintético, respectivamente). A redução na densidade ótica das amostras foi comparada ao controle (solução contendo apenas o radical), permitindo calcular a porcentagem de inibição do radical DPPH^{*} (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995; VIEIRA *et al.*, 2011), conforme a equação a seguir.

$$\% \text{ de inibição do radical DPPH}^* = [(Abs_{controle} - Abs_{amostra}) / Abs_{controle}] \times 100 \quad (8)$$

Onde: Abs – absorbância.

Além do percentual de proteção, também foi calculada a concentração eficaz para inibir 50% do radical DPPH^{*} (CE₅₀).

2.3.6 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

A microestrutura das frações granulométricas da farinha de semente de flamboyant-mirim foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura, utilizando um equipamento Quanta FEG (450, FEI). Antes da análise, cada amostra foi recoberta com uma camada de ouro em um revestidor *sputter* (Structure Probe, West Chester, PA). As micrografias foram obtidas em diferentes ampliações (250×, 500×, 1000×, 2000× e 3000×), selecionadas conforme o tamanho das partículas, com potencial aceleração de 20 kV durante a aquisição das imagens.

2.3.7 Análise de difração de raios-X

As amostras previamente moídas e homogeneizadas foram prensadas em porta-amostras do tipo vazado utilizando o método de montagem *back loading*. Em seguida, foram analisadas por difração de raio-X (EMPYREAN SÉRIE 2, PANanalytical X'Pert PRO), equipado com tubo de cobalto ($\lambda = 1,78$ nm), operando a 40 kV e corrente de 45 mA. As análises foram realizadas no intervalo 2Θ variando de 5 a 90° e com velocidade de varredura de 2°C/min⁻¹.

2.3.8 Toxicidade aguda in vitro

O ensaio de toxicidade aguda foi conduzido utilizando água marinha artificial composta por: NaCl (77,23%), MgSO₄ (9,62%), MgCl (7,13%), CaCl₂ (3,32%), KCl (2,11%) e NaHCO₃ (0,59%), como meio para eclosão dos cistos de *Artemia salina* Leach. Os cistos foram eclodidos e após 48 h, os náuplios foram coletados para os bioensaios usando a característica de fototropismo positivo dos microcrustáceos. As diluições das amostras e do controle sem amostra (negativo) foram preparadas em água marinha artificial (MEYER *et al.*, 1982; McLAUGHLIN, 1991). Os extratos foram avaliados em concentrações seriadas e testados em quintuplicatas, adicionando-se 10 náuplios por tubo. Após 24 h de exposição, contabilizou-se o número de náuplios sobreviventes, considerando como vivos aqueles que apresentaram qualquer movimento quando submetidos a leve agitação, próximos de uma fonte luminosa. Os resultados foram expressos em Concentração Letal Média (CL₅₀).

2.3.9 Análise de Ressonância Magnética Nuclear – RMN

A análise de RMN foi conduzida com 20 mg de farinha de sementes de flamboyant-mirim (granulometria de 0,250 mm), misturados com 600 μL de solventes deuterados: clorofórmio (99,8%, Sigma-Aldrich); metanol (99,8%, Sigma-Aldrich); e água (99,9%, Merck, Darmstadt, Alemanha). As soluções foram submetidas a sonicação por 1 minuto e homogeneização em vórtex por mais 1 minuto. Os sobrenadantes foram transferidos para tubos de RMN de 5 mm. Os espectros de RMN foram adquiridos em um espectrômetro Agilent de 600 MHz equipado com sonda One Probe™ de detecção inversa de 5 mm (^1H - $^{19}\text{F}/^{15}\text{N}$ - ^{31}P) e gradiente Z ativamente blindado.

Os espectros de RMN de ^1H foram obtidos com 32 varreduras sob condições quantitativas, correspondentes a $7T_1$ para atingir 99,9% do relaxamento completo de prótons a 299,15 K (MAIWALD *et al.*, 2004; HOLZGRABE, 2010; FREITAS *et al.*, 2018). Os parâmetros instrumentais foram ajustados conforme o solvente:

Clorofórmio: $p_1 = 8,4 \mu\text{s}$, $AQ = 3,0 \text{ s}$, $d_1 = 5,0 \text{ s}$;

Metanol: $p_1 = 8,7 \mu\text{s}$, $AQ = 5,0 \text{ s}$, $d_1 = 15 \text{ s}$;

Água: $p_1 = 8,7 \mu\text{s}$, $AQ = 5,0 \text{ s}$, $d_1 = 20 \text{ s}$.

A identificação dos compostos orgânicos nos extratos clorofórmicos, metanólicos e aquosos foi realizada por experimentos bidimensionais de RMN (^1H - ^1H gCOSY, ^1H - ^{13}C gHSQC e ^1H - ^{13}C gHMBC), utilizando as sequências padrão do equipamento e comparando com as atribuições com banco de dados e literatura (ADEWUYI e ODERINDE, 2014; ODERINDE; ADEWUYI; AJAYI, 2008; MUSCHIN e YOSHIDA, 2012; GRAHAM *et al.*, 2009; ALVES FILHO *et al.*, 2017).

A quantificação foi realizada para compostos com sinais não sobrepostos nos espectros de ^1H , considerando os seguintes deslocamentos químicos (δ):

7,36 – fenilalanina (anel aromático);

5,34 – ácidos graxos insaturados livres ou em triacilgliceróis;

5,42, 5,14 e 4,97 – sacarose, galactose e manose, respectivamente;

4,27 – unidade de glicerol em triacilglicerol;

3,20 – betaína;

2,96 – cisteína;

2,57 – ácido cítrico;

1,48 – alanina.

2.4 Análises estatísticas

2.4.1 Análise estatística univariada

Todos os dados experimentais foram obtidos em triplicata e os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão. A Análise de Variância (ANOVA) foi empregada para verificar diferenças significativas entre as médias, seguida pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* MINITAB versão 19.0.

2.4.2 Análise estatística multivariada

Um total de 28 parâmetros físico-químicos foram avaliados em quatro tipos de farinha de sementes de flamboyant-mirim, diferenciadas pelo perfil granulométrico: 0,250, 0,355, 0,500 e 0,710 mm. Devido à complexidade e ao grande número de variáveis, aplicaram-se abordagens estatísticas multivariadas para identificar as relações entre as características das amostras.

Uma análise supervisionada por PLS-DA (*Partial Least Squares Discriminant Analysis*) foi realizada considerando as granulometrias como classes e utilizando os 28 parâmetros físico-químicos como variáveis independentes: pH, atividade de água, sólidos solúveis, L*, a*, b*, densidade aparente, cinzas, umidade, lipídios, proteínas, fibras, carboidratos, valores calóricos, índice de solubilidade em água, capacidade de absorção em água, capacidade de absorção em óleo, atividade emulsificante, capacidade de formação de espuma, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, ferro, manganês, zinco, fenólicos e atividade antioxidante.

A matriz foi processada pelo *software* PLS-Toolbox™ (versão 8.6.2, *Eigenvector Research Incorporated*, Manson, WA EUA). Antes da análise, os dados foram autoescalados (centrados na média e escalonados pela variância). O algoritmo SIMPLS (*Simplified Partial Least Squares*) foi utilizado para decompor a matriz em escores, pesos e figuras de mérito. As informações relevantes foram extraídas com base em quatro variáveis latentes (LVs), aplicando validação cruzada com nível de confiança de 95%. A seleção do número ideal de LVs considerou os seguintes critérios estatísticos: variância total explicada; erro médio quadrático de calibração (RMSEC) e de validação cruzada (RMSECV), além dos valores de viés nas etapas de calibração e validação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises de Granulometria

As porcentagens de material retido da farinha de semente de flamboyant-mirim estão apresentadas na Tabela 1. Observa-se que houve diferença significativa entre os tamanhos de partículas da farinha ($p < 0,05$). A menor fração retida correspondeu à peneira de 0,500 mm (17,64%), enquanto as maiores proporções foram observadas nas peneiras de 0,710 mm (28,43%) e 0,355 mm (29,37%), respectivamente.

Tabela 1 - Perfil granulométrico da farinha de semente de flamboyant-mirim - FSF.

Frações granulométricas da FSF	Material retido (%) (Média ± Desvio Padrão)*
0,710 mm	28,43 ± 0,75 a
0,500 mm	17,64 ± 3,98 b
0,355 mm	29,37 ± 0,81 a
0,250 mm	23,60 ± 3,98 ab

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c} Letras diferentes na coluna evidencia diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Diversos estudos sobre a distribuição do tamanho de partículas de farinhas de leguminosas foram relatados na literatura. Ahmed *et al.* (2014), ao estudarem os efeitos do tamanho das partículas e da temperatura em farinhas de abóbora, verificaram que a maior fração mássica ($\approx 30\%$) apresentou granulometria de 0,297 mm, seguida pelas frações de 0,149 mm ($\approx 29\%$) e 0,074 mm ($\approx 25\%$) — valores inferiores aos observados nesta pesquisa.

De forma semelhante, Boukid *et al.* (2019), ao analisarem a integridade da parede celular e o tamanho das partículas de diversas leguminosas (feijão cannellini, grão-de-bico, lentilhas e ervilhas) e de arroz branco, observaram que a maior fração mássica correspondeu à fração grossa ($>200 \mu\text{m}$). Os valores encontrados foram: 75% para grão-de-bico, 43% para ervilha amarela, 42% para lentilha vermelha e aproximadamente 35% para as demais leguminosas.

Por sua vez, Bala *et al.* (2020), ao pesquisarem os efeitos do tamanho de partícula nas propriedades físico-químicas, funcionais e reológicas da farinha de ervilha, relataram que a granulometria média variou entre 0,0206 e 0,0237 mm. Tais valores indicam que a farinha foi

finamente moída e que o tipo de peneira utilizado influenciou diretamente a distribuição granulométrica das amostras.

3.2 Análises físico-químicas e centesimais

Os resultados das análises físico-químicas e centesimais da farinha de sementes de flamboyant-mirim estão apresentados na Tabela 2. Observa-se que a granulometria influenciou significativamente as propriedades analisadas ($p < 0,05$). De modo geral, quanto menor o tamanho das partículas maiores foram os valores obtidos para os parâmetros físico-químicos e centesimais, exceto para a densidade aparente, o parâmetro de cor a^* e o teor de carboidratos, que apresentaram comportamento inverso.

Os valores de pH da farinha de semente de flamboyant-mirim variaram entre $5,85 \pm 0,08$ e $6,29 \pm 0,07$ (Tabela 2), sendo classificados como pouco ácidos ($\text{pH} > 4,5$), conforme Franco e Landgraf (2004). A amostra com granulometria de 0,250 mm apresentou o maior valor de pH ($6,29 \pm 0,07$), enquanto o menor valor ($5,85 \pm 0,08$) foi observado na fração de 0,500 mm. Não foi identificada uma tendência consistente de aumento ou diminuição do pH em função da variação granulométrica.

Embora valores de pH mais ácidos sejam desejáveis em farinhas por reduzirem o risco de contaminação microbiana, pHs levemente alcalinos podem ser vantajosos para determinadas propriedades tecnológicas. De acordo com Amadeu (2023), faixas de pH mais elevadas favorecem a solubilidade proteica, além de melhorarem a capacidade emulsificante, a estabilidade das emulsões e a capacidade de formação de espuma, aspectos importantes para aplicações em produtos alimentícios com características estruturais e funcionais aprimoradas.

Tabela 2 - Análises físico-químicas e centesimais da farinha de semente de flamboyant (FSF) com diferentes granulometrias.

Parâmetros	Granulometria da FSF (Média ± Desvio Padrão)*			
	0,710 mm	0,500 mm	0,355 mm	0,250 mm
Físico-químicos				
pH	6,10 ± 0,06 ^b	5,85 ± 0,08 ^c	6,24 ± 0,08 ^{ab}	6,29 ± 0,07 ^a
Atividade de água (aw)	0,490 ± 0,00 ^a	0,493 ± 0,00 ^a	0,490 ± 0,00 ^a	0,496 ± 0,00 ^a
Sólidos Solúveis (°Brix)	0,50 ± 0,1 ^b	1,46 ± 0,15 ^a	1,40 ± 0,1 ^a	1,63 ± 0,05 ^a
Luminosidade (L*)	68,32±0,07 ^c	67,15±0,28 ^d	69,17±0,21 ^b	71,15±0,08 ^a
Intensidade de vermelho/verde (±a*)	2,51±0,03 ^a	2,31±0,07 ^{bc}	2,26±0,05 ^c	2,40±0,03 ^{ab}
Intensidade de amarelo/azul (±b*)	15,30±0,31 ^c	15,00±0,32 ^c	16,72±0,15 ^b	18,01±0,09 ^a
Densidade Aparente (g/mL)	0,77±0,00 ^a	0,69±0,02 ^b	0,65±0,02 ^{bc}	0,61±0,02 ^c
Centesimais				
Cinzas (%)	1,99 ± 0,03 ^d	2,91 ± 0,04 ^c	3,57 ± 0,03 ^b	3,85 ± 0,00 ^a
Umidade (%)	7,41 ± 0,83 ^a	6,52 ± 0,47 ^a	6,11 ± 0,77 ^a	5,92 ± 0,12 ^a
Lipídios (%)	3,75 ± 0,61 ^c	6,35 ± 0,70 ^b	8,69 ± 0,80 ^a	9,90 ± 0,40 ^a
Proteínas (%)	9,35 ± 0,17 ^d	17,44 ± 0,17 ^c	23,80 ± 0,11 ^b	27,34 ± 0,78 ^a
Fibras (%)	0,55±0,17 ^c	0,88±0,16 ^{bc}	1,10±0,07 ^{ab}	1,32±0,11 ^a
Carboidratos (%)	76,93±1,29 ^a	65,89±0,66 ^b	56,71±0,87 ^c	51,66±1,27 ^d
Valor Calórico (Kcal/100g)	379,00±4,74 ^c	390,53±5,33 ^{bc}	400,34±6,64 ^{ab}	405,10±1,35 ^a

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d} Letras diferentes na mesma linha evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey (p < 0,05).

No entanto, Storck *et al.* (2015) observaram um aumento nos valores de pH à medida em que o tamanho das partículas diminuiu em farinhas obtidas a partir de resíduos de laranja e uva. Em contraste, Bala *et al.* (2020) relataram uma tendência oposta para farinhas de ervilha, em que partículas menores apresentaram redução nos valores de pH, evidenciando que o comportamento desta variável pode ser diferente conforme a origem vegetal e a composição química da matéria-prima.

Diferentemente do observado nesta pesquisa, Savlak, Türker e Yeşilkanat (2016), bem como Nabil *et al.* (2020) relataram que a distribuição granulométrica não influenciou significativamente os valores de pH em farinhas de banana verde e de cladódio, respectivamente. Esses resultados sugerem que o impacto da granulometria sobre o pH pode depender fortemente da composição química específica e das características estruturais de cada matéria-prima. As variações de pH podem influenciar diretamente a estabilidade, a cor e o sabor dos alimentos, além de estarem associadas à presença e detecção de ácidos orgânicos de importância nutricional, como o ácido cítrico e o ácido ascórbico. Segundo Rosario *et al.*

(2022), essas alterações podem modificar o equilíbrio químico e sensorial dos produtos alimentícios, afetando tanto sua qualidade tecnológica quanto seu valor nutricional.

Os valores de atividade de água (a_w) da farinha de semente de flamboyant-mirim variaram entre $0,490 \pm 0,00$ e $0,496 \pm 0,00$, indicando que o produto é microbiologicamente estável. Segundo Franco e Landgraf (2004), valores de a_w inferiores a 0,60 são considerados limitantes para o crescimento de qualquer tipo de micro-organismo. De forma geral, a indústria alimentícia monitora este parâmetro para assegurar a estabilidade microbiológica, estimar a vida de prateleira e manter propriedades sensoriais desejáveis, como textura e crocância dos produtos (GOMES; OLIVEIRA, 2011; PEREIRA *et al.*, 2020).

As frações granulométricas da FSF não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) quanto à atividade de água, indicando que o tamanho das partículas não influenciou este parâmetro. Resultado semelhante foi observado por Ahmed, Al-Jassar e Thomas (2015), que relataram que a redução do tamanho das partículas não afetou a atividade de água em farinhas de arroz. Por outro lado, em estudos com farinha de banana verde (SAVLAK; TÜRKER; YEŞILKANAT, 2016) e farinha da semente de quiabo (WAISS *et al.*, 2021), o tamanho das partículas influenciou significativamente os valores de atividade de água, sugerindo que o comportamento desse parâmetro pode variar de acordo com a origem botânica e a composição química da matéria-prima utilizada.

Os teores de sólidos solúveis (SS) das diferentes frações granulométricas da FSF variaram entre $0,50 \pm 0,01$ a $1,63 \pm 0,05$ °Brix, com efeito estatisticamente significativo do tamanho de partícula ($p < 0,05$). As frações mais finas, correspondentes a de 0,500 a 0,250 mm, apresentaram valores superiores de SS em comparação à fração de 0,710 mm (0,50 °Brix).

Essa diferença pode estar associada à degradação parcial do amido durante o processo de moagem, o que favorece a liberação de moléculas solúveis, especialmente açúcares simples, nas frações mais finas da farinha. Além dos açúcares, os sólidos solúveis também refletem a presença de ácidos orgânicos, que contribuem para o sabor e o equilíbrio químico do produto (PINHEIRO *et al.*, 2022). Tendências semelhantes foram relatadas em estudos com outras farinhas vegetais, onde a redução do tamanho das partículas resultou em aumento significativo no teor de sólidos solúveis: farinha de resíduo de uva (STORCK *et al.*, 2015), farinha de cladódio (NABIL *et al.*, 2020) e farinha de banana verde (SAVLAK; TÜRKER; YEŞILKANAT, 2016).

Os resultados obtidos para o parâmetro cor (L)* indicaram que a luminosidade das frações granulométricas da FSF variou entre de $67,15 \pm 0,28$ e $71,15 \pm 0,08$, valores característicos de amostras com coloração clara, próximas ao branco. A fração granulométrica

de 0,250 mm apresentou maior valor de L^* em relação as demais amostras. Esse aumento da luminosidade nas partículas mais finas pode estar associado à maior área superficial, que proporcionou maior reflexão da luz (AHMED; AL-JASSAR; THOMAS, 2015; SAVLAK; TÜRKER; YEŞILKANAT, 2016; BALA *et al.*, 2020). Comportamento semelhante foi descrito para a farinha de banana verde (SAVLAK; TÜRKER; YEŞILKANAT, 2016), reforçando que a redução do tamanho de partícula tende a clarear visualmente o material, influenciando positivamente o parâmetro L^* .

Os valores de a^* da FSF variaram entre $2,26 \pm 0,05$ e $2,51 \pm 0,03$, indicando uma tendência de coloração avermelhada. Observou-se uma redução nos valores de a^* à medida que o tamanho das partículas diminuiu, sendo que a fração de 0,710 mm apresentou o maior valor desse parâmetro em comparação as demais amostras. Essa diminuição do valor de a^* pode estar associada à redução dos pigmentos durante o processo de moagem (BALA *et al.*, 2020), uma vez que a fragmentação mecânica e o aumento da exposição à luz e ao oxigênio podem promover a degradação de compostos cromóforos naturais.

Ahmed *et al.*, (2014) relataram que a redução nos valores de cor observada em partículas mais finas pode estar associadas à remoção de pigmentos (luteína e β -caroteno), durante o processo de diminuição do tamanho das partículas. Este efeito é atribuído à ruptura da estrutura celular provocada por forças de cisalhamento e impactos elevados na redução de tamanho ou ruptura da estrutura do tecido durante alto cisalhamento e impacto. De forma distinta, Jiang *et al.* (2017) observaram que o tamanho das partículas não exerceu influência significativa sobre os valores de a^* na farinha obtida de folhas de *Vaccinium bracteatum* Thunb., indicando que o comportamento da cor pode variar conforme a origem vegetal e a composição de pigmentos presentes em cada matriz.

Para o parâmetro b^* , os valores variaram entre $15,00 \pm 0,32$ e $18,01 \pm 0,09$, indicando uma tendência de coloração amarelada nas amostras da farinha de semente de flamboyant-mirim. Observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tamanhos de partículas analisados, sendo que a fração granulométrica de 0,255 mm apresentou maior valor de b^* ($18,01 \pm 0,09$) em relação às demais. Este aumento da intensidade da cor amarela pode estar relacionado à maior exposição de compostos carotenoides e fenólicos nas partículas mais finas, resultado da maior área superficial obtida com a redução granulométrica, o que intensifica a reflexão da luz e o tom amarelo característico.

De forma semelhante, Bala *et al.* (2020) observaram um aumento nos valores de b^* com a redução do tamanho de partícula na farinha de ervilha, indicando intensificação da tonalidade amarela. Em contraste, Savlak, Türker e Yeşilkanat (2016) relataram uma

diminuição nos valores de b^* para a farinha de banana verde, sugerindo que o comportamento da coloração amarela pode variar conforme a composição química e o tipo de pigmento predominante em cada matriz vegetal.

O aumento nos valores de b^* observado nas frações peneiradas pode estar relacionado à oxidação dos pigmentos responsáveis pela coloração da farinha, como compostos polifenólicos, ácido ascórbico e caroteno, durante o processamento. De acordo com Hera *et al.* (2012), esses pigmentos são suscetíveis à oxidação quando expostos ao oxigênio e à luz, o que pode intensificar a tonalidade amarelada (b^*) das amostras.

A densidade aparente está diretamente relacionada à expansão da farinha, sendo um parâmetro importante para prever o comportamento da massa em produtos de panificação (BALA *et al.*, 2020). Os valores de densidade obtidos para a FSF variaram entre $0,61 \pm 0,02$ e $0,77 \pm 0,00$ g/mL. Observou-se uma redução na densidade com a diminuição do tamanho das partículas, indicando que as frações mais finas apresentam estrutura mais porosa. A fração de 0,710 mm apresentou o maior valor de densidade ($0,77 \pm 0,00$ g/mL) em comparação às demais amostras, evidenciando que as partículas maiores tendem a se compactar mais eficientemente, resultando em menor volume específico.

De forma semelhante, a redução de tamanho das partículas também influenciou a densidade aparente em outros estudos. Bala *et al.* (2020) observaram esse mesmo comportamento na farinha de ervilha, enquanto Jiang *et al.* (2017), relataram resultados equivalentes para a farinha de folhas *Vaccinium bracteatum* Thunb.. Esses achados reforçam que a moagem mais fina tende a aumentar a porosidade e a dispersão das partículas, reduzindo a densidade aparente do material.

A redução da densidade aparente observada nas partículas mais finas indica uma baixa porosidade do pó, o que pode estar relacionado ao maior empacotamento das partículas e à redução dos espaços interpartículas após a moagem. Segundo Nabil *et al.* (2020), partículas menores tendem a se acomodar de forma mais compacta, diminuindo o volume livre e, conseqüentemente, a porosidade, o que influencia diretamente propriedades tecnológicas como absorção de água, fluidez e empanamento em formulações alimentícias.

A densidade aparente exerce um papel importante na formulação de produtos alimentícios, especialmente nas farinhas, pois influencia diretamente parâmetros de processamento, armazenamento e embalagem. De acordo com Cheng e Bhat (2016), esse atributo é utilizado para determinar os requisitos de embalagem de farinhas de cereais e grãos, garantindo eficiência logística e estabilidade do produto.

Essa propriedade está intimamente relacionada às características estruturais do material, como tamanho e distribuição das partículas, além de depender de fatores intrínsecos da matéria-prima, como composição química e morfologia das partículas. De acordo com Benítez *et al.* (2013), a densidade aparente também se correlaciona com outras propriedades físico-químicas, incluindo porosidade, umidade e absorção de água, influenciando o comportamento reológico e funcional das farinhas durante o processamento industrial.

A alta densidade aparente de uma farinha indica sua adequação para uso em preparações alimentícias convencionais, pois está associada a melhor compactação, maior rendimento volumétrico e melhor comportamento de mistura com outros ingredientes. Em contrapartida, farinhas com baixa densidade aparente apresentam maior volume por unidade de massa, o que pode ser vantajoso em formulação de alimentos complementares, especialmente aqueles destinados à nutrição infantil ou dietas específicas, por resultarem em produtos mais leve e de maior dispersibilidade. Conforme destacado por Chandra, Singh e Kumari (2015), a escolha do tipo de farinha, considerando sua densidade aparente, deve ser feita com base no objetivo tecnológico e nutricional do produto, uma vez que essa característica influencia diretamente a textura, a reconstituição e a aceitação sensorial das formulações alimentares.

Os teores de cinzas das diferentes frações granulométricas da FSF variaram entre $1,99 \pm 0,03$ e $3,85 \pm 0,00$ %, refletindo o conteúdo mineral total da amostra. Valores semelhantes foram reportados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) e Sahu *et al.*, (2022) que observaram teores de cinzas de 3,60 e 2,50%, respectivamente, em sementes de *Caesalpinia pulcherrima*. Por outro lado, valores superiores foram reportados por Omode, Fatoki e Olaogun (1995); Yusuf, Mofio e Ahmed (2007) e Chanda *et al.*, (2010), que encontraram 10%; 4,50%; e 4,25%, respectivamente, para a mesma espécie. Essas variações podem estar associadas a diferenças no solo de cultivo, grau de maturação, métodos de processamento e condições analíticas empregadas, fatores que influenciam diretamente o acúmulo de minerais nas sementes.

Observou-se um aumento no teor de cinzas com a redução do tamanho de partículas da FSF. A fração com granulometria de 0,710 mm apresentou menor valor de cinzas, enquanto as frações mais finas concentraram maiores teores de minerais. Esse comportamento pode ser atribuído ao maior grau de exposição e homogeneização das partículas menores, que favorece a liberação e concentração dos minerais durante a moagem. Além disso, a redução granulométrica tende a aumentar a área superficial, facilitando a detecção analítica dos elementos minerais presentes na matriz da farinha.

A variação dos teores de cinzas observada entre as diferentes frações granulométricas da farinha de semente de flamboyant-mirim (FSF) pode ser explicada pela

diferença na friabilidade dos minerais presentes na matriz. De acordo com Azeem, Mu e Zhang (2021), minerais com maior friabilidade tendem a se fragmentar mais facilmente durante a moagem, concentrando-se nas frações de menor tamanho de partícula. Além disso, a quebra da parede celular do endosperma durante o processo de moagem pode liberar materiais intracelulares ricos em minerais, contribuindo para o aumento do teor de cinzas nas frações mais finas. Essa relação entre estrutura celular e composição mineral já foi destacada em estudos clássicos, como os de Sullivan, Engebretson e Anderson (1960) e Ahmed, Thomas e Arfat (2019), que demonstraram que a fragmentação celular favorece a exposição e extração de minerais durante as análises químicas.

De forma semelhante, Ahmed; Thomas e Arfat, (2019) relataram um aumento no teor de cinzas de farinha de quinoa com a redução do tamanho das partículas. Por outro lado, Bala *et al.*, (2020), bem como Kim e Shin (2014) não observaram diferenças significativas nos teores de cinzas das farinhas de ervilha e arroz, respectivamente, quando submetidas à redução granulométrica. Esses resultados indicam que a influência do tamanho de partícula sobre o teor de cinzas varia conforme a composição estrutural e mineralógica de cada matriz vegetal, bem como os parâmetros de moagem e peneiramento empregados.

Os altos teores de cinzas indicam uma maior concentração de minerais na amostra (OLIVEIRA; PINTO; REZENDE, 2017; SATO, *et al.*, 2019; BORGES *et al.*, 2021). Dessa forma, a FSF, com base em seu conteúdo de minerais, pode ser considerada uma fonte alternativa de uso ou substituição parcial nas formulações panificáveis, visando o enriquecimento nutricional e o acréscimo de compostos minerais essenciais à dieta.

Os teores de umidade da FSF variaram entre $5,92 \pm 0,12$ e $7,41 \pm 0,83$ %, não sendo observado diferença significativa entre as frações granulométricas ($p > 0,05$). Esses valores indicam boa estabilidade para armazenamento, uma vez que baixos teores de umidade reduzem o risco de deterioração microbiológica e reações enzimáticas.

Resultados superiores foram reportados por Yusuf, Mofio e Ahmed (2007), que observaram 9,05% de umidade na farinha de semente de *Caesalpinia pulcherrima*. Por outro lado, valores inferiores foram descritos por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008), Omode, Fatoki e Olaogun (1995) e Sahu *et al.*, (2022), com teores de umidade de 3,10%; 3,8% e 2,5%, respectivamente. Essas variações podem estar relacionadas a diferenças nas condições de secagem, armazenamento, moagem e até mesmo ao teor inicial de água das sementes utilizadas em cada estudo.

Os valores de umidade obtido nas diferentes frações granulométricas da FSF estão em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução de Diretoria Colegiada (RDC)

nº 711, que estabelece o teor máximo de umidade de 15% para farinhas, amidos de cereais e farelos (BRASIL, 2022). A manutenção da umidade abaixo deste limite é importante para garantir a estabilidade microbiológica e a qualidade durante o armazenamento, uma vez que níveis de umidade mais elevados favorecem o crescimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos, além de acelerar reações de degradação química e enzimática. Conforme destacado por Bustillos-Rodríguez *et al.* (2019), manter os valores de umidade inferiores a 15% contribui para reduzir significativamente o risco de contaminação microbiana, assegurando maior vida útil e segurança do produto.

Os teores de lipídios das diferentes frações granulométricas da FSF variaram entre $3,75 \pm 0,61$ e $9,90 \pm 0,40$ %, evidenciando uma composição moderadamente rica em óleos vegetais. Valores semelhantes foram observados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) e Yusuf, Mofio e Ahmed., (2007), que encontraram teores de 7,20% e 6,60%, respectivamente, para sementes de *Caesalpinia pulcherrima*. Por outro lado, Omode, Fatoki e Olaogun (1995), observaram um valor superior (14,70%) para a mesma espécie, o que pode estar associado a diferenças nos métodos de extração, maturação das sementes, origem geográfica ou condições ambientais de cultivo.

Essas variações são comuns em leguminosas e refletem tantos as características genéticas da planta quanto os fatores tecnológicos aplicados ao processamento, como intensidade da moagem, tempo de secagem e temperatura, que podem influenciar a liberação e quantificação dos lipídios na amostra final.

Foi observado um aumento no teor de lipídios à medida que ocorreu a redução do tamanho das partículas da FSF. A fração granulométrica de 0,710 mm apresentou o menor valor de lipídios, enquanto as frações mais finas exibiram teores mais elevados. Este comportamento pode ser atribuído à maior exposição da área superficial das partículas finas ao solvente extrator, favorecendo a eficiência da extração lipídica, conforme relatado por Ahmed, Al-Jassar e Thomas (2015). A maior fragmentação da matriz também pode romper estruturas celulares, liberando lipídios previamente retidos nas paredes celulares. Tendência semelhante foi observada em outros estudos como no concentrado de β -D-glucana de cevada (AHMED; THOMAS; AL-ATTAR, 2015) e em cultivares de arroz (AHMED; AL-JASSAR; THOMAS, 2015), onde a redução granulométrica aumentou a extração de gordura devido à ampliação da área de contato entre a amostra e o solvente durante o processo de extração.

Os teores de proteínas das diferentes frações granulométricas da FSF variaram entre $9,35 \pm 0,17$ e $27,34 \pm 0,78$ %, demonstrando que a semente é uma fonte relevante de proteína vegetal. Valores semelhantes foram reportados por Omode, Fatoki e Olagun (1995), que

observaram 26,6% de proteínas em sementes de *C. pulcherrima*. Já teores superiores foram descritos por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) e Yusuf, Mofio e Ahmed., (2007), com 47,40% e 48,08%, respectivamente, para a mesma espécie. Essas variações podem estar associadas a diferenças na origem botânica e nas condições de cultivo, bem como ao método analítico e ao grau de moagem aplicado. Além disso, o processo de secagem e a distribuição das proteínas entre as frações estruturais da semente (endosperma e tegumento) também podem influenciar significativamente os valores obtidos.

A fração granulométrica de 0,710 mm apresentou o menor valor de proteínas ($9,35 \pm 0,17\%$) enquanto a fração 0,250 mm apresentou o maior valor ($27,34 \pm 0,78\%$), evidenciando que a redução do tamanho de partículas está associada a um aumento na concentração de proteínas na FSF. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que partículas menores possuem maior área superficial e melhor homogeneização, o que facilita a extração e quantificação das proteínas. Além disso, durante o processo de moagem, pode ocorrer uma separação diferencial dos componentes estruturais da semente, concentrando as frações proteicas nas partículas mais finas, como também relatado em estudos sobre farinhas vegetais com diferentes granulometrias.

O maior teor de proteína nas frações mais finas pode indicar que partes do grão mais ricas em proteína (como o endosperma e fragmentos de células com alto teor proteico) foram reduzidas a partículas menores durante a moagem, concentrando-se nessas frações (DHEN *et al.*, 2016; AHMED; THOMAS; ARFAT, 2019). Tendência semelhante foi relatada por Ahmed, Thomas e Al-Attar (2015) em concentrados de β -D-glucana de cevada, bem como por Ahmed, Thomas e Arfat (2019) em farinhas de quinoa, onde a redução granulométrica resultou em aumento do teor proteico devido à redistribuição dos constituintes do grão. Por outro lado, Ahmed, Al-Jassar e Thomas (2015) observaram comportamento oposto em farinhas de arroz, em que o teor de proteína diminuiu com a redução do tamanho de partícula, possivelmente devido à remoção parcial das frações proteicas durante a moagem mais intensa ou à segregação de frações ricas em amido.

De acordo com Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008), as sementes de flamboyant-mirim podem ser recomendadas como suplementos proteicos, devido ao seu expressivo teor de proteínas e à presença de aminoácidos essenciais. No entanto, os autores destacam que a adequação de qualquer planta como fonte alimentar depende de fatores como a presença de compostos antinutricionais (taninos, fitatos, inibidores de tripsina, entre outros) e da digestibilidade dos nutrientes.

Esses aspectos são determinantes para avaliar o potencial nutricional e funcional da farinha de sementes, uma vez que compostos antinutricionais podem reduzir a biodisponibilidade de proteínas e minerais, tornando necessária a aplicação de tratamentos tecnológicos (como torrefação, fermentação ou germinação) para melhorar a qualidade nutricional e a segurança do produto.

Os teores de fibra bruta das frações granulométricas da FSF variaram entre $0,55 \pm 0,17$ e $1,32 \pm 0,11$ %, indicando baixos níveis desse componente nas amostras analisadas. Esses valores foram inferiores aos relatados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) e Yusuf, Mofio e Ahmed., (2007), que encontraram 9,06% e 4,03% de fibra bruta, respectivamente, para a mesma espécie.

As diferenças observadas podem estar relacionadas a fatores metodológicos e tecnológicos, como o método de determinação da fibra, o processo de moagem, a origem botânica das sementes e o estado de maturação no momento da coleta.

Foi observado um aumento no valor de fibras com a redução do tamanho das partículas da FSF, sendo que a fração de 0,710 mm apresentou o menor valor em relação as demais. Essa tendência pode estar relacionada à quebra de ligações intermoleculares e desestruturação de componentes da parede celular durante a moagem, o que aumenta a exposição e a disponibilidade das frações fibrosas. Além disso, a clivagem de proteínas estruturais e a solubilização de macromoléculas podem favorecer a liberação de fibras insolúveis e a incorporação de frações anteriormente ligadas à matriz proteica (JAN; SAXENA; SINGH, 2018; CHINMA *et al.*, 2021). Essas transformações físico-químicas explicam o maior teor aparente de fibra nas partículas mais finas, que apresentam maior área superficial e maior interação com os reagentes analíticos durante a determinação do conteúdo de fibras.

Diferentemente dos resultados obtidos nesta pesquisa, Bolade *et al.*, (2009) observaram uma maior tendência das fibras brutas aderirem aos grânulos de amido em partículas de farinha mais grossa do que nas frações finas da farinha de milho analisada. Por outro lado, Dhen *et al.*, (2016) não verificaram diferenças significativas nos teores de fibras em função da redução do tamanho de partícula em farinha de soja, sugerindo que este comportamento pode depender fortemente da composição estrutural da matriz vegetal e do tipo de processamento aplicado durante as etapas de moagem e peneiramento.

Um comportamento semelhante de aumento no teor de fibras com a redução do tamanho das partículas foi relatado em outras matrizes vegetais. Por exemplo, Ahmed, Thomas e Al-Attar (2015) observaram que, no concentrado de β -D-glucana de cevada, as frações de

menor granulometria apresentaram maior teor de fibras, possivelmente devido à fragmentação da parede celular e maior exposição das cadeias polissacarídicas.

Da mesma forma, Ahmed, Thomas e Arfat (2019) reportaram um aumento no conteúdo de fibras na farinha de quinoa à medida que o tamanho das partículas diminuía, atribuindo esse efeito à maior densidade superficial de material fibroso e à redistribuição de constituintes insolúveis durante o processo de moagem e peneiramento.

Esses resultados corroboram a tendência observada na FSF, reforçando a hipótese de que a redução do tamanho de partícula favorece a liberação e quantificação das frações fibrosas, especialmente em materiais vegetais ricos em polissacarídeos estruturais.

A ingestão diária de alimentos ricos em fibras, como leguminosas, é recomendada para prevenir diversas doenças cardiovasculares e câncer, além de auxiliar no controle glicêmico de pacientes diabéticos e na regulação da ingestão energética e da saciedade (NIONELLI *et al.*, 2014; DURANTI, 2006).

Os teores de carboidratos das frações granulométricas da FSF variaram de $51,66 \pm 1,27$ a $76,93 \pm 1,29$ %. Esses valores foram superiores aos relatados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008), Yusuf, Mofio e Ahmed. (2007) e Omode, Fatoki e Olaogun (1995), que encontraram teores de 34,67%; 39,10% e 35,5%, respectivamente, para a semente de *C. pulcherrima*.

Foi observada uma diminuição no teor de carboidratos com a redução do tamanho de partícula. A fração granulométrica de 0,710 mm apresentou o maior valor de carboidratos, ($76,93 \pm 1,29$ %) em comparação com as demais amostras. Esta variação nos teores de carboidratos (obtidos por diferença) pode estar relacionada aos valores de umidade, proteínas, lipídios, cinzas e fibras presentes nas frações granulométricas da FSF (Tabela 2), os quais são distribuídos diferencialmente por moagem e peneiramento.

Quanto maior o tamanho das partículas, maior tende a ser o teor de carboidratos na farinha de soja (DHEN *et al.*, 2016). Diferentemente dos resultados desta pesquisa, Memon *et al.* (2020) observaram que os teores de carboidratos aumentaram com a redução do tamanho das partículas da farinha de trigo integral. No entanto, Bala *et al.* (2020) verificaram que a granulometria não influenciou significativamente o teor de carboidratos na farinha de ervilha. Alimentos com alto teores de carboidratos podem ser utilizados para enriquecer energeticamente a dieta, tanto pelo consumo direto quanto pela incorporação em novos produtos alimentícios (MORAIS *et al.*, 2019).

A maioria das espécies leguminosas armazenam carboidratos como fonte principal de energia. As quantidades relativas desses constituintes nas sementes dependem de fatores

genéticos e ambientais, como condições climáticas, e a disponibilidade de nutrientes do solo (GALLARDO, THOMPSON e BURSTIN, 2008; ALVES, 2013).

Os valores calóricos das frações granulométricas da FSF variaram entre 379,00 e 405,10 Kcal/100g. Valor semelhante (312,1 Kcal/100g) foi relatado por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) para a semente de *C. pulcherrima*. Observou-se aumento do valor calórico com a redução do tamanho das partículas da FSF, sendo que a fração granulométrica mais fina (0,250 mm) apresentou o maior valor calórico em comparação à amostra de granulometria mais grossa (0,710 mm), indicando que a diminuição do tamanho de partícula tende a elevar o valor energético da farinha.

Essa variação pode estar relacionada aos teores de proteínas, lipídios e carboidratos presentes nas frações granulométricas da FSF (Tabela 2), os quais são distribuídos de forma distinta durante os processos de moagem e peneiramento. Um aumento semelhante no valor calórico com a redução do tamanho da partícula foi observado para farinha de trigo (MEMON *et al.*, 2020). Em contraste, Bala *et al.*, (2020) não encontraram diferenças significativas nos valores calóricos em função da redução do tamanho de partícula em farinha de ervilha.

3.3 Propriedades tecnológicas

As propriedades tecnológicas da farinha são fortemente influenciadas por sua composição química, refletindo as interações entre seus componentes estruturais (CAIRANO *et al.*, 2020).

Isso pode ser observado nos resultados obtidos para as propriedades tecnológicas da FSF com diferentes granulometrias (Tabela 3). Verificou-se que a granulometria exerceu influência significativa sobre os parâmetros avaliados. De modo geral, quanto menor o tamanho das partículas, maiores foram os valores das propriedades tecnológicas avaliadas, exceto para a capacidade de absorção de água, que apresentou comportamento inverso.

Os valores do Índice de Solubilidade em Água (ISA) das frações granulométricas da FSF variaram de $2,14 \pm 0,70$ a $11,65 \pm 0,52$ g/100g. Observou-se aumento do ISA com a redução do tamanho da partícula, sendo que a fração de 0,710 mm apresentou menor valor, enquanto que a de 0,250 mm exibiu o maior valor de solubilidade. Esse comportamento indica que a redução granulométrica favorece a exposição de componentes hidrofílicos, resultando em maior interação com a água e, conseqüentemente, em elevação da solubilidade da farinha.

Tabela 3 - Propriedades tecnológicas da farinha de semente de flamboyant (FSF) com diferentes granulometrias.

Parâmetros	Granulometria da FSF (Média ± Desvio Padrão)*			
	0,710 mm	0,500 mm	0,355 mm	0,250 mm
Tecnológicas				
Índice de Solubilidade em Água – ISA (g/100g)	2,14 ± 0,70 ^d	4,45 ± 0,32 ^c	6,58 ± 0,78 ^b	11,65 ± 0,52 ^a
Capacidade de Absorção de Água – CAA (g/g)	5,08 ± 0,19 ^a	4,14 ± 0,28 ^b	3,60 ± 0,13 ^b	2,94 ± 0,21 ^c
Capacidade de Absorção de Óleo – CAO (g/g)	1,48 ± 0,04 ^b	1,60 ± 0,03 ^{ab}	1,58 ± 0,07 ^{ab}	1,71 ± 0,03 ^a
Atividade Emulsificante (%)	57,14±0,00 ^d	64,28±0,00 ^c	67,85±0,00 ^b	80,95±2,06 ^a
Capacidade de Formação de Espuma – CFE (%)	2,00±0,00 ^c	2,00±0,00 ^c	10,00±0,00 ^b	14,66±1,68 ^a

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d} Letras diferentes na mesma linha evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A variação observada no ISA pode estar relacionada à presença de moléculas hidrossolúveis e dispersíveis, como albuminas, amilose, açúcares, oligossacarídeos e outros compostos de baixa massa molecular. De maneira semelhante, Bala *et al.* (2020) também verificaram aumento no ISA em farinhas de ervilha com a redução do tamanho das partículas, atribuindo esse comportamento à maior exposição das regiões polares das macromoléculas. Por outro lado, Nabil *et al.* (2020) observaram redução nos valores de ISA em farinha de cladódio, indicando que esse parâmetro pode variar conforme a composição química e a estrutura celular de cada matéria-prima vegetal.

A fração granulométrica 0,250 mm da FSF, por apresentar alto teor de solubilidade em água, mostra-se adequada para a aplicação em alimentos instantâneos ou produtos que demandem reconstituição rápida em baixas temperaturas, como sopas desidratadas, sobremesas e molhos, nos quais se busca rápida dispersão e boa homogeneidade da mistura (SANTANA; OLIVEIRA FILHO; EGEA, 2017). Por outro lado, em produtos cárneos, onde a textura firme e coesa é desejável, a alta solubilidade pode comprometer a estrutura do alimento, as frações granulométricas maiores da FSF podem ser mais adequadas, uma vez que proporcionam melhor retenção de água e estabilidade térmica durante o processamento (BORGES *et al.*, 2021).

A capacidade de absorção de água (CAA) representa a quantidade de água que pode ser retida por grama de farinha, refletindo a interação entre seus constituintes hidrofílicos (principalmente proteínas, amidos e fibras) (SUMMO *et al.*, 2019). Os valores obtidos da CAA para a FSF variaram de $2,94 \pm 0,21$ a $5,08 \pm 0,19$ g/g, evidenciando influência significativa do

tamanho de partícula. Observou-se redução da CAA com a diminuição do diâmetro médio das partículas, sendo que a fração 0,710 mm apresentou o maior valor e a 0,250 mm o menor.

Uma redução nos valores de CAA também foi observada em outros estudos. Resultados semelhantes foram relatados por Savlak, Türker e Yeşilkanat (2016) ao analisarem farinha de banana verde, e por Nabil *et al.* (2020) em farinha de cladódio. Esses autores atribuíram essa tendência à menor porosidade e área superficial específica das partículas mais finas, que reduzem a capacidade de retenção de água. Além disso, a ruptura de estruturas celulares durante a moagem pode expor compostos hidrofóbicos, como lipídios, que competem com os grupos polares por sítios de ligação de água, diminuindo a CAA.

A menor capacidade de absorção de água em farinhas pode estar associada à redução na quantidade de aminoácidos polares disponíveis, uma vez que esses grupos funcionais desempenham papel fundamental na retenção de moléculas de água por meio de ligações de hidrogênio (CHANDRA; SINGH; KUMARI, 2015). Além disso, a redução do tamanho das partículas pode provocar o colapso da matriz fibrosa e a compactação da estrutura interna da farinha, limitando o espaço capilar e a capacidade de retenção de água. Esse efeito estrutural foi relatado por Savlak, Türker e Yeşilkanat (2016), que observaram comportamento semelhante em farinhas submetidas a moagem intensiva.

O aumento na CAA está diretamente relacionado à lixiviação e solubilização de frações de amilose, além da desorganização da estrutura cristalina do amido durante o processo de moagem ou aquecimento (CHANDRA; SINGH; KUMARI, 2015).

Esse fenômeno aumenta o número de sítios hidrofílicos disponíveis para interação com moléculas de água, resultando em maior retenção hídrica. Além disso, farinhas com maior teor de constituintes hidrofílicos, como polissacarídeos e proteínas com grupos polares expostos, tendem a apresentar valores mais elevados de absorção de água (KAUR; SINGH, 2005). Essas características tornam tais farinhas adequadas para aplicações em produtos que demandam textura úmida ou macia, como bolos, pães e massas alimentícias.

As proteínas apresentam caráter anfifílico, possuindo tanto regiões hidrofílicas quanto hidrofóbicas, o que lhes permite interagir com diferentes componentes da matriz alimentar (CHANDRA; SINGH; KUMARI, 2015). Durante o processamento, alterações conformacionais nas moléculas proteicas — como desnaturação parcial ou completa — podem expor cadeias laterais de aminoácidos previamente ocultas, especialmente grupos polares, aumentando assim sua capacidade de ligação com moléculas de água (DU *et al.*, 2014; KAUR; SINGH, 2007).

Essas modificações estruturais influenciam diretamente propriedades funcionais como capacidade de absorção de água, formação de espuma e emulsificação, sendo, portanto, determinantes para o comportamento tecnológico de farinhas proteicas em formulações alimentícias. Essa variação na CAA pode estar relacionada a múltiplos fatores estruturais e composicionais da farinha, como o número de sítios de hidratação disponíveis, pH do meio, além da presença de lipídios, carboidratos e fibras, que favorecem a formação de pontes de hidrogênio com moléculas de água (NABIL *et al.*, 2020).

De acordo com Du *et al.* (2014), a capacidade de absorção de água (CAA) das farinhas de leguminosas está diretamente correlacionada às suas propriedades de cozimento, influenciando parâmetros como tempo de hidratação, textura e expansão durante o aquecimento. Além disso, a CAA afeta significativamente o comportamento de processamento dos alimentos, uma vez que determina a quantidade de água disponível para formar massas, pastas ou suspensões estáveis, impactando propriedades reológicas e de textura nos produtos finais.

A alta CAA das farinhas indica potencial de aplicação em formulações alimentícias que demandam boa retenção de umidade e estabilidade estrutural, como salsichas, massas, queijos processados e produtos de panificação (CHANDRA; SINGH; KUMARI, 2015). Esse comportamento contribui para melhorar a textura, suculência e rendimento desses alimentos, além de favorecer a retenção de água durante o processamento térmico, reduzindo perdas e otimizando a qualidade sensorial do produto final.

A CAA influencia de forma significativa as características físicas e sensoriais dos alimentos derivados. Assim, a adição de farinhas de leguminosas à farinha de cereais pode melhorar a textura e a maciez do produto, contribuindo para estruturas mais estáveis e agradáveis ao paladar. Essa combinação pode também potencializar as propriedades sensoriais, como umidade, elasticidade e sensação na boca, favorecendo a aceitação do consumidor (SUMMO *et al.*, 2019).

Os valores da capacidade de absorção de óleo (CAO) das frações granulométricas da farinha de semente de flamboyant-mirim (FSF) variaram entre $1,48 \pm 0,04$ e $1,71 \pm 0,03$ g/g. Observou-se um aumento na CAO com a redução do tamanho das partículas, sendo que a fração de 0,710 mm apresentou o menor valor, enquanto a fração de 0,250 mm exibiu o maior teor de absorção de óleo. Essa tendência indica que partículas mais finas possuem maior área superficial disponível para interações lipofílicas, favorecendo a retenção de óleo e potencializando o uso da farinha em formulações alimentícias que exigem melhor capacidade de emulsão e textura, como produtos cárneos e panificados.

Da mesma forma, Bala *et al.* (2020) observaram um aumento nos valores de capacidade de absorção de óleo (CAO) para a farinha de ervilha, comportamento atribuído à maior exposição de cadeias laterais hidrofóbicas de proteínas e lipídios em partículas mais finas, o que favorece as interações com moléculas de óleo e amplia o potencial de uso da farinha em emulsões e produtos de alta retenção lipídica. A alta CAO observada nas frações mais finas da farinha pode ser atribuída ao maior teor de proteínas e lipídios hidrofóbicos na matriz, os quais participam ativamente do processo de retenção de óleo (DU *et al.*, 2014; CHINMA *et al.*, 2021). Esse comportamento foi confirmado pelas análises centesimais, nas quais a FSF com granulometria menor (0,250 mm) apresentou maior conteúdo de lipídios e proteínas (Tabela 2), reforçando a relação direta entre composição química e capacidade de absorção de óleo.

O principal componente químico que influencia a CAO é a proteína, composta por regiões hidrofílicas e hidrofóbicas. As cadeias laterais de aminoácidos apolares podem interagir hidrofobicamente com cadeias de hidrocarbonetos dos lipídios, favorecendo a retenção de óleo nas matrizes alimentares (CHANDRA; SINGH; KUMARI, 2015).

A alta CAO observada nas frações de farinha é altamente vantajosa para o desenvolvimento de alimentos que exigem retenção de sabor, melhor palatabilidade e maior vida útil, características desejáveis em produtos de panificação, cárneos e embutidos (BALA *et al.*, 2020). Assim, a fração de farinha com granulometria de 0,250 mm, que apresentou maior CAO, pode ser considerada superior como agente retentor de sabor e umidade, sendo indicada para formulações que requerem elevada capacidade de absorção lipídica, contribuindo para textura, suculência e estabilidade sensorial dos produtos alimentícios.

Os valores obtidos para a atividade emulsificante (AE) das frações granulométricas da FSF variaram entre $57,14 \pm 0,00$ e $80,95 \pm 2,06$ %. Observou-se um aumento na AE com a redução do tamanho de partícula, sendo que a fração de 0,710 mm apresentou o menor valor, enquanto a de 0,250 mm exibiu o maior teor de AE, indicando que partículas mais finas favorecem maior estabilidade e formação de emulsões, possivelmente devido à maior exposição de proteínas e compostos superficialmente ativos na matriz da farinha.

Esse aumento da AE pode estar relacionado ao fato de que partículas menores favorecem maior dispersão dos componentes emulsificantes, aumentando, assim, as interações na interface óleo-água e promovendo a formação mais eficiente de membranas interfaciais. Em contrapartida, partículas maiores reduzem essa dispersão, limitando a atuação dos polipeptídeos e demais compostos tensoativos responsáveis pela redução da tensão superficial, o que resulta em uma emulsificação menos estável e homogênea (ALUKO; MOFOLASAYO; WATTS, 2009).

Lucas-González *et al.* (2017) não observaram diferenças significativas na atividade emulsificante com a redução do tamanho de partícula em farinha de caqui. Segundo Alpizar-Reyes *et al.* (2017), a capacidade de um hidrocoloide em formar emulsões estáveis é essencial em diversas aplicações alimentícias, pois a função emulsificante e estabilizante gradual é determinante para alcançar as características sensoriais e reológicas desejadas nos produtos finais. Dessa forma, a fração de farinha com tamanho de partícula de 0,250 mm, que apresentou maior atividade emulsificante, pode ser utilizada como agente emulsificante ou estabilizante em sorvetes, chocolates, manteigas e produtos cárneos, contribuindo para melhor textura, estabilidade e incorporação de gordura nesses alimentos.

A capacidade de formação de espuma (CFE) é um parâmetro essencial para avaliar o potencial funcional das farinhas como agentes aerantes em produtos alimentícios batidos (CHENG; BHAT, 2016). Os valores de CFE das frações granulométricas da FSF variaram de $2,00 \pm 0,00$ a $14,66 \pm 1,68$ %, apresentando aumento proporcional à redução do tamanho de partícula. A fração de 0,710 mm apresentou o menor valor de CFE, enquanto a fração de 0,250 mm exibiu o maior teor de formação de espuma, indicando que partículas mais finas favorecem a incorporação de ar e a estabilidade da espuma, possivelmente devido à maior exposição de proteínas com propriedades tensoativas na superfície das partículas. No entanto, Bala *et al.* (2020) observaram uma redução na CFE com a diminuição do tamanho das partículas em farinhas de ervilha, sugerindo que partículas mais finas podem reduzir a incorporação de ar e comprometer a estabilidade da espuma, possivelmente devido à modificação das proteínas estruturais e de suas propriedades tensoativas durante o processo de moagem.

O maior teor de capacidade de formação de espuma (CFE) observado na fração granulométrica mais fina da FSF (0,250 mm) pode estar associado à maior concentração de agentes espumantes, especialmente proteínas, presentes nessa amostra (Tabela 2). As propriedades espumantes dependem fortemente das proteínas, uma vez que estas possuem alta atividade superficial, permitindo que se orientem na interface ar-líquido e reduzam a tensão superficial durante a agitação, o que favorece a formação e estabilização da espuma (BALA *et al.*, 2020). Além do teor de proteínas, a CFE é influenciada por diversos fatores, como o teor de carboidratos, o peso molecular, a estrutura tridimensional das macromoléculas e a presença de compostos adicionais nos hidrocoloides (ALPIZAR-REYES *et al.*, 2017). Assim, a farinha com granulometria de 0,250 mm, por apresentar a melhor CFE, mostra-se promissora para aplicação em produtos ricos em proteínas que demandam aeração na textura, como sorvetes, bolos e produtos de confeitaria, onde a incorporação de ar é essencial para conferir leveza e cremosidade.

A Tabela 4 apresenta os resultados referentes à capacidade de formação de gel (CFG) da FSF com diferentes granulometrias. Observou-se que todas as amostras exibiram formação de gel frágil na concentração de 2% (p/v) e formação de gel resistente a partir de 10% (p/v). Nas dispersões de farinha com concentrações crescentes (10 a 30%), verificou-se que as amostras não escoaram nos tubos de ensaio após o resfriamento, sendo, portanto, classificadas como géis resistentes, o que indica boa capacidade gelificante independente da granulometria.

Tabela 4 - Capacidade de formação de gel (CFG) da farinha de semente de flamboyant-mirim com diferentes granulometrias.

CFG (% farinha)	Granulometria da FSF			
	0,710 mm	0,500 mm	0,355 mm	0,250 mm
2	–	±	±	±
4	±	±	±	±
6	±	±	±	±
8	±	±	±	±
10	+	+	+	+
12	+	+	+	+
14	+	+	+	+
16	+	+	+	+
18	+	+	+	+
20	+	+	+	+
30	+	+	+	+

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. CFG – Capacidade de Formação de Gel em porcentagem das farinhas de semente de flamboyant-mirim com diferentes granulometrias. Ausência de gelificação (-), gel frágil (±), gel resistente (+).

Drakos *et al.* (2017) observaram que, nas dispersões de farinhas de centeio e cevada com concentrações crescentes, apenas as formulações com 16%, 18% e 20% apresentaram formação de géis consistentes. De forma semelhante, Kaur e Singh (2005) relataram que a concentração mínima de gelificação para diferentes farinhas de grão-de-bico variou entre 10% e 14%.

De acordo com a literatura, a propriedade gelificante de farinhas de cereais está diretamente relacionada à presença e proporção de proteínas, carboidratos e lipídios, cuja interação determina as características estruturais e funcionais do gel formado (KAUR *et al.*, 2015). Além disso, a complexidade da matriz da farinha e os parâmetros de moagem exercem influência significativa sobre a capacidade de gelificação, por afetarem as interações entre os constituintes e entre estes e a água (DRAKOS *et al.*, 2017).

Considerando esses fatores, todas as frações granulométricas da FSF avaliadas nesta pesquisa demonstraram potencial tecnológico para aplicação em alimentos espessados, como mingaus, cremes e molhos, cuja estrutura depende da formação de gel para retenção e imobilização de água.

3.4 Análise de Minerais

Os resultados das análises minerais das frações granulométricas da farinha de semente de flamboyant-mirim (FSF) estão apresentados na Tabela 5, evidenciando que o tamanho de partícula influenciou significativamente o teor de minerais da amostra. Observou-se que, à medida que a granulometria diminuiu, houve um aumento progressivo nas concentrações de todos os minerais avaliados, indicando que as partículas mais finas concentram maiores teores minerais devido à maior exposição superficial e liberação de compostos minerais durante a moagem.

Tabela 5 - Análise de minerais da farinha de semente de flamboyant-mirim (FSF) com diferentes granulometrias.

Parâmetros	Granulometria da FSF (Média ± Desvio Padrão)			
	0,710 mm	0,500 mm	0,355 mm	0,250 mm
Ca (g/kg)	1,61 ± 0,00 ^d	2,00 ± 0,00 ^c	2,15 ± 0,00 ^b	2,70 ± 0,00 ^a
Mg (g/kg)	1,19 ± 0,01 ^d	2,01 ± 0,19 ^c	2,32 ± 0,00 ^b	2,62 ± 0,02 ^a
K (g/kg)	6,22 ± 0,22 ^c	9,96 ± 0,21 ^b	12,10 ± 0,13 ^a	12,31 ± 0,13 ^a
P (g/kg)	1,74±0,01 ^d	3,40±0,03 ^c	4,84±0,17 ^b	5,59±0,02 ^a
Fe (g/kg)	0,035 ± 0,00 ^d	0,052 ± 0,00 ^c	0,063 ± 0,00 ^b	0,072 ± 0,00 ^a
Mn (g/kg)	0,005 ± 0,00 ^d	0,009 ± 0,00 ^c	0,013 ± 0,00 ^b	0,016 ± 0,00 ^a
Zn (g/kg)	0,018 ± 0,00 ^d	0,035 ± 0,00 ^c	0,046 ± 0,00 ^b	0,053 ± 0,00 ^a

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d} Letras diferentes na mesma linha evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

De acordo com as necessidades nutricionais humanas, os minerais podem ser classificados em dois grupos principais: Macroelementos, requeridos em quantidades superiores a 50 mg/dia, como potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na); Oligoelementos ou microminerais, necessários em concentrações inferiores a 50 mg/dia, como cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn) (RUSU *et al.*, 2021).

Essa distinção é fundamental para interpretar a relevância nutricional da FSF, que se mostrou rica tanto em macro quanto em microminerais, reforçando seu potencial como ingrediente funcional e nutricional para formulações alimentícias enriquecidas.

Os teores de cálcio (Ca) das frações granulométricas da farinha de semente de flamboyant-mirim (FSF) variaram entre $1,61 \pm 0,00$ e $2,70 \pm 0,00$ g/kg, valores superiores aos relatados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) e Yusuf, Mofio e Ahmed (2007) para sementes de *C. pulcherrima*.

Observou-se um aumento do teor de Ca com a redução do tamanho das partículas, sendo a fração 0,710 mm a de menor valor e a 0,250 mm a de maior concentração desse mineral. Tendência semelhante foi relatada por Deli *et al.* (2020) para a farinha de *Dichrostachys glomerata*, cujas partículas mais finas (<180 µm) apresentaram maior conteúdo de cálcio.

Essa variação pode estar associada ao aumento do teor proteico observado nas amostras mais finas (Tabela 2), já que Ertop, Bektaş e Atasoy (2020) também verificaram correlação positiva entre teor de proteínas e conteúdo de Ca em farinhas de centeio moídas. O cálcio exerce papel importante nas funções fisiológicas humanas, atuando principalmente na formação e manutenção da estrutura óssea, além de participar de processos como contração muscular, coagulação sanguínea e transmissão nervosa (CASTILHO; ALCÂNTARA; CLEMENTE, 2014).

Os teores de magnésio (Mg) das frações granulométricas da farinha de semente de flamboyant-mirim (FSF) variaram de $1,19 \pm 0,01$ a $2,62 \pm 0,02$ g/kg, valores superiores aos relatados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) e Omode, Fatoki e Olaogun (1995) para sementes de *C. pulcherrima*.

Verificou-se um aumento do teor de Mg com a redução do tamanho das partículas; a fração de 0,710 mm apresentou o menor valor, enquanto a de 0,250 mm exibiu o maior teor. Tendência semelhante foi observada por Deli *et al.* (2020) em farinhas de *Dichrostachys glomerata*, nas quais as partículas mais finas (<180 µm) apresentaram maior concentração de magnésio.

Esse aumento pode estar associado ao maior teor proteico encontrado nas frações mais finas da FSF (Tabela 2), já que Ertop, Bektaş e Atasoy (2020) relataram correlação positiva entre o teor de proteínas e a concentração de Mg em farinhas moídas de cevada, centeio e aveia.

O magnésio desempenha função essencial no organismo, sendo fundamental para a manutenção da saúde cardiovascular e óssea, regulação da função muscular e nervosa, além de contribuir para o fortalecimento do sistema imunológico e o crescimento adequado durante a infância (NDIFE *et al.*, 2020; MARCEL; CHACHA; OFOEDU, 2021).

O potássio (K) foi o macromineral mais abundante nas frações granulométricas da farinha de semente de flamboyant-mirim (FSF), variando entre $6,22 \pm 0,22$ e $12,31 \pm 0,13$ g/kg. Esses valores foram superiores aos relatados por Omode, Fatoki e Olaogun (1995) e semelhantes aos obtidos por Yusuf, Mofio e Ahmed (2007) para sementes de *C. pulcherrima*.

Observou-se um aumento do teor de K com a redução do tamanho das partículas, sendo que a fração 0,710 mm apresentou o menor valor, enquanto as granulometrias 0,355 mm

e 0,250 mm exibiram os maiores teores. Tendência semelhante foi relatada por Deli *et al.* (2020) para a farinha de *Dichrostachys glomerata*, cujas partículas mais finas (<180 µm) apresentaram maior concentração de potássio. Por outro lado, Oyeyinka *et al.* (2021) não observaram diferenças significativas nos valores de K com a redução do tamanho das partículas em massas alimentícias enriquecidas com farinha de amendoim.

O maior teor de K nas partículas mais finas da FSF pode estar associado ao aumento do teor proteico (Tabela 2), conforme também relatado por Ertop, Bektaş e Atasoy (2020), que identificaram correlação positiva entre o conteúdo de proteínas e o teor de potássio em farinhas de centeio moídas em comparação aos grãos inteiros.

O potássio (K⁺) é o principal cátion intracelular do organismo humano e desempenha papel essencial na manutenção da função celular normal. Alterações em sua regulação podem ocasionar distúrbios neuromusculares, gastrointestinais e cardíacos (FERREIRA *et al.*, 2020).

Em relação ao fósforo (P), os teores obtidos nas frações granulométricas da farinha de semente de flamboyant-mirim (FSF) variaram entre $1,74 \pm 0,01$ e $5,59 \pm 0,02$ g/kg, valores superiores aos observados por Yusuf, Mofio e Ahmed (2007) e Sahu *et al.* (2022), que reportaram 56 mg/100 g e 599 mg/100 g, respectivamente, para sementes de *C. pulcherrima*.

Assim como para os demais minerais, verificou-se um aumento no teor de P com a redução do tamanho das partículas, sendo a fração 0,710 mm a de menor valor e a 0,250 mm a de maior concentração. Esse incremento pode estar associado ao aumento do teor proteico observado nas amostras mais finas (Tabela 2), uma vez que Ertop, Bektaş e Atasoy (2020) relataram correlação positiva entre o teor de proteínas e o conteúdo de fósforo em farinhas moídas de cevada, centeio e aveia em comparação aos respectivos grãos inteiros.

O fósforo (P) é um elemento essencial à vida, presente em diversas biomoléculas e processos metabólicos fundamentais, como os ésteres fosfóricos, o ácido desoxirribonucleico (DNA), o ácido ribonucleico (RNA) e os nucleotídeos adenosina trifosfato (ATP) e adenosina difosfato (ADP), desempenhando função vital na manutenção das funções celulares e energéticas (SASABUCHI *et al.*, 2023).

Entre os microminerais, o ferro (Fe) destacou-se nas frações granulométricas da farinha de semente de flamboyant-mirim (FSF), com valores variando de $0,035 \pm 0,00$ a $0,072 \pm 0,00$ g/kg (35 a 72,47 mg/kg). Esses valores foram inferiores aos encontrados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) (178,50 mg/kg), mas superiores aos relatados por Yusuf, Mofio e Ahmed (2007) (21 mg/100 g) e Sahu *et al.* (2022) (8,5 mg/100 g) para sementes de *C. pulcherrima*.

Verificou-se um aumento no teor de Fe com a redução do tamanho das partículas, sendo a fração 0,710 mm a de menor concentração e a 0,250 mm a de maior. Tendência semelhante foi observada por Deli *et al.* (2020) em farinhas de *Dichrostachys glomerata*, nas quais as partículas mais finas apresentaram maiores teores de ferro.

Esse aumento pode estar associado ao maior teor proteico nas partículas menores (Tabela 2), uma vez que Ertop, Bektaş e Atasoy (2020) observaram uma correlação positiva entre proteínas e o teor de Fe em farinhas moídas de cevada, centeio e aveia em comparação aos grãos inteiros. O ferro é essencial à síntese de hemoglobina e enzimas respiratórias, sendo crucial para o transporte de oxigênio e metabolismo energético.

Além disso, foi observada uma correlação positiva e significativa entre o teor de Fe e o conteúdo proteico em grãos de trigo (MORGOUNOV *et al.*, 2007), sugerindo que esse elemento pode estar associado a compostos de alta e baixa massa molecular (SILVA *et al.*, 2010).

O ferro (Fe) se destaca pela sua relevância nutricional e fisiológica, sendo essencial para o transporte e armazenamento de oxigênio e participando de diversas funções metabólicas, como crescimento, imunidade, atividade muscular, resistência óssea e funcionamento do sistema nervoso (BLANCO-ROJO; VAQUERO, 2019; FARINON *et al.*, 2020; RUSU *et al.*, 2021).

Os teores de manganês (Mn) nas frações granulométricas da FSF variaram de $0,005 \pm 0,00$ a $0,016 \pm 0,00$ g/kg (5,59 a 15,39 mg/kg), valores semelhantes aos relatados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008), que observaram 10,35 mg/kg para sementes de *C. pulcherrima*. Assim como para os demais minerais, houve aumento do teor de Mn com a redução do tamanho das partículas, sendo a fração 0,710 mm a de menor valor e a 0,250 mm a de maior concentração.

Essa variação no teor de Mn nas diferentes frações granulométricas da FSF provavelmente está associada ao aumento do teor proteico observado neste estudo (Tabela 2).

Segundo Cu *et al.* (2020), em grãos de cereais, os oligoelementos como Zn, Fe, Mn e Cu encontram-se ligados a proteínas com alta afinidade por metais, incluindo fitato (ácido fítico), ferritina, nicotianamina, fitosideróforos, metaloproteínas e enzimas metalodependentes (como a superóxido dismutase Cu/Zn), além de proteínas de armazenamento.

O manganês (Mn) é um micronutriente essencial, participando de diversas funções fisiológicas, como o metabolismo de lipídios e carboidratos, além de atuar como cofator enzimático em importantes vias bioquímicas (GOLDHABER, 2003; ARAÚJO *et al.*, 2007; SHI *et al.*, 2020).

Os teores de zinco (Zn) nas frações granulométricas da FSF variaram de $0,018 \pm 0,00$ a $0,053 \pm 0,00$ g/kg (18,59 a 53,46 mg/kg), valores semelhantes aos relatados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) (52,20 mg/kg) e superiores aos observados por Omode, Fatoki e Olaogun (1995) (163 μ g/g) para sementes de *C. pulcherrima*. Também foi identificado um aumento no teor de Zn com a redução do tamanho das partículas, sendo a fração 0,710 mm a de menor valor e a 0,250 mm a de maior teor. Esse comportamento foi igualmente relatado em farinhas de *Dichrostachys glomerata* (Deli *et al.*, 2020) e *Prosopis alba* (RODRIGUEZ *et al.*, 2019). Contudo, Oyeyinka *et al.* (2021) não observaram diferenças significativas no conteúdo de Zn em massas alimentícias enriquecidas com farinha de amendoim, mesmo com a redução granulométrica.

O maior teor de zinco (Zn) observado na fração granulométrica mais fina da FSF (0,250 mm) provavelmente está relacionado ao aumento do teor proteico identificado nesta pesquisa (Tabela 2). De acordo com Ertop, Bektaş e Atasoy (2020), existe uma correlação positiva entre o conteúdo de proteínas e o teor de Zn em farinhas moídas de cevada, centeio e aveia, quando comparadas aos respectivos grãos inteiros.

De forma semelhante, diversos autores (OZTURK *et al.*, 2006; CAKMAK *et al.*, 2004; PELEG *et al.*, 2008; MORGOUNOV *et al.*, 2007) também reportaram forte correlação positiva e significativa entre o Zn e o teor proteico em grãos de trigo, reforçando a interdependência entre esses dois componentes.

O zinco é um micronutriente essencial envolvido na síntese de proteínas e na regulação do sistema imunológico, além de participar de processos de crescimento celular e cicatrização tecidual (BHATTACHARYA; MISRA; HUSSAIN, 2016; JAN; SAXENA; SINGH, 2018).

De modo geral, os minerais desempenham papéis essenciais na manutenção da saúde humana, contribuindo para o desenvolvimento e manutenção de tecidos, músculos, células nervosas, ossos e dentes, além de participarem de reações enzimáticas vitais (BHINDER *et al.*, 2020; BHINDER *et al.*, 2021).

As frações granulométricas da FSF apresentaram quantidades relevantes de vários minerais essenciais (Ca, Mg, K, P, Fe, Mn e Zn), sendo que a fração de 0,250 mm se destacou com os maiores teores. No entanto, é importante considerar que o potencial de biodisponibilidade dos minerais em alimentos vegetais não depende apenas do teor total, mas também da forma química e das interações com outros compostos, como os fitatos, que podem reduzir significativamente a absorção de minerais no organismo (OMODE; FATOKI; OLAOGUN, 1995).

3.5 Propriedades funcionais

Os resultados obtidos para as análises de fenólicos totais dos extratos aquosos das frações granulométricas da FSF estão apresentados na Tabela 6, na qual é possível observar que a granulometria influenciou significativamente ($p < 0,05$) o teor de compostos fenólicos totais entre as diferentes frações.

Tabela 6 - Teores de fenólicos totais (mg de EAG/g) dos extratos aquosos das frações granulométricas da farinha de semente de flamboyant-mirim - FSF.

Extrato aquoso	Fenólicos Totais (mg de EAG/g)
	Média ± Desvio Padrão*
0,710 mm	28,28 ± 0,54 d
0,500 mm	53,35 ± 0,76 a
0,355 mm	34,14 ± 0,24 c
0,250 mm	39,00 ± 0,87 b

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d} Letras diferentes na mesma linha evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os teores de fenólicos totais nos extratos aquosos das frações granulométricas da FSF variaram de $28,28 \pm 0,54$ a $53,35 \pm 0,76$ mg EAG/g. Dela Torre *et al.* (2017), que avaliaram extratos metanólicos de *C. pulcherrima* encontraram valores de 270,38, 231,92 e 125,14 µg EAG/mg, respectivamente para folhas, flores e sementes de *Caesalpinia pulcherrima*. Por outro lado, Chanda *et al.* (2010) observaram teores variando de 13,9 a 230,3 mg EAG/g em extratos (hexano, clorofórmio, acetona, metanol e aquoso) de sementes da mesma espécie, enquanto Sahu *et al.* (2022) reportaram 2813 mg EAG/g para extrato em mistura acetona:água.

Entre as frações estudadas, a de 0,500 mm apresentou o maior teor de polifenóis, enquanto a de 0,710 mm mostrou o menor valor ($p < 0,05$). Esse resultado pode estar relacionado ao maior teor de carboidratos nessa fração (Tabela 2), pois, segundo Becker *et al.* (2016), partículas maiores tendem a conter mais carboidratos e menos compostos bioativos.

Não foi observada uma tendência clara de aumento ou diminuição dos teores fenólicos com a redução granulométrica. Contudo, outros autores relatam que o tamanho da partícula pode influenciar a liberação e disponibilidade dos compostos fenólicos. Bressiani *et al.* (2017) verificaram que a redução do tamanho das partículas da farinha de trigo integral aumentou o teor de compostos fenólicos, em razão da maior quebra estrutural, que facilita a liberação dos fenólicos ligados às paredes celulares.

De acordo com Deli *et al.* (2019), partículas de menor tamanho apresentam maior área superficial específica, o que expõe um número maior de moléculas bioativas, favorecendo uma maior taxa de oxidação de compostos antioxidantes.

O aumento nos teores de fenólicos com a redução do tamanho das partículas foi observado em diferentes estudos, como nas farinhas de batata-doce de polpa laranja e roxa (AZEEM; MU; ZHANG, 2021), farinha de semente de quiabo (WAISS *et al.*, 2021) e farinha de inhame (WU *et al.*, 2022). Em contrapartida, Drakos *et al.* (2017), Memon *et al.* (2020) e Oyeyinka *et al.* (2021) relataram uma diminuição dos teores de fenólicos com a redução granulométrica em farinhas de cevada, trigo e massas enriquecidas com farinha de amendoim, respectivamente.

As leguminosas são reconhecidas como fontes importantes de compostos fenólicos bioativos, desempenhando funções fisiológicas e metabólicas essenciais no organismo humano (SINGH *et al.*, 2017). O consumo regular de alimentos ricos em polifenóis está associado a efeitos benéficos à saúde, incluindo atividade anticancerígena, antimicrobiana e anti-inflamatória (SANCHIZ *et al.*, 2019).

Os resultados referentes à capacidade antioxidante *in vitro* frente ao radical DPPH• dos extratos aquosos das diferentes frações granulométricas da FSF estão apresentados na Tabela 7, evidenciando que a granulometria influenciou significativamente ($p < 0,05$) a atividade antioxidante das amostras.

Tabela 7 - Capacidade antioxidante *in vitro* (EC_{50} mg/mL) frente ao radical DPPH• dos extratos aquosos das frações granulométricas da FSF.

Extrato aquoso	Capacidade antioxidante (EC_{50} mg/mL)
	Média \pm Desvio Padrão*
0,710 mm	0,671 \pm 0,006 a
0,500 mm	0,183 \pm 0,004 d
0,355 mm	0,434 \pm 0,008 c
0,250 mm	0,581 \pm 0,004 b

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d} Letras diferentes na mesma coluna evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os teores de capacidade antioxidante dos extratos aquosos das frações granulométricas da FSF variaram de $0,18 \pm 0,00$ a $0,67 \pm 0,01$ mg/mL. Esses resultados estão em consonância com os valores relatados por Chanda *et al.* (2010), que observaram 290 μ g/mL para o extrato aquoso das sementes de *C. pulcherrima*, dentro da faixa obtida neste estudo. De forma semelhante, Dela Torre *et al.* (2017) relataram 123,30 μ g/mL para o extrato metanólico

das sementes da mesma espécie, valor também compatível com os resultados encontrados nesta pesquisa.

De acordo com Alves *et al.* (2014), quanto menor o valor de CE_{50} , maior é o potencial antioxidante do material analisado. Assim, a fração granulométrica de 0,500 mm da FSF apresentou o maior potencial antioxidante ($0,18 \pm 0,00$ mg/mL), enquanto a granulometria de 0,710 mm exibiu o menor potencial ($0,67 \pm 0,01$ mg/mL).

Em estudo semelhante, Chew, Goh e Lim (2009) observaram efeitos antioxidantes mais elevados (0,118 e 0,050 mg/mL) nos extratos hidrometanólicos de flores e folhas de flamboyant-mirim, quando comparados às frações da FSF analisadas neste trabalho.

Não foi observada tendência definida de aumento ou diminuição da capacidade antioxidante entre as amostras, resultado semelhante ao obtido por Savlak, Türker e Yeşilkanat (2016) para farinha de banana verde com diferentes granulometrias. Essa variação nos teores de atividade antioxidante pode estar associada às diferenças nos mecanismos dos ensaios e aos níveis de reatividade dos compostos presentes nos extratos (HIRAWAN *et al.*, 2010; OYEYINKA *et al.*, 2021).

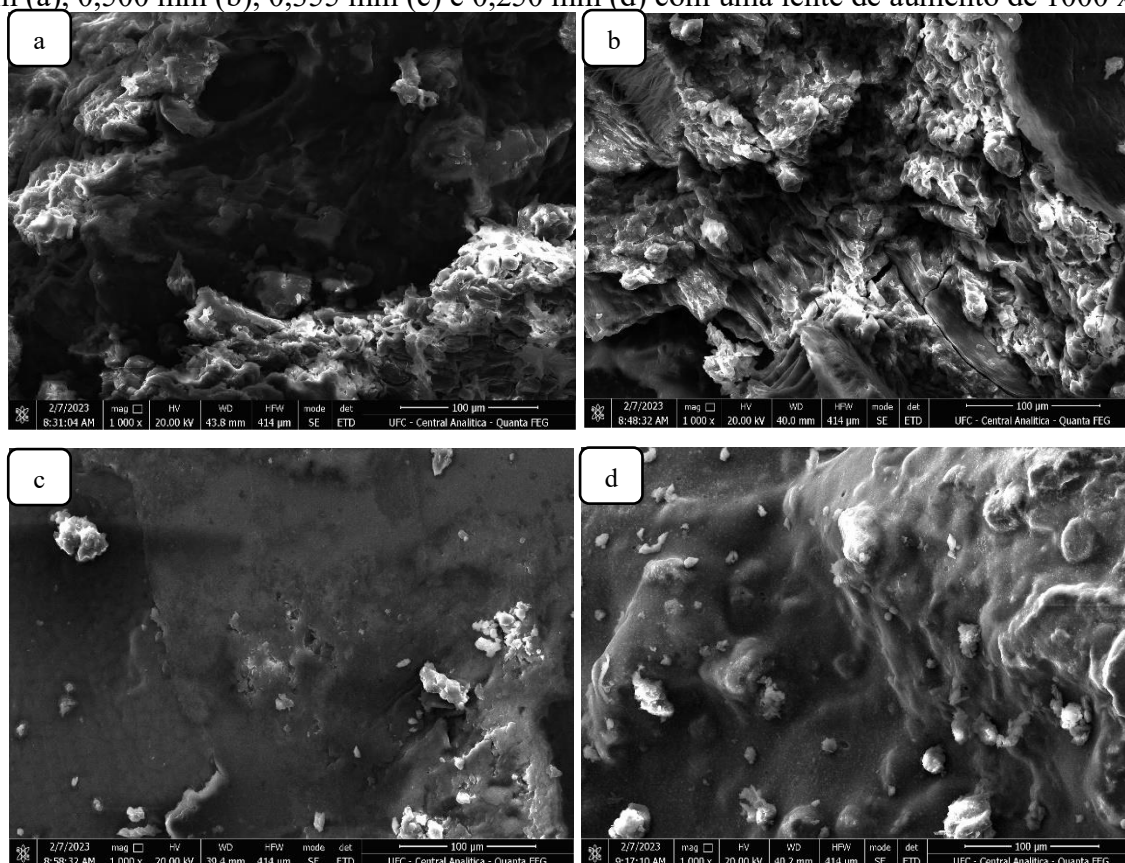
Estudos prévios também relatam comportamentos distintos: Oyeyinka *et al.* (2021) verificaram um aumento da atividade antioxidante com a diminuição do tamanho das partículas em massas enriquecidas com farinha de amendoim bambara, enquanto Sun *et al.* (2019), Azeem, Mu e Zhang (2021) e Wu *et al.* (2022) reportaram tendência semelhante em feijão-preto, farinha de batata-doce e farinha de inhame, respectivamente.

A atividade antioxidante das leguminosas está fortemente associada ao seu conteúdo de compostos fenólicos totais, conforme relatado por Xu, Yuan e Chang (2007) e Singh *et al.* (2017). Nesse contexto, os compostos fenólicos presentes nas frações granulométricas da FSF contribuíram de forma significativa para a atividade antioxidante observada. Esse comportamento está em consonância com a literatura, que aponta que a atividade antioxidante de produtos vegetais é, em grande parte, atribuída à capacidade dos compostos fenólicos (flavonoides, polifenóis e taninos) de neutralizar radicais livres e interromper reações em cadeia de oxidação (RAHMAN; MOON, 2007; DELI *et al.*, 2019).

3.6 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

As micrografias eletrônicas de varredura (MEV) das diferentes frações granulométricas da FSF (Figura 6), obtidas com ampliação de 1000 \times , revelaram variações marcantes na morfologia superficial das partículas.

Figura 6 - Micrografia eletrônica de varredura da FSF com diferentes granulometrias, 0,710 mm (a), 0,500 mm (b), 0,355 mm (c) e 0,250 mm (d) com uma lente de aumento de 1000 x.



Fonte: dados da pesquisa, 2026.

As Figuras 6a a 6d ilustram claramente essas diferenças estruturais, evidenciando que o tamanho da partícula influencia diretamente a integridade e a textura da superfície das amostras. De modo geral, as partículas mais finas apresentaram superfícies mais homogêneas e compactas, enquanto as partículas maiores exibiram maior irregularidade, porosidade e fragmentação, características que refletem o efeito do processo de moagem sobre a estrutura física da farinha.

As partículas das frações de 0,710 mm (Figura 6a) e 0,500 mm (Figura 6b) da FSF apresentaram-se mais porosas em comparação às frações de 0,355 mm (Figura 6c) e 0,250 mm

(Figura 6d), que exibiram superfícies mais compactas e homogêneas. Uma estrutura mesoporosa com poros interconectados semelhante foi relatada na biossíntese de nanopartículas de dióxido de titânio (TiO₂) obtidas a partir de extratos de flores de *Caesalpinia pulcherrima* (DEVILAKA; ABISHARANI; BHARATH, 2021). Já Devi, Selvan e Tamilarasi (2015) observaram poros heterogêneos e superfície relativamente lisa no carvão ativado produzido a partir das vagens de flamboyant-mirim.

Em relação a farinhas vegetais, Ahmed *et al.* (2014) também verificaram que partículas maiores de farinha de abóbora apresentavam maior porosidade em comparação às partículas finas. Gusmão *et al.* (2016) identificaram cavidades estruturais em farinhas de algaroba que podem comprometer a uniformidade de produtos formulados. A homogeneidade das partículas é um aspecto essencial na panificação, pois favorece a distribuição uniforme da água na massa, reduz o tempo de mistura e melhora atributos sensoriais como textura, aparência e sabor (HOSENEY, 2010; GUSMÃO *et al.*, 2016; RODRIGUEZ *et al.*, 2019).

As partículas da FSF apresentaram morfologia variada, incluindo formatos redondos, ovais, retangulares, elipsoidais, esféricos e poliédricos. Observou-se um aspecto esponjoso nas frações de 0,710 mm (Figura 6a) e 0,500 mm (Figura 6b), enquanto as frações de 0,355 mm (Figura 6c) e 0,250 mm (Figura 6d) exibiram formato mais uniforme, partículas menores e alguns aglomerados.

Esses resultados diferem dos observados por Thombre *et al.* (2018), que relataram que as partículas de *Caesalpinia pulcherrima* e de sua forma tiolada apresentaram morfologia esférica com superfícies lisas, sem trincas ou irregularidades.

Na literatura, a morfologia variada de farinhas vegetais tem sido vastamente relatada. Um formato esponjoso foi descrito para a farinha de algaroba (GUSMÃO *et al.*, 2016), enquanto formas poliédricas irregulares foram observadas em farinha de arroz (AHMED; AL-JASSAR; THOMAS, 2015) e partículas esféricas e rugosas em farinha de abóbora (AHMED *et al.*, 2014). Bala *et al.* (2020) também relataram morfologias redondas, ovais e elipsoidais na farinha de ervilha, e Ahmed, Thomas e Arfat (2019) destacaram polígonos irregulares na farinha de quinoa. Já Dhen *et al.* (2016) observaram estruturas mais compactas e rugosas em farinhas de soja com granulometrias maiores.

Além disso, um formato alongado e fibroso foi mais evidente nas frações de 0,710 mm e 0,500 mm, indicando a presença de fibras e minerais — característica já relatada na literatura em diversas farinhas vegetais (AGUILERA *et al.*, 2009; AHMED *et al.*, 2016; BALA *et al.*, 2020; NABIL *et al.*, 2020).

Fragmentos de frações proteicas são comumente observados em farinhas de leguminosas (SOTOMAYOR *et al.*, 1999; DHEN *et al.*, 2016). Uma quantidade significativa de grânulos de amido embutidos em matriz proteica também foi relatada no concentrado de β -D-glucano de cevada (AHMED, 2014).

No presente estudo, observou-se que, em função do processo de moagem, as frações granulométricas de 0,710 mm (Figura 6a) e 0,500 mm (Figura 6b) da FSF apresentaram partículas mais intactas, enquanto as frações de 0,355 mm (Figura 6c) e 0,250 mm (Figura 6d) exibiram partículas mais fraturadas.

De forma semelhante, Boukid *et al.* (2019) destacaram que a moagem de farinhas de leguminosas resulta em uma fração grossa rica em células intactas e em uma fração fina composta majoritariamente por células fraturadas. Além disso, Ahmed *et al.* (2016a) verificaram que o aumento do tamanho das partículas em farinhas de castanha esteve associado ao aumento no tamanho dos agregados, indicando maior número de células preservadas nas partículas maiores.

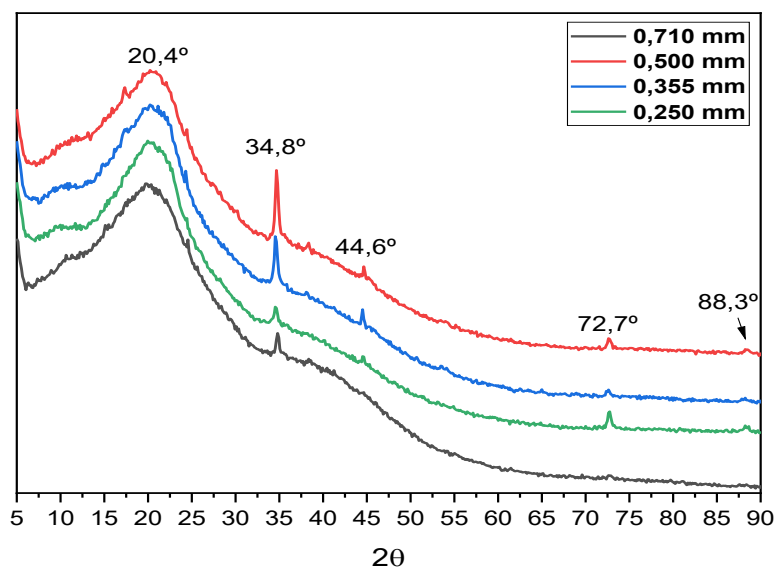
3.7 Análise de difração de raios – X

A difração de raios X (DRX) das frações granulométricas da FSF (Figura 7) revelou padrões característicos de materiais semicristalinos. Todas as amostras apresentaram perfis semelhantes, com um pico de alta intensidade em $2\theta = 20,4^\circ$, indicando a presença de regiões parcialmente ordenadas na estrutura da farinha.

Outros picos de difração foram observados em $2\theta = 34,8^\circ$, $44,6^\circ$, $72,7^\circ$ e $88,3^\circ$, sendo mais pronunciados nas frações de 0,500 mm e 0,355 mm, e menos evidentes nas frações de 0,250 mm e 0,710 mm. Essa distribuição de picos reflete variações sutis no grau de ordenamento cristalino entre as diferentes granulometrias.

O perfil semicristalino é caracterizado pela coexistência de picos definidos de intensidade variada sobre uma base difusa, o que evidencia a presença simultânea de regiões cristalinas e amorfas. Esse comportamento é típico de materiais naturais heterogêneos, como farinhas vegetais, nos quais a organização molecular é parcialmente regular. Assim, a FSF apresenta uma estrutura composta por domínios ordenados intercalados por áreas amorfas, possivelmente relacionadas à interação entre amido, proteínas e outros constituintes da matriz farinácea.

Figura 7 - Difratomogramas de raios-X obtidos da FSF com diferentes granulometrias.



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

A variação observada nos padrões de difração de raios X provavelmente está relacionada à composição heterogênea da FSF, que contém uma ampla variedade de substâncias estruturais (proteínas, polissacarídeos, lipídios e minerais) distribuídas de forma desigual em função do processo de moagem e peneiramento. Essa heterogeneidade contribui para as diferenças de intensidade e definição dos picos detectadas no estudo.

Entre os picos mais proeminentes, destaca-se o sinal em $2\theta = 20,4^\circ$, presente em todas as amostras, indicando a existência de uma fase cristalina predominante que se mantém independente da granulometria. Outros picos em $2\theta = 34,8^\circ$, $44,6^\circ$, $72,7^\circ$ e $88,3^\circ$ foram mais evidentes nas frações de 0,500 mm e 0,355 mm, sugerindo que as partículas intermediárias favorecem a exposição das regiões cristalinas.

As diferenças de nitidez e intensidade dos picos entre as frações estão associadas à redistribuição dos componentes durante a moagem e o peneiramento, resultando em variações físico-químicas e estruturais. As partículas mais finas (0,250 mm) exibiram padrões menos definidos, indicando uma maior proporção de regiões amorfas ou desorganização estrutural causada pelo cisalhamento mecânico durante o processamento.

Além disso, o grau de cristalinidade depende fortemente da natureza da matéria-prima e dos tratamentos aplicados, sejam térmicos, mecânicos ou químicos, que podem promover rearranjos moleculares (aumentando ou reduzindo a organização estrutural). Esses

aspectos são cruciais para determinar o desempenho tecnológico da FSF, especialmente em aplicações que dependem da estabilidade e interação molecular da matriz farinácea.

Conforme Pereira *et al.* (2024), as características intrínsecas do material vegetal e o tipo de processamento exercem influência direta sobre a cristalinidade final, podendo alterar significativamente as propriedades funcionais do produto.

A formação de natureza mais cristalina foi observada nas nanopartículas de TiO_2 biossintetizadas a partir do extrato de flores de *Caesalpinia pulcherrima*, apresentando um pico de alta intensidade em $2\theta = 25,2^\circ$, correspondente ao plano cristalográfico principal, além de outros picos em $2\theta = 37,9^\circ$, $48,2^\circ$, $54,9^\circ$, $55,2^\circ$, $62,6^\circ$, $68,6^\circ$ e $70,0^\circ$ (DEVIKALA; ABISHARANI; BHARATH, 2021).

Diferentemente dos resultados observados nesta pesquisa, Jeevanandham, Dhachinamoorthi e Sekhar (2011) relataram que o padrão de difração de raios X do polissacarídeo extraído das sementes de flamboyant-mirim não apresentou picos característicos, indicando uma estrutura completamente amorfa. Um comportamento semelhante foi observado por Devi, Selvan e Tamilarasi (2015) no carvão ativado obtido da vagem de *C. pulcherrima*, que apresentou amplos picos assimétricos em $2\theta = 24,4^\circ$, típicos de materiais amorfos.

Esses contrastes reforçam a complexidade estrutural da FSF, que pode incluir substâncias com diferentes graus de organização molecular, resultando em uma combinação de regiões cristalinas e amorfas.

Thombre *et al.* (2018) relataram que o difratograma de raios X de *C. pulcherrima* apresentou um padrão amorfo com pico característico em $2\theta = 19,0^\circ$, enquanto o material tiolado derivado da mesma espécie exibiu um pico distinto em $2\theta = 20,01^\circ$, comportamento que difere do observado nesta pesquisa, onde a FSF apresentou picos bem definidos, característicos de estrutura semicristalina.

Em pesquisas realizadas com farinhas vegetais, resultados semelhantes foram relatados. Lima *et al.* (2014) observaram que os difratogramas de raios X das farinhas de sementes de jaca e pitanga apresentaram picos de cristalinidade característicos do amido, enquanto as amostras obtidas de cereja, laranja, melão e pêssgo exibiram apenas halos amorfos, indicando ausência de regiões cristalinas.

De forma semelhante, Qin *et al.* (2021) analisaram a estrutura cristalina da farinha de arroz e verificaram um padrão cristalino do tipo A, caracterizado por picos em $2\theta = 15^\circ$, 17° , 18° e 23° , típicos de estruturas amiláceas com elevado grau de organização molecular.

Por outro lado, Alpizar-Reyes *et al.* (2017), ao estudarem o pó de mucilagem de sementes de tamarindo, identificaram um halo amorfo dominante com banda larga centrada em $2\theta = 20^\circ$, evidenciando uma estrutura predominantemente amorfa. Esses achados reforçam que a cristalinidade das farinhas vegetais depende fortemente da composição química da matéria-prima e dos tratamentos aplicados durante o processamento, o que explica as diferenças observadas entre espécies e entre diferentes granulometrias da FSF.

3.8 Análise de Toxicidade

Os valores médios da CL_{50} (Concentração Letal Média) dos extratos aquosos das frações granulométricas da FSF estão apresentados na Tabela 8. O ensaio revelou $CL_{50} > 5000$ $\mu\text{g/mL}$, ou seja, mais de cinco vezes superior ao limite de 1000 $\mu\text{g/mL}$, o que indica que os extratos aquosos da FSF são atóxicos.

Tabela 8 - Teste de toxicidade das frações granulométricas da farinha da semente de flamboyant-mirim (FSF) por meio do bioensaio de *Artemia salina*.

Extrato aquoso da FSF	Concentração Letal Média - CL_{50} ($\mu\text{g/mL}$)
0,710 mm	>5000
0,500 mm	>5000
0,355 mm	>5000
0,250 mm	>5000

Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

O teste de *A. salina* exerce um papel relevante para a comunidade científica mundial, como organismo-teste para avaliar a atividade biológica e a toxicidade geral de diversos produtos naturais (SANTOS *et al.*, 2023).

De acordo com Meyer *et al.* (1982), amostras que apresentam valores de CL_{50} superiores a 1000 $\mu\text{g/mL}$ são consideradas não tóxicas no bioensaio com *Artemia salina*, o que é um considerável resultado quando se vislumbra uma aplicação alimentar da farinha em estudo.

Há poucos relatos disponíveis sobre estudos de toxicidade de *C. pulcherrima* utilizando o bioensaio com *Artemia salina*. Chanda e Baravalia (2011) avaliaram a toxicidade

de partes aéreas de *C. pulcherrima* por meio do teste com *A. salina* e observaram que o extrato metanólico apresentou CL_{50} de 1.147,60 $\mu\text{g/mL}$, sendo classificado como não tóxico no bioensaio com *A. salina*. Por outro lado, Pawar *et al.* (2009) relataram efeitos tóxicos em extratos de raízes de flamboyant-mirim, também avaliados pelo mesmo método, com CL_{50} de 99,57 $\mu\text{g/mL}$ (aquoso) e 110,89 $\mu\text{g/mL}$ (metanólico), classificando-os como altamente tóxicos.

Conforme Mwangi *et al.* (2015), a classificação toxicológica baseada nos valores de CL_{50} segue o seguinte critério:

- >1000 $\mu\text{g/mL}$ → não tóxico;
- 500–1000 $\mu\text{g/mL}$ → fracamente tóxico;
- 100–500 $\mu\text{g/mL}$ → moderadamente tóxico;
- <100 $\mu\text{g/mL}$ → altamente tóxico.

Dessa forma, os resultados obtidos nesta pesquisa ($CL_{50} > 5000 \mu\text{g/mL}$) confirmam a ausência de toxicidade dos extratos aquosos da FSF pelo teste de *A. salina*.

A toxicidade de extratos vegetais pode variar amplamente em função de fatores ambientais e metodológicos, como o órgão vegetal analisado, o solvente de extração, a época e o local de coleta (KARCHESY *et al.*, 2016).

A avaliação toxicológica é, portanto, etapa essencial para assegurar a segurança e a biocompatibilidade de produtos naturais, permitindo estimar tanto a toxicidade intrínseca quanto os efeitos de superdosagem aguda (NGUTA *et al.*, 2012).

Conforme Meyer *et al.* (1982), o bioensaio com *Artemia salina* apresenta vantagens notáveis: é rápido, simples, de baixo custo e estatisticamente confiável, não requer técnicas assépticas nem equipamentos especializados, e utiliza muitos organismos disponíveis continuamente, tornando-o um método amplamente aceito para triagem preliminar de toxicidade de extratos vegetais.

Embora o teste com *A. salina* seja considerado confiável, é uma avaliação preliminar de toxicidade, sendo importante também a utilização de outras metodologias para assim garantir o uso seguro em humanos (LUSTOSA *et al.*, 2023; TCHEMRA *et al.*, 2022).

3.9 Análise de RMN

A espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) foi utilizada para avaliar a composição química dos extratos obtidos da farinha de sementes de flamboyant-mirim (FSF) com granulometria de 0,250 mm, permitindo a identificação de metabólitos predominantes em diferentes polaridades de solventes.

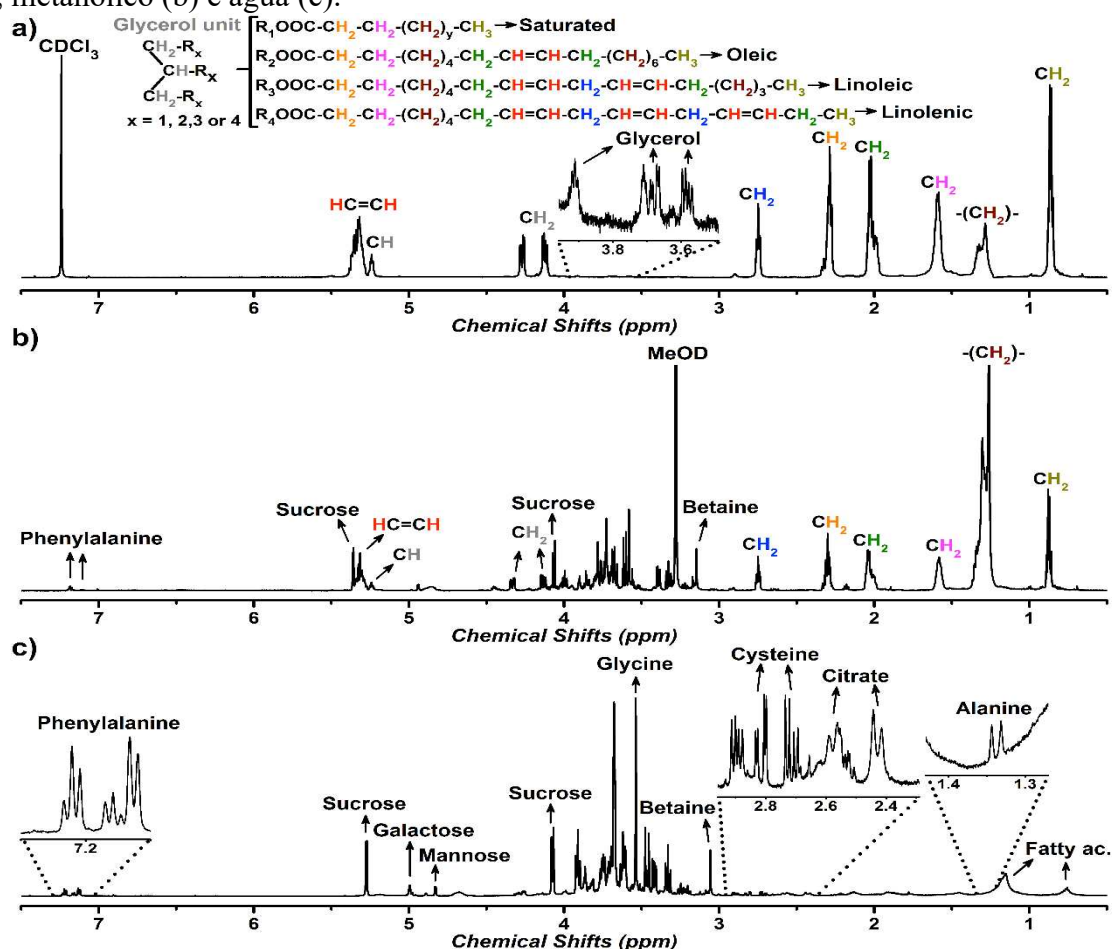
A Figura 8 apresenta os espectros de RMN de ^1H comparativos para os extratos obtidos com clorofórmio (Figura 8a), metanol (Figura 8b) e água (Figura 8c). Cada solvente proporcionou a extração seletiva de diferentes classes de compostos de acordo com sua polaridade. No extrato clorofórmico, observou-se predominância de sinais característicos de triacilgliceróis e ácidos graxos livres — saturados e insaturados — esterificados às unidades de glicerol, os quais representam os principais compostos orgânicos extraídos. Essa identificação foi sustentada pelos deslocamentos químicos típicos entre δ 0,8–2,8 ppm (cadeias alifáticas e grupos metilênicos de ácidos graxos) e δ 4,1–4,3 ppm (prótons do glicerol).

A Figura 8a, em particular, ilustra a estrutura química de uma molécula de triacilglicerol, evidenciando as regiões correspondentes às ligações éster e às cadeias hidrocarbonadas, que foram predominantes nesse tipo de extrato. Os espectros obtidos dos extratos metanólico e aquoso apresentaram perfis distintos, contendo picos adicionais atribuídos a compostos polares, como açúcares redutores, aminoácidos e compostos fenólicos, indicando que o uso de solventes de diferentes polaridades possibilitou a extração complementar de classes químicas variadas da FSF.

Após a análise qualitativa da composição química dos extratos da farinha de sementes de flamboyant-mirim, foi realizada uma avaliação quantitativa por RMN de ^1H (RMNq de ^1H) para quantificar os principais metabólitos identificados.

A Tabela 9 apresenta as concentrações de fenilalanina, ácidos graxos insaturados, sacarose, galactose, manose, unidades de glicerol (associadas à estrutura dos triacilgliceróis), betaína, cisteína, ácido cítrico e alanina nos diferentes extratos.

Figura 8 - Comparação entre os espectros de RMN de ^1H da farinha de sementes de flamboyant-mirim (0,250 mm) considerando os seguintes solventes de extração: clorofórmio (a), metanólico (b) e água (c).



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

Tabela 9 - Concentrações dos compostos orgânicos identificados por RMN de ^1H em mg por 100 mg dos extratos clorofórmico, metanólico e aquoso da farinha de sementes de flamboyant-mirim com granulometria de 0,250 mm.

Compostos identificados	Extratos da FSF		
	Clorofórmico	Metanólico	Aquoso
Ácidos graxos insaturados	12,041 ± 0,138 ^a	2,905 ± 0,022 ^b	-
Unidade de Glicerol	2,438 ± 0,031 ^a	0,605 ± 0,007 ^b	-
Fenilalanina	-	0,157 ± 0,002 ^b	0,664 ± 0,008 ^a
Betaína	-	0,172 ± 0,002 ^b	0,441 ± 0,005 ^a
Cisteína	-	0,228 ± 0,002 ^b	1,361 ± 0,014 ^a
Alanina	-	-	0,216 ± 0,002
Sacarose	-	4,227 ± 0,032 ^b	20,095 ± 0,19 ^a
Galactose	-	-	2,646 ± 0,030
Manose	-	-	1,953 ± 0,017
Ácido cítrico	-	-	1,729 ± 0,018

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b}Letras diferentes na mesma linha evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Essa abordagem quantitativa permitiu identificar variações relevantes na abundância dos compostos entre os solventes utilizados, evidenciando o papel da polaridade do solvente na eficiência de extração de metabólitos específicos. Assim, os resultados da RMNq de ^1H complementam e reforçam as observações qualitativas obtidas nos espectros comparativos, fornecendo uma visão integrada da composição química e potencial funcional dos diferentes extratos da FSF.

Pode ser verificado que, entre os extratos analisados, o extrato aquoso apresentou as maiores concentrações ($p < 0,05$) dos compostos orgânicos identificados, em comparação com os extratos clorofórmico e metanólico. Dentre os compostos detectados, a sacarose destacou-se como a classe dominante, confirmando o caráter polar dos açúcares extraídos nesse meio. Por outro lado, os ácidos graxos insaturados e a unidade de glicerol associada à estrutura dos triacilgliceróis apresentaram-se em maiores proporções no extrato clorofórmico, refletindo a seletividade deste solvente por componentes lipofílicos.

Os ácidos orgânicos, além de exercerem papel fundamental no metabolismo celular (incluindo biossíntese de aminoácidos, produção de energia e resposta fisiológica ao estresse ambiental), também participam ativamente dos mecanismos de adaptação das plantas à deficiência de nutrientes e à tolerância a metais, além de mediarem interações planta-microrganismo na interface raiz-solo (LÓPEZ-BUCIO *et al.*, 2000; FALCO *et al.*, 2017).

Em relação aos ácidos graxos insaturados presentes na FSF, foram determinadas concentrações de $12,041 \pm 0,138$ mg/100 mg para o extrato clorofórmico, contrastando com $2,905 \pm 0,022$ mg/100 mg no extrato metanólico. Já a unidade de glicerol nos triacilgliceróis variou de $0,605 \pm 0,007$ mg/100 mg (extrato metanólico) a $2,438 \pm 0,031$ mg/100 mg (extrato clorofórmico), reforçando o predomínio de lipídios neutros nesse último.

De acordo com Adewuyi e Oderinde (2014), os triglicerídeos são ésteres formados a partir do glicerol e três ácidos graxos, constituindo os principais componentes dos óleos vegetais. Corroborando esses achados, Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) reportaram que o triacilglicerol representou cerca de 86% da fração lipídica nos óleos de sementes de *Caesalpinia pulcherrima*, superando significativamente os teores de lipídios polares, esteróis, diacilgliceróis, monoacilgliceróis, hidrocarbonetos e ácidos graxos livres.

Esses resultados indicam que o perfil lipídico da FSF é composto predominantemente por triacilgliceróis ricos em ácidos graxos insaturados, com potencial

aplicação em formulações alimentícias e biotecnológicas devido à sua estabilidade e funcionalidade química.

Os ácidos graxos saturados e insaturados da semente de flamboyant-mirim têm sido amplamente relatados na literatura. Adewuyi e Oderinde (2014) observaram que o conteúdo de ácidos graxos insaturados do óleo extraído da semente de *Caesalpinia pulcherrima* é de aproximadamente 68,7 g/100 g, valor superior ao encontrado nesta pesquisa, sendo o C18:2 (ácido linoleico) o mais abundante (49,8 g/100 g). De forma semelhante, Chindhanaiselvam *et al.* (2016) verificaram que o bio-óleo da semente apresentou uma maior proporção de ácidos graxos insaturados (66,12%), principalmente linoleico e oleico, em relação aos ácidos graxos saturados (33,88%). Aremu *et al.* (2012) também relataram predominância de ácidos graxos insaturados (monoinsaturados: 20,46%; polinsaturados: 63,71%) sobre os saturados (20,91%), destacando o ácido linoleico e o linolênico como os mais relevantes por serem essenciais ao crescimento, funções fisiológicas e manutenção do organismo.

A fenilalanina, um aminoácido essencial obtido pela dieta, é precursora na síntese de proteínas (WANG; THAMES, 2022). Esse composto foi identificado nos extratos metanólico e aquoso da FSF, com concentrações de $0,157 \pm 0,002$ mg/100 mg e $0,664 \pm 0,008$ mg/100 mg, respectivamente. Valores mais elevados (4,23 g/100 g) foram reportados por Aremu *et al.* (2012) na farinha da semente de *C. pulcherrima*.

A betaína, por sua vez, um aminoácido não essencial presente em plantas, animais e microrganismos e naturalmente abundante em beterrabas, espinafre, farelo e gérmen de trigo, apresentou maior concentração no extrato aquoso ($0,441 \pm 0,005$ mg/100 mg) e menor no extrato metanólico ($0,172 \pm 0,002$ mg/100 mg). Graham *et al.* (2009) encontraram teores superiores, com destaque para a camada de aleurona do trigo (1553,44 mg/100 g), seguida pelo farelo (866,94 mg/100 g) e pela fração de farinha (23,30 mg/100 g).

A cisteína, um aminoácido não essencial envolvido na formação estrutural de proteínas (CANFIELD; BRADSHAW, 2019), apresentou maior teor no extrato aquoso ($1,361 \pm 0,014$ mg/100 mg) em comparação ao metanólico ($0,228 \pm 0,002$ mg/100 mg). A alanina, também não essencial e exclusivamente glicogênica, atua na formação proteica e no metabolismo energético (CANFIELD; BRADSHAW, 2019). Esse aminoácido foi detectado apenas no extrato aquoso, com 0,216 mg/100 mg, sendo que Aremu *et al.* (2012) relataram teores mais elevados (4,09 g/100 g) na farinha da semente.

Por fim, a sacarose, dissacarídeo largamente distribuído em vegetais fotossintetizantes e de grande importância nutricional (BOBBIO; BOBBIO, 2003), apresentou maior concentração no extrato aquoso ($20,095 \pm 0,19$ mg/100 mg) e menor no metanólico ($4,227 \pm 0,032$ mg/100 mg), confirmando o caráter altamente polar dos açúcares e a eficiência do solvente aquoso para sua extração.

Nas sementes de leguminosas, a sacarose representa cerca de 0,3 a 2,9% do peso total da semente. No entanto, algumas espécies apresentam teores mais elevados (15 a 20%), nos quais o acúmulo de sacarose ocorre em outras partes aéreas do vegetal, como os colmos da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L., Poaceae) e as raízes da beterraba (*Beta vulgaris*, Amaranthaceae) (RALET *et al.*, 2005; SIMPSON; OGORZALY, 2001; SASAKI, 2008; ALVES, 2013).

A galactose e a manose foram identificadas apenas no extrato aquoso da FSF, com concentrações de $2,646 \pm 0,030$ mg/100 mg e $1,953 \pm 0,017$ mg/100 mg, respectivamente. Marques *et al.* (2019) verificaram que a galactomanana extraída das sementes de *Caesalpinia pulcherrima* é composta por 63,4% de manose e 29,1% de galactose. A relação manose/galactose (M/G) constitui uma das principais características bioquímicas dos polissacarídeos provenientes do endosperma das sementes, e suas variações monoméricas conferem propriedades físico-químicas distintas, como diferenças na massa específica, solubilidade e viscosidade das soluções (AZERO; ANDRADE, 2002; ANDRADE *et al.*, 1999; ROSA *et al.*, 2009; ALVES, 2013).

O ácido cítrico é um ácido tricarbóxico orgânico fraco amplamente encontrado em frutas cítricas (como limões, laranjas e tomates) e também em raízes e tubérculos, como a beterraba. É um metabólito natural de plantas e animais e possui alta importância industrial por atuar como conservante e acidulante em alimentos e fármacos, além de apresentar sabor ácido característico (LENDE; KAREMORE; UMEKAR, 2021). Na FSF, o ácido cítrico foi detectado no extrato aquoso, com concentração de $1,729 \pm 0,018$ mg/100 mg, confirmando a presença de metabólitos orgânicos de baixo peso molecular com potencial funcional e antioxidante.

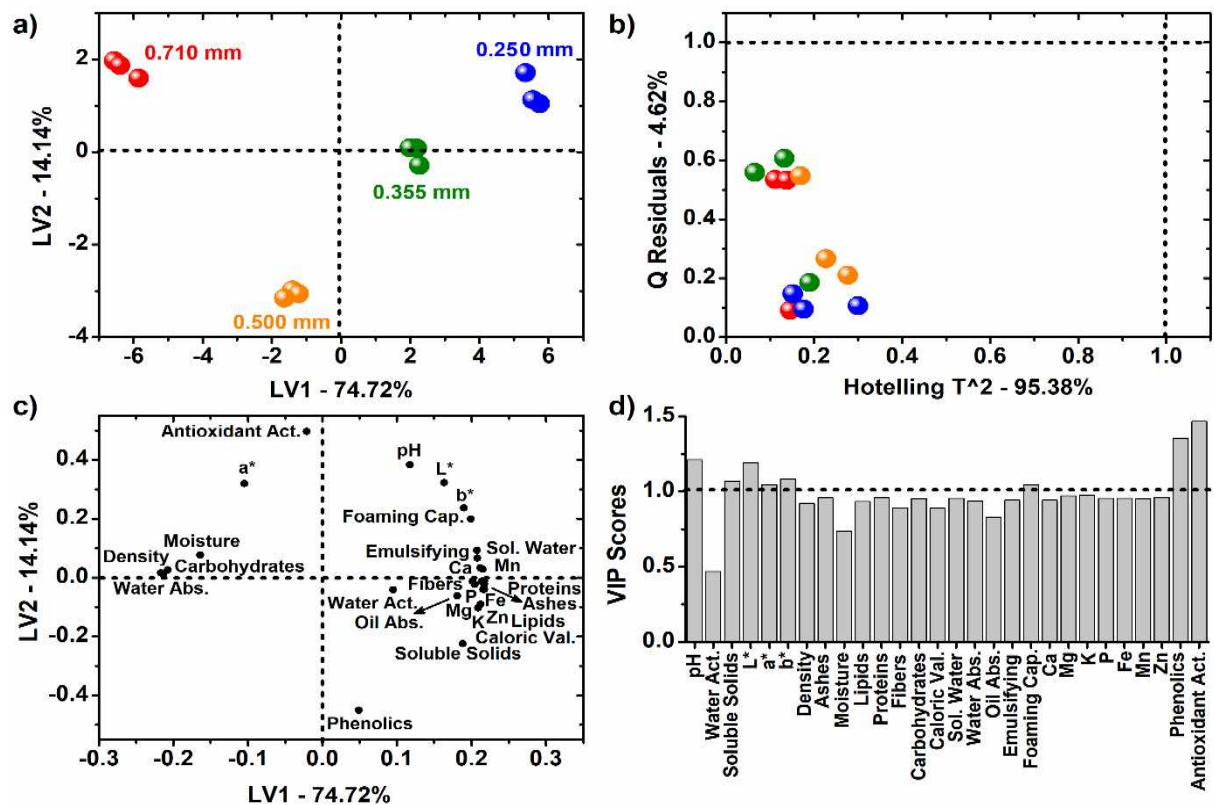
3.10 Análise estatística multivariada

Foi aplicada análise multivariada supervisionada por PLS-DA para investigar a variabilidade de 28 variáveis (pH, atividade de água, sólidos solúveis, L*, a*, b*, densidade

aparente, cinzas, umidade, lipídios, proteínas, fibras, carboidratos, valor calórico, índice de solubilidade em água, capacidade de absorção de água, capacidade de absorção de óleo, atividade emulsificante, capacidade de formação de espuma, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, ferro, manganês, zinco, fenólicos e atividade antioxidante) em amostras de FSF com diferentes granulometrias (0,250; 0,355; 0,500; e 0,710 mm).

A Figura 9a apresenta o gráfico de escores (LV1 × LV2); a Figura 9b, o Hotelling $T^2 \times$ resíduos-Q; a Figura 9c, o gráfico de pesos (LV1 × LV2); e a Figura 9d, os valores de VIP (Importância das Variáveis na Projeção).

Figura 9 - Resultados do PLS-DA da classificação das amostras de acordo com a granulometria: a) sistema de coordenadas de escores (LV1 × LV2); b) Hotelling $T^2 \times$ resíduos-Q; c) pesos (LV1 × LV2); e d) VIP.



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

Conforme ilustrado na Figura 9a, observaram-se tendências claras de agrupamento das amostras no gráfico de escores, evidenciando que a granulometria aumentou progressivamente de escores positivos para negativos de LV1. Essa separação demonstra que a análise PLS-DA foi eficiente na discriminação das amostras de FSF de acordo com o tamanho das partículas.

De acordo com o gráfico de pesos (Figura 9c), o aumento da granulometria esteve associado ao incremento de densidade aparente, umidade, carboidratos, capacidade de absorção de água, componente de cor a, fenólicos e atividade antioxidante. Em contrapartida, amostras com menor granulometria exibiram valores mais altos de pH, atividade de água, sólidos solúveis, L*, b*, cinzas, lipídios, proteínas, fibras, valor calórico, índice de solubilidade em água, capacidade de absorção de óleo, atividade emulsificante, capacidade de formação de espuma e minerais (Ca, Mg, K, P, Fe, Mn e Zn).

O eixo LV2 reforçou essas tendências, mostrando que, entre as farinhas de granulometria elevada (0,500 e 0,710 mm) (ambas situadas em escores negativos de LV1), a amostra 0,710 mm apresentou maiores valores de EC₅₀, o que indica menor potencial antioxidante, enquanto a amostra 0,500 mm apresentou maior teor de compostos fenólicos. Além disso, os valores de VIP (Figura 9d) apontaram que as variáveis com maior relevância discriminante entre as amostras foram pH, sólidos solúveis, L*, a*, b*, capacidade de formação de espuma, fenólicos totais e capacidade antioxidante, evidenciando que essas propriedades são determinantes na diferenciação das farinhas segundo o tamanho das partículas.

Por fim, o gráfico de Hotelling T² × resíduos-Q (Figura 9b) demonstrou ausência de amostras anômalas, uma vez que nenhuma ultrapassou o limite de confiança (1,0), confirmando a qualidade estatística do modelo e a homogeneidade das observações incluídas na análise.

As Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 corroboraram e complementaram a variabilidade dos parâmetros identificada pela modelagem de classificação multivariada (PLS-DA). Esses resultados reforçam a coerência entre os dados univariados e multivariados, demonstrando que a granulometria exerce influência significativa sobre as propriedades físico-químicas, tecnológicas e funcionais da farinha de semente de flamboyant-mirim (FSF).

Além disso, os resultados da ANOVA confirmaram a significância estatística ($p < 0,05$) das variações observadas para pH, sólidos solúveis, parâmetros de cor (L*, a*, b*), capacidade de formação de espuma, fenólicos totais e capacidade antioxidante, as quais são as mesmas variáveis destacadas pela análise VIP como as mais relevantes para a discriminação das amostras.

Esses achados demonstram a robustez do modelo estatístico e a consistência entre as análises univariadas e multivariadas, indicando que as propriedades químicas e funcionais da FSF estão intimamente relacionadas ao tamanho das partículas e que a integração dessas técnicas analíticas permite uma compreensão mais abrangente das diferenças estruturais e composicionais entre as amostras.

4 CONCLUSÃO

As diferentes frações granulométricas da FSF apresentaram propriedades físico-químicas, tecnológicas e bioativas distintas, com destaque para a fração de 0,250 mm, que reúne características desejáveis para aplicação industrial. A fração de 0,250 mm destacou-se por apresentar maiores teores de cinzas, lipídios, proteínas, fibras e valor calórico, além de concentrações elevadas de minerais como Ca, Mg, K, P, Fe, Mn e Zn. Essa granulometria também demonstrou melhores propriedades tecnológicas, incluindo maiores índices de absorção de água, capacidade de absorção de óleo, capacidade de formação de espuma, atividade emulsificante e propriedades gelificantes, evidenciando potencial promissor para aplicação em formulações alimentícias funcionais e produtos de panificação.

A granulometria de 0,500 mm destacou-se pelo maior teor de compostos fenólicos totais e melhor capacidade antioxidante, sugerindo maior concentração de metabólitos bioativos nesta fração. As análises morfológicas por MEV revelaram partículas de formas variadas, enquanto os padrões de DRX confirmaram uma estrutura semicristalina típica de materiais vegetais. Os ensaios de toxicidade indicaram ausência de toxicidade no bioensaio com *Artemia salina*.

Além disso, a análise por RMN de ¹H identificou diversos compostos orgânicos relevantes, como aminoácidos, açúcares, ácidos graxos e metabólitos associados ao valor nutricional e funcional da farinha, com variações conforme o solvente de extração. A análise estatística multivariada (PLS-DA) evidenciou que as variáveis mais relevantes para a discriminação das amostras foram pH, sólidos solúveis, L*, a*, b*, capacidade de formação de espuma, fenólicos totais e capacidade antioxidante, demonstrando coerência com os resultados obtidos por ANOVA e análises instrumentais.

De modo geral, os resultados indicam que a FSF, especialmente na granulometria de 0,250 mm, apresenta elevado potencial de aplicação como ingrediente alternativo na indústria de alimentos, contribuindo para o desenvolvimento de produtos de panificação com maior valor nutricional e para o aproveitamento de leguminosas não convencionais.

REFERÊNCIAS

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of American Association of Cereal Chemists**. 10. ed. St. Paul: AAAC, 2000. v. 2.

ADEWUYI, A.; ODERINDE, R. A. Fatty acid composition and lipid profile of *Diospyros mespiliformis*, *Albizia lebbek*, and *Caesalpinia pulcherrima* seed oils from Nigeria. **International journal of food science**, 2014.

AGUILERA, Y.; ESTEBAN, R.M.; BENITEZ, V.; MOLLA, E.; MARTIN-CABREJAS, M.A. Starch functional properties and microstructural characteristics in chickpea and lentil as affected by thermal processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 10682-10688, 2009.

AHMED, J.; AL-ATTAR, H.; ARFAT, Y. A. Effect of particle size on compositional, functional, pasting and rheological properties of commercial water chestnut flour. **Food Hydrocolloids**, v. 52, p. 888-895, 2016.

AHMED, J.; THOMAS, L.; ARFAT, Y. A. Functional, rheological, microstructural and antioxidant properties of quinoa flour in dispersions as influenced by particle size. **Food Research International**, v. 116, p. 302–311, 2019.

AHMED, J.; TAHER, A.; MULLA, M. Z.; AL-HAZZA, A.; LUCIANO, G. Effect of sieve particle size on functional, thermal, rheological and pasting properties of Indian and Turkish lentil flour. **Journal of Food Engineering**, v. 186, p. 34-41, 2016.

AHMED, J.; AL-JASSAR, S.; THOMAS, L. A comparison in rheological, thermal, and structural properties between Indian Basmati and Egyptian Giza rice flour dispersions as influenced by particle size. **Food Hydrocolloids**, v. 48, n. 1, p. 72-83, 2015.

AHMED, J.; THOMAS, L.; AL-ATTAR, H. Oscillatory Rheology and Creep Behavior of Barley β -D-glucan Concentrate Dough: Effect of Particle Size, Temperature, and Water Content. **Journal of Food Science**, v. 80, 2015.

AHMED, J.; AL-FOUDARI, M.; AL-SALMAN, F.; ALMUSSALAM, A. S. Effect of particle size and temperature on rheological, thermal, and structural properties of pumpkin flour dispersion. **Journal of Food Engineering**, v. 124, n. 1, p. 43–53, 2014.

AHMED, J. Effect of particle size and temperature on rheology and creep behavior of barley β -d-glucan concentrate dough. **Carbohydrate Polymers**, v. 111, n. 1, p. 89–100, 2014.

ALPIZAR-REYES, E.; CARRILLO-NAVAS, H.; GALLARDO-RIVERA, R.; VARELA-GUERRERO, V.; ALVAREZ-RAMIREZ, J.; PÉREZ-ALONSO, C. Functional properties and physicochemical characteristics of tamarindo (*Tamarindus indica* L.) seed mucilage powder as a novel hydrocolloid. **Journal of Food Engineering**, v. 209, n. 1, p. 68-75, 2017.

ALUKO, R. E.; MOFOLASAYO, O. A.; WATTS, B. M. Emulsifying and Foaming Properties of Commercial Yellow Pea (*Pisum sativum* L.) Seed Flours. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 1, p. 9793–9800, 2009.

ALVES FILHO, E.G.; SILVA, L.M.; TEOFILO, E.M.; LARSEN, F.H.; BRITO, E. S. 1H NMR spectra dataset and solid-state NMR data of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Data in brief**, v. 11, p. 136-146, 2017.

ALVES, M. J.; MOURA, A. K. S.; COSTA, L. M.; ARAÚJO, E. J. F.; SOUSA, G. M.; COSTA, N. D. J.; FERREIRA, M. P. M.; SILVA, J. N.; PESSOA, C.; LIMA, S. G.; CITÓ, A. M. G. L. Teor de fenóis e flavonoides, atividades antioxidante e citotóxica das folhas, frutos, cascas dos frutos e sementes de *Piptadenia moniliformis* Benth (Leguminosae – Mimosoideae). **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, v. 13, n. 5, p. 466 – 476, 2014.

ALVES, R. C. **Caracterização de gomas extraídas de seis tipos de sementes de leguminosas**. 2013. 115f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

AMADEU, C.A.A. **Produção de farinhas compostas a base de farinha de trigo com subprodutos da indústria de extração de óleo de Cártamo (*Carthamus tinctorius*) e Girassol (*Helianthus annuus*) a partir do processo de extrusão e mistura convencional**. 2023.155f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, São Paulo, 2023.

ANDRADE, C. T.; AZERO, E. G.; LUCIANO, L.; GONÇALVES, M. P. Solution properties of the galactomannans extracted from the seeds of *Caesalpinia pulcherrima* and *Cassia javanica*: comparison with locust bean gum. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 26, p. 181-185, 1999.

AOAC, ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. 16. ed. Arlington: AOAC, 2005.

ARAUJO, R. G. O.; DIAS, F. S.; MACEDO, S. M.; SANTOS, W. N. L.; FERREIRA, S. L. C. Method development for the determination of manganese in wheat flour by slurry sampling flame atomic absorption spectrometry. **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 397–400, 2007.

AREMU, M. O.; BAMIDELE, T. O.; NWEZE, C. C.; IDRIS, I. M. Chemical evaluation of Prides of Barbados (*Caesalpinia pulcherrima*) seeds grown in Gudi, Nasarawa State, Nigeria. **International Journal of Chemical Science**, v. 5, n. 1, p. 29-34, 2012.

ATIENZA, A. A.; AROLLADO, E. C.; MANALO, R. A. M.; TOMAGAN, L. B.; DELA TORRE, G. L. T. Antioxidant Activity and Minimum Inhibitory Concentration of the Crude Methanolic Extract of *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz. **Der Pharma Chemica**, v. 8, n. 17, p. 99-104, 2016.

AZEEM, M.; MU, T. H.; ZHANG, M. Influence of particle size distribution on nutritional composition, microstructural and antioxidant properties of orange and purple-fleshed sweet potato flour. **Journal of Food Processing and Preservation**., v. 45, n. e15283, p. 1-12, 2021.

AZEEZ, S. O.; CHINMA, C. E.; BASSEY, S. O.; EZZE, U. R.; MAKINDE, A. F.; SAKARIYAH, A. A.; OKUBANJO, S. S.; DANBABA, N.; ADEBO, O. A. Impact of

germination alone or in combination with solid-state fermentation on the physicochemical, antioxidant, in vitro digestibility, functional and thermal properties of brown finger millet flours. **LWT - Food Science and Technology**, v. 154, n. 112734, p. 1-9, 2022.

AZERO, E. G.; ANDRADE, C. T. Testing procedures for galactomannan purification. **Polymer Testing**, v. 21, p. 551-556, 2002.

BALA, M.; HANDA, S.; MRIDULA, D.; SINGH, R. K. Physicochemical, functional and rheological properties of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) flour as influenced by particle size. **Heliyon**, v. 6, n. e05471, p. 1-10, 2020.

BECKER, L.; ZAITER, A.; PETIT, J.; ZIMMER, D.; KARAM, M.C.; BAUDELAIRE, E.; SCHER, J.; DICKO, A. Improvement of antioxidant activity and polyphenol content of *Hypericum perforatum* and *Achillea millefolium* powders using successive grinding and sieving. **Industrial Crops and Products**, v. 87, p. 116–123, 2016.

BENÍTEZ, V.; CANTERA, S.; AGUILERA, Y.; MOLLÁ, E.; ESTEBAN, R. M.; DÍAZ, M. F.; MARTÍN-CABREJAS, M. A. Impact of germination on starch, dietary fiber and physicochemical properties in non-conventional legumes. **Food Research International**, v. 50, n. 1, p. 64–69, 2013.

BHATTACHARYA, P. T.; MISRA, S. R.; HUSSAIN, M. Nutritional aspects of essential trace elements in oral health and disease: An extensive review. **Scientifica**, v. 1, n. 1, p. 1–12, 2016.

BHINDER, S.; KAUR, A.; SINGH, B.; YADAV, M. P.; SINGH, N. Proximate composition, amino acid profile, pasting and process characteristics of flour from different Tartary buckwheat varieties. **Food Research International**, v. 130, n. 108946, p. 1-13, 2020.

BHINDER, S.; KUMARI, S.; SINGH, B.; KAUR, A.; SINGH, N. Impact of germination on phenolic composition, antioxidant properties, antinutritional factors, mineral content and Maillard reaction products of malted quinoa flour. **Food Chemistry**, v. 346, n. 128915, p. 1-12, 2021.

BOLADE, M. K.; ADEYEMI, I. A.; OGUNSUA, A. O. Influence of particle size fractions on the physicochemical properties of maize flour and textural characteristics of a maize-based nonfermented food gel. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 646–655, 2009.

BORGES, M. V.; SOUSA, E. B.; SILVEIRA, A. R. M.; ALVES, V. M.; NUNES, L. B. M.; BARROS, S. K. A. Propriedades físico-químicas e tecnológicas da farinha do resíduo de açaí e sua utilização. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, e17810514517, p. 1-11, 2021.

BOUKID, F.; VITTADINI, E.; LUSUARDI, F.; GANINO, T.; CARINI, E.; MORREALE, F.; PELLEGRINI, N. Does cell wall integrity in legumes flours modulate physiochemical quality and in vitro starch hydrolysis of gluten-free bread? **Journal of Functional Foods**, v. 59, n. 1, p. 110–118, 2019.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 28, p. 25-30,

1995.

BRASIL. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – NEPA. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. 4. ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 161 p, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 711, de 6 de julho de 2022. Dispõe sobre o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2022.

BRESSIANI, J.; ORO, T.; SANTETTI, G. S.; ALMEIDA, J. L.; BERTOLIN, T. E.; GÓMEZ, M.; GUTKOSKI, L. C. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. **Journal of Cereal Science**, v. 75, n. 1, p. 269-277, 2017.

BREWER, L. R.; KUBOLA, J.; SIRIAMORNUN, S.; SHI, Y. C. Distribution of antioxidants and phenolic compounds in flour milling fractions from hard red winter wheat. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 7, p. 71–78, 2024.

BURITI, F. C. A.; SANTOS, K. M. O.; SOMBRA, V. G.; MACIEL, J. S.; TEIXEIRA SÁ, D. M. A.; SALLES, H. O.; OLIVEIRA, G.; PAULA, R. C. M.; FEITOSA, J. P. A.; MOREIRA, A. C. O. M.; MOREIRA, R. A.; EGITO, A. S. Characterisation of partially hydrolysed galactomannan from *Caesalpinia pulcherrima* seeds as a potential dietary fibre. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 512-521, 2014.

BUSTILLOS-RODRÍGUEZ, J. C.; ORDÓÑEZ-GARCÍA, M.; TIRADO-GALLEGOS, J. M.; ZAMUDIO -FLORES, P. B.; ORNELAS-PAZ, J. J.; ACOSTA-MUÑIZ, C. H.; GALLEGOS-MORALES, G.; PÁRAMO-CALDERÓN, D. E.; RIOS-VELASCO, C. Physicochemical, thermal and rheological properties of three native corn starches. **Food Science and Technology**, v. 39, n. 1, p. 149-157, 2019.

CAI, M.; SHEN, C.; LI, Y.; XIONG, S.; LI, F. Effects of particle size on quality characteristics of stone-milled whole wheat flour. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, n. 1, p. 2483–2491, 2023.

CAIRANO, M.; CONDELLI, N.; CARUSO, M. C.; MARTI, A.; CELA, N.; GALGANO, F. Functional properties and predicted glycemic index of gluten free cereal, pseudocereal and legume flours. **LWT - Food Science and Technology**, v. 133, n. 109860, p. 1-7, 2020.

CAKMAK, I.; TORUN, A.; MILLET, E.; FELDMAN, M.; FAHIMA, T.; KOROL, A.; NEVO, E.; BRAUN, H.J.; OZKAN, H. *Triticum dicoccoides*: an important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 50, n. 1, p. 1047–1054, 2004.

CANFIELD, C. A.; BRADSHAW, P. C. Amino acids in the regulation of aging and aging-related diseases. **Translational Medicine of Aging**, v. 3, n. 1, p. 70-89, 2019.

CAPELLI, A.; CARLESINI, F.; PAGANONI, C.; CIVIDINO, S.; MASELLA, P.; ZANINELLI, M. Assessing the effects of flour particle size distribution to improve dough rheological properties and whole wheat rusks characteristics: A case study on industrial pilot plant.

Journal of Cereal Science, v. 122, n. 1, p. 104-119, 2025.

CARVALHO, P. O. A. A.; GUERRA, G. C. B.; BORGES, G. S. C.; BEZERRIL, F. F.; SAMPAIO, K. B.; RIBEIRO, T. S.; PACHECO, M. T. B.; MILANI, R. F.; ÁVILA, P. F.; LIMA, M. S.; SOUZA, M. F. V.; QUEIROGA, R. C. R. E. Nutritional potential and bioactive compounds of xique-xique juice: An unconventional food plant from Semiarid Brazilian. **Journal of Food Processing and Preservation**., v. 45, n. e15265, p. 1-10, 2021.

CASTILHO, L. G.; ALCANTARA, B. M.; CLEMENTE, E. Desenvolvimento e análise físico-química da farinha da casca, da casca *in natura* e da polpa de banana verde das cultivares maçã e prata. **e-xacta**, v. 7, n. 2, p. 107-114, 2014.

CHANDRA, S.; SINGH, S.; KUMARI, D. Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. **Journal of Food Science and Technology**., v. 52, n. 6, p. 3681–3688, 2015.

CHANDA, S.; BARAVALIA, Y. Brine shrimp cytotoxicity of *Caesalpinia pulcherrima* aerial parts, antimicrobial activity and characterisation of isolated active fractions. **Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters**, v. 25, n. 20, p. 1955-1964, 2011.

CHANDA, S.; PAREKH, J.; BARAVALIA, Y.; PAREKH, S. Antimicrobial and antioxidant efficacy of various solvent extracts of seeds and fruits rind of *Caesalpinia pulcherrima* Swartz, **Archives of Clinical Microbiology** , v. 1, n. 4:5, 2010.

CHENG, Y. F.; BHAT, R. Functional, physico chemical and sensory properties of novel cookies produced by utilizing under utilized jering (*Pithecellobium jiringa* Jack.) legume flour. **Food Bioscience**, 14: 54–61, 2016.

CHEW, Y. L.; GOH, J. K.; LIM, Y. Y. Assessment of in vitro antioxidant capacity and polyphenolic composition of selected medicinal herbs from Leguminosae family in Peninsular Malaysia. **Food Chemistry**, v. 116, n. 1, p. 13–18, 2009.

CHIANG, L. C.; CHIANG, W.; LIU, M. C.; LIN, C. C. In vitro antiviral activities of *Caesalpinia pulcherrima* and its relates flavonoids. **The Journal of Antimicrobial Chemotherapy**., v. 52, n. 1, p. 194-198, 2003.

CHINDHANAISELVAM, A. K.; ABRAHAM, A. P. J.; SUBRAMANIAN, N.; MAHENDRADAS, D. K. Bio-oil extraction and physicochemical characterization of *Caesalpinia pulcherrima* plant seed oil. **Energy Sources, Part A: Recovery, utilization, and environmental effects**, v. 38, n. 19, p. 2823–2829, 2016.

CHINMA, C. E.; ABU, J. O.; ASIKWE, B. N.; SUNDAY, T.; ADEBO, O. A. Effect of germination on the physicochemical, nutritional, functional, thermal properties and in vitro digestibility of Bambara groundnut flours. **LWT - Food Science and Technology**, v. 140, n. 110749, p. 1-11, 2021.

COFFMANN, G. W. O.; GARCIA, V. V. Functional properties and amino acid content of protein isolate from mungbean flour. **Journal of Food Science and Technology**, v. 12, p. 423-477, 1997.

CU, S. T.; GUILD, G.; NICOLSON, A.; VELU, G.; SINGH, R.; STANGOULIS, J. Genetic dissection of zinc, iron, copper, manganese and phosphorus in wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and rachis at two developmental stages. **Plant Science**, v. 291, n. 110338, p. 1-12, 2020.

DELA TORRE, G. L. T.; AROLLADO, E. C.; ATIENZA, A. A.; MANALO, R. A. M. Evaluation of Antioxidant Capacity and Identification of Bioactive Compounds of Crude Methanol Extracts of *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz. **Indian Journal of Pharmacy Science**, v. 79, n. 1, p. 113-123, 2017.

DELI, M.; BAUDELAIRE, E. D.; NGUIMBOU, R. M.; YANOU, N. N.; SCHER, J. Micronutrients and in vivo antioxidant properties of powder fractions and ethanolic extract of *Dichrostachys glomerata* Forssk. Fruits. **Food Science & Nutrition**, v. 8, p. 3287–3297, 2020.

DELI, M.; NDJANTOU, E. B.; METSAGANG, J. T. N.; PETIT, J.; YANOU, N. N.; SCHER, J. Successive grinding and sieving as a new tool to fractionate polyphenols and antioxidants of plants powders: Application to *Boscia senegalensis* seeds, *Dichrostachys glomerata* fruits, and *Hibiscus sabdariffa* calyx powders. **Food Science & Nutrition**, v. 7, p. 1795–1806, 2019.

DEVI, R. S.; SELVAN, C. S. A.; TAMILARASI, M.; Preparation and Characterization of Activated Carbon from *Caesalpinia pulcherrima* Pod. **Journal of Environmental Nanotechnology**, v. 4, n. 2, p. 19-22, 2015.

DEVILAKA, S.; ABISHARANI, J. M.; BHARATH, M. Biosynthesis of TiO₂ nanoparticles from *Caesalpinia pulcherrima* flower extracts. **Materials Today: Proceedings**, v. 40, n.1, p. S185–S188, 2021.

DHEN, N.; ROMÁN, L.; REJEB, I. B.; MARTÍNEZ, M. M.; GAROUGORI, M.; GÓMEZ, M. Particle size distribution of soy flour affecting the quality of enriched gluten-free cakes. **LWT - Food Science and Technology**, v. 66, n. 1, p. 179-185, 2016.

DOBRIJEVIĆ, D.; PASTOR, K.; NASTIĆ, N.; ÖZOGUL, F.; KRULJ, J.; KOKIĆ, B.; BARTIKIENE, E.; ROCHA, J. M.; KOJIĆ, J. Betaine as a Functional Ingredient: Metabolism, Health-Promoting Attributes, Food Sources, Applications and Analysis Methods. **Molecules**, v. 28, n. 4824, p. 2-22, 2023.

DRAKOS, A.; KYRIAKAKIS, G.; EVAGELIOU, V.; PROTONOTARIOU, S.; MANDALA, I.; RITZOULIS, C. Influence of jet milling and particle size on the composition, physicochemical and mechanical properties of barley and rye flours. **Food Chemistry**, v. 215, n. 1, p. 326–332, 2017.

DU, S. K.; JIANG, H.; YU, X.; JANE, J. L. Physicochemical and functional properties of whole legume flour. **LWT - Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 308-313, 2014.

DURANTI, M. Grain legume proteins and nutraceutical properties. **Fitoterapia**, v. 77, p. 67–82, 2006.

ERHARUYIL, O.; ADHIKRI, A.; FALODUN, A.; JABEEN, A.; AMMAD, M.; CHOUDHARY, M. I.; GÖREN, N. Cytotoxic, Anti-inflammatory, and Leishmanicidal Activities of Diterpenes Isolated from the Roots of *Caesalpinia pulcherrima*. **Planta Medica**,

v. 83, n.1, p. 104–110, 2017.

ERTOP, M. H.; BEKTAŞ, ATASOY, R. Effect of cereals milling on the contents of phytic acid and digestibility of minerals and protein. **Ukrainian Food Journal**, v. 9, p. 136-147, 2020.

FALCO, B.; INCERTI, G.; BOCHICCHIO, R.; PHILLIPS, T. D.; AMATO, M.; LANZOTTI, V. Metabolomic analysis of *Salvia hispanica* seeds using NMR spectroscopy and multivariate data analysis. **Industrial Crops and Products**, v. 99, n. 1, p. 86–96, 2017.

FALOYE, K. O.; FAMUYIWA, S.O.; AKINWUNMI, K. F.; TATA, C. M.; AYOOLA, M. D.; FAKOLA, E. G.; AKINYELE, O. F.; NDINTEH, D. T. Antioxidant potentials of the pod extract of *Caesalpinia pulcherrima* Swartz (Fabaceae) and the theoretical evaluation of the antioxidant property of the isolated compounds. **International Journal of Science and Research Archive**, v. 07, n. 01, p. 456–464, 2022.

FARINON, B.; MOLINARI, R.; COSTANTINI, L.; MERENDINO, N. The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional Quality and Potential Functionality for Human Health and Nutrition. **Nutrients**, v. 12, n. 1935, p. 1-59, 2020.

FAROOQ, A. M.; LI, C.; CHEN, S.; FU, X.; ZHANG, B.; HUANG, Q. Particle size affects structural and in vitro digestion properties of cooked rice flours. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 118, n.1, p. 160–167, 2018.

FERREIRA, E. G. **Estudos para estabelecer os parâmetros de relação entre o teor de cinzas e a colorimetria na farinha de trigo**. 2019. 66f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

FERREIRA, J. P.; BUTLER, J.; ROSSIGNOL, P.; PITT, B.; ANKER, S.D.; KOSIBOROD, M.; LUND, L. H.; BAKRIS, G. L.; WEIR, M. R.; ZANNAD, F. Abnormalities of potassium in heart failure. **Journal of the american college of cardiology**, v. 75, n. 22, p. 2836 –2850, 2020.

FILHO, A. C. P. M.; FILHO, J. G. O.; DEMINSKI, G. O.; JESUS, A. P.; ANDRADE, M. S. B.; CASTRO, C. F. S. Avaliação colorimétrica e caracterização morfológica por microscopia óptica de alta resolução das farinhas dos frutos do jatobá, jambolão e siriguela. **Multi-Science Journal**, v. 2, n. 1, p. 16-22, 2019.

FRANCO, B.D.G.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004.

FREITAS, J.V.B.; ALVES FILHO, E. G.; SILVA, L. M. A.; BRITO, E. S.; GRAMOSA, N. V. Chemometric analysis of NMR and GC datasets for chemotype characterization of essential oils from different species of *Ocimum*. **Talanta**, v. 180, p. 329-336, 2018.

GALLARDO, K.; THOMPSON, R.; BURSTIN, J. Reserve accumulation in legume seeds. **C. R Biol**, v. 331, n. 10, p. 755-62, 2008.

GOLDHABER, S. B. Trace element risk assessment: essentiality vs. toxicity. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 38, n. 1, p. 232–242, 2003.

GOMES, J. C.; OLIVEIRA, G. F. **Análises físico-químicas de alimentos**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2011.

GONZÁLEZ-MONTEMAYOR, A. M.; CONTRERAS-ESQUIVEL, J. C.; SOLANILLA-DUQUE, J. F.; RODRÍGUEZ-HERRERA, R. Prosopis spp. functional activities and its applications in bakery products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 94, n. 1, p. 12–19, 2019.

GRAHAM, S.F.; HOLLIS, J. H.; MIGAUD, M.; BROWNE, R. A. Analysis of betaine and choline contents of aleurone, bran, and flour fractions of wheat (*Triticum aestivum* L.) using ¹H nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 57, n. 5, p. 1948-1951, 2009.

GUSMÃO, R. P.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; GUSMÃO, T. A. S. Particle size, morphological, rheological, physicochemical characterization and designation of minerals in mesquite flour (*Prosopis juliflora*). **Journal of Cereal Science**, v. 69, n. 1, p. 119-124, 2016.

HERA, E.; TALEGÓN, M.; CABALLERO, P.; GÓMEZ, M. Influence of maize flour particle size on gluten-free breadmaking. **Journal of the Science of Food and Agriculture.**, v. 93, n. 1, p. 924–932, 2013.

HIRAWAN, R.; SER, W. Y.; ARNTFIELD, S. D.; BETA, T. Antioxidant properties of commercial, regular-and whole-wheat spaghetti. **Food Chemistry**, v. 119, n. 1, p. 258–264, 2010.

HOLZGRABE, U. Quantitative NMR spectroscopy in pharmaceutical applications. **Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy**, v. 57, n. 2, p. 229-240, 2010.

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology (3rd ed.)**. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists Inc288, 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos Físico-Químicos para Análise de alimentos**. São Paulo. 4ª edição. 2008.

JAN, R.; SAXENA, D. C.; SINGH, S. Comparative study of raw and germinated Chenopodium (*Chenopodium album*) flour on the basis of thermal, rheological, minerals, fatty acid profile and phytocomponents. **Food Chemistry**, v. 269, n. 1, p. 173-180, 2018.

JEEVANANDHAM, S.; DHACHINAMOORTHY, D.; SEKHAR, K. B. C. Drug Release Studies from *Caesalpinia pulcherrima* Seed Polysaccharide. **Iranian Journal of Pharmaceutical Research**, v. 10, n. 3, p. 597-603, 2011.

JIANG, L.; XU, Q. X.; QIAO, M.; MA, F. F.; THAKUR, K.; WEI, Z. J. Effect of superfine grinding on properties of *Vaccinium bracteatum* Thunb leaves powder. **Food Science and Biotechnology**, v. 26, n. 6, p.1571–1578, 2017.

KARCHESY, Y. M.; KELSEY, R. G.; CONSTANTINE, G.; KARCHESY, J. J. Biological screening of selected Pacific Northwest forest plants using the brine shrimp (*Artemia salina*)

toxicity bioassay. **SpringerPlus**, v. 5, n. 510, p. 1-9, 2016.

KAUR, M.; SANDHU, K. S.; ARORA, A.; SHARMA, A. Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: Physicochemical and sensory properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 628-632, 2015.

KAUR, M.; SINGH, N. A comparison between the properties of seed, starch, flour and protein separated from chemically hardened and normal kidney beans. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 1, p. 729–737, 2007.

KAUR, M.; SINGH, N. Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. **Food Chemistry**, v. 9, p. 403–411, 2005.

KIM, J. M.; SHIN, M. Effects of particle size distributions of rice flour on the quality of gluten-free rice cupcakes. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, p. 526-532, 2014.

KONICA MINOLTA. **Precise color communication: color control from perception to instrumentation**. Japan: 2007. 61p.

KOSMA, I. S.; MICHALAKI, A.; KARTELIAS, I. G.; KARANTONIS, H. C. Comparative evaluation of antioxidant activities of flours from durum wheat varieties. **Biology and Life Sciences Forum**, v. 26, n. 7, p. 1-5, 2023.

KUMAR, D.; SINGH, J.; BAGHOTIA, A.; KUMAR, S. Anticonvulsant effect of the ethanol extract of *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw., Fabaceae, leaves. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 20, n. 5, p. 751-755, 2010.

LENDE, S. V.; KAREMORE, H.; UMEKAR, M. J. Review on production of citric acid by fermentation technology. **GSC Biological and Pharmaceutical Sciences**, v. 17, n. 03, p. 085–093, 2021.

LEWU, M.; ADEBOLA, P.; AFOLAYAN, A. Effect of cooking on the mineral contents and anti-nutritional factors in seven accessions of *Colocasia esculenta* (L.) Schott growing in South Africa. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, p. 389–393, 2010.

LIMA, B. N. B.; LIMA, F.F.; TAVARES, M. I. B.; COSTA, A. M. M.; PIERUCCI, A. P. T. R. Determination of the centesimal composition and characterization of flours from fruit seeds. **Food Chemistry**, v. 151, p. 293–299, 2014.

LÓPEZ-BUCIO, J.; NIETO-JACOBO, M.F.; RAMÍEZ-RODRÍGUEZ, V.; HERRERA-ESTRELLA, L. Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. **Plant Science**, v. 160, p. 1–13, 2000.

LUCAS-GONZÁLEZ, R.; VIUDA-MARTOS, M.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. Evaluation of Particle Size Influence on Proximate Composition, Physicochemical, Techno-Functional and Physio-Functional Properties of Flours Obtained from Persimmon (*Diospyros kaki* Trumb.) Coproducts. **Plant Foods Hum Nutr**, v. 72, p. 67–73, 2017.

LUSTOSA, E. A.; SOUSA, M. A. N.; OLIVEIRA, T. L.; PEREIRA, J. G. S.; NOBREGA, V.

- A. Toxicidade de inseticida agrícola em bioensaio com *Artemia salina*. **Scientia Plena**, v. 19, n. 055201, p. 1-8, 2023.
- MABRUK, S.; GADI, M.; ABDULMALEK, M.; ALI, S. Estimation of Iron Concentration in Different Brands of Wheat Flour Samples in Libya Markets, Using Spectrophotometer. **The Scientific Journal of University of Benghazi**, v. 34, n. 1, p. 229 – 233, 2021.
- MAIWALD, M.; FISCHER, H. H.; KIM, Y.-K.; ALBERT, K.; HASSE, H. Quantitative high-resolution on-line NMR spectroscopy in reaction and process monitoring. **Journal of Magnetic Resonance**, v. 166, n. 2, p. 135-146, 2004.
- MARCEL, M. R.; CHACHA, J. S.; OFOEDU, C. E. Nutritional evaluation of complementary porridge formulated from orange-fleshed sweet potato, amaranth grain, pumpkin seed, and soybean flours. **Food Science Nutrition.**, v. 10, p. 536–553, 2022.
- MARCHINI, M.; CARINI, E.; CATALDI, N.; BOUKID, F.; BLANDINO, M.; GANINO, T.; VITTADINI, E.; PELLEGRINI, N. The use of red lentil flour in bakery products: How do particle size and substitution level affect rheological properties of wheat bread dough? **LWT - Food Science and Technology**, v. 136, n. 110299, p. 1-9, 2021.
- MARIUTTI, L. R. B.; REBELO, K. S.; BISCONSIN-JUNIOR, A.; MORAIS, J. S.; MAGNANI, M.; MALDONADE, I. R.; MADEIRA, N. R.; TIENGO, A.; JR, M. R. M.; CAZARIN, C. B. B.; The use of alternative food sources to improve health and guarantee access and food intake. **Food Research International**, v. 149, n. 110709, p.1-22, 2021.
- MARQUES, F. C. J.; PANTOJA, P. S.; MATOS, V. E. A. SILVA, R. O.; DAMASCENO, S. R. B.; FRANCO, A. X.; ALVES, R. C.; JUSTINO, P. F. C.; SOUZA, M. H. L. P.; FEITOSA, J. P. A.; CASTRO, R. R.; SOARES, P. M. G. Galactomannan from the seeds of *Caesalpinia pulcherrima* prevents indomethacin-induced gastrointestinal damage via neutrophil migration. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 141, p. 68–75, 2019.
- MCLAUGHLIN, J. L. Crown gall tumors on potato discs and brine shrimp lethality: two simple bioassays for higher plant screening and fractionation. In: DEY, P.; HARBORNE, J.; HOSTETTMANN, K. (Eds.). **Methods in Plant Biochemistry**. 6. ed. London: Academic Press, 1991. p. 1-32.
- MEDEIROS, S. R. A.; OLIVEIRA, V. A.; FEITOSA, J. P. A.; PAULA, R. C. M.; SOUSA, F. D.; MOREIRA, A. C. O. M.; BESERRA, F. J.; MOREIRA, R. A. *Caesalpinia pulcherrima* seed galactomannan on rheological properties of dairy desserts. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50, n. 6, p. 1-13, 2020.
- MEMON, A. A.; MAHAR, I.; MEMON, R.; SOOMRO, S.; HARNLY, J.; MEMON, J.; BHANGAR, M. I.; LUTHRIA, D. L. Impact of flour particle size on nutrient and phenolic acid composition of commercial wheat varieties. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 86, n. 103358, p. 1-8, 2020.
- MENGUAL-MACENLLE, N.; MARCOS, P. J.; GOLPE, R.; GONZÁLEZ-RIVAS, D. Multivariate analysis in thoracic research. **Journal of Thoracic Disease.**, v. 7, n. 3, 2015.
- MEYER, B. N., FERRIGNI, N. R., PUTNAN, J. E., JACOBSEN, L. B., NICHOLS, D. E.,

Mcl. AUGHLIN, J. Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. **Journal of Medical Plant Research**, v. 45, n.1, p. 31-34, 1982.

MORAIS, R. A.; MELO, K. K. S.; OLIVEIRA, T. T. B.; TELES, J. S.; PELUZIO, J. M.; MARTINS, G. A. S. Caracterização Química, física e tecnológica da farinha obtida a partir da casca de Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.). **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 11, p. 23307-23322, 2019.

MORGOUNOV, A.; GÓMEZ-BECERRA, H. F.; DZHUNUSOVA, M.; YESSIMBEKOVA, M.; MUMINJANOV, H.; ZELENSKIY, Y.; OZTURK, L.; CAKMAK, I. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. **Euphytica**, v. 155, p. 193–203, 2007.

MUSCHIN, T.; YOSHIDA, T. Structural analysis of galactomannans by NMR spectroscopy. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 3, p. 1893-1898, 2012.

MWANGI, G. G.; WAGACHA, J. M.; NGUTA, J. M.; MBARIA, J. M. Brine shrimp cytotoxicity and antimalarial activity of plants traditionally used in treatment of malária in Msambweni district. **Pharmaceutical Biology**, v. 53, n. 4, p. 588–593, 2015.

NABIL, B.; OUAABOU, R.; OUHAMMOU, M.; SAADOUNI, L.; MAHROUZ, M. Impact of particle size on functional, physicochemical properties and antioxidant activity of cladode powder (*Opuntia ficus-indica*). **Journal of Food Science & Technology**, v. 57, n. 3, p. 943–954, 2020.

NDIFE, J.; ABASIEKONG, K. S.; NWEKE, B.; LINUS-CHIBUEZEH, A.; EZEocha, V. C. Production and comparative quality evaluation of Chin-Chin Snacks from maize, soybean and orange fleshed sweet potato flour blends. **FUDMA Journal of Sciences**, v. 4, n. 2, p. 300–307, 2020.

NGUTA, J.M.; MBARIA, J.M.; GAKUYA, D.W.; GATHUMBI, P.K.; KABASA, J.D.; KIAMA, S.G.; Evaluation of acute toxicity of crude plant extracts from Kenyan biodiversity using brine shrimp, *Artemia salina* L. (Artemiidae). **The Open Conference Proceedings Journal**, v. 3, p. 30–34, 2012.

NIONELLI, L.; CODA, R.; CURIEL, J. A.; POUTANEN, K.; GOBBETTI, M.; RIZELLO, C. G. Manufacture and characterization of a yogurt-like beverage made with oat flakes fermented by selected lactic acid bacteria. **International Journal of Food Microbiology**, v. 18, p. 17–26, 2014.

ODERINDE, R. A.; ADEWUYI, A.; AJAYI, I. A. Determination of the mineral nutrients, characterization and analysis of the fat-soluble vitamins of *Caesalpinia pulcherrima* and *Albizia lebeck* seeds and seed oils. **Seed Science and Biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 74-78, 2008.

OLIVEIRA, C. F. D.; PINTO, E. G.; REZENDE, P. L. R. Compostos Bioativos de extratos de pequi de diferentes regiões do cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 1799-1813, 2017.

OLOJEDE, A. O.; SANNI, A. I.; BANWO, K. Effect of legume addition on the physicochemical and sensorial attributes of sorghum-based sourdough bread. **LWT - Food**

Science and Technology, v. 118, n. 108769, p. 1-6, 2020.

OMODE, A. A.; FATOKI, O. S.; OLAOGUN, K. A. Physicochemical properties of some underexploited and nonconventional oilseeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.**, v. 43, p. 2850-2853, 1995.

OYEYINKA, S. A.; SINGH, S.; AMONSOU, E. O. A review on structural, digestibility and physicochemical properties of legume starch-lipid complexes. **Food Chemistry**, v. 349, n. 129165, p. 1-8, 2021.

OYEYINKA, S. A.; OYETUNDE, T. T.; OYEYINKA, A. T.; OLANIRAN, A. F.; IRANLOYE, Y. M.; OLAGUNJU, O. F.; KAYITESI, E.; NJOBEH, P. B. Chemical, antioxidant and sensory properties of pasta from fractionated whole wheat and Bambara groundnut flour. **LWT - Food Science and Technology**, v. 138, n. 110618, p. 1-8, 2021.

OZTURK, L.; YAZICI, M.A.; YUCEL, C.; TORUN, A.; CEKIC, C.; BAGCI, A.; OZKAN, H.; BRAUN, H.J.; Sayers, Z.; Cakmak, I. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. **Physiologia Plantarum**, v. 128, p. 144–152, 2006.

PASSOS, A. A. C.; TEIXEIRA-SÁ, D. M. A.; MORAIS, G. M. D.; CHACON, L. S. S.; BRAGA, R. C. Avaliação da incorporação de galactomanana de *Caesalpinia pulcherrima* em sorvetes e comparação com estabilizantes comerciais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 275-282, 2016.

PAWAR, C. R.; MUTHA, R. E.; LANDGE, A. D.; JADHAV, R. B.; SURANA, S. J. Antioxidant and cytotoxic activities of *Caesalpinia pulcherrima* wood. **Indian Journal of Biochemistry & Biophysics.**, v. 46, p. 198-200, 2009.

PEARSON, D. **The Chemical Analysis of Foods**. Seventh Edition. Edinburgh, London and New York. National College of Food Technology, University of Reading, Weybridge, Surrey, 1976.

PEI, M.; ZHAO, Z.; CHEN, S.; RESHETNIK, E. I.; GRIBANOVA, S. L.; LI, C.; ZHANG, G.; ZHANG, G.; LIU, L.; ZHAO, L. Physicochemical properties and volatile components of pea flour fermented by *Lactobacillus rhamnosus* L08. **Food Bioscience**, v. 46, n. 101590, p. 1-8, 2022.

PELEG, Z.; SARANGA, Y.; YAZICI, A.; FAHIMA, T.; OZTURK, L.; CAKMAK, I. Grain zinc, iron and protein concentrations and zinc-efficiency in wild emmer wheat under contrasting irrigation regimes. **Plant and Soil**, v. 306, p. 57–67, 2008.

PEREIRA, M. T. L.; CAVALCANTE, M. P.; SILVA, S. F.; CAVALCANTE, M. P.; SILVA, S. S.; AQUINO, A. C.; ARAÚJO, I. M. S.; DANTAS, E. S.; SILVA, B. M. B.; ALVES FILHO, E. G.; SILVA, L. M. A.; GABAN, S. V. F. Effect of Different Carrier Agents on the Yield of Powered Plant Beverage Obtained by Spray Drying and Characterization of Physicochemical Properties. **ACS Food Sci. Technol.**, v. 4, p. 2392–2399, 2024.

PEREIRA, A. M.; KRUMREICH, F. D.; RAMOS, A. H.; KROLOW, A. C. R.; SANTOS, R. B.; GULARTE, M. A. Physicochemical characterization, carotenoid content and protein digestibility of pumpkin access flours for food application. **Food Science and Technology**, v.

40, n. 2, p. 691-698, 2020.

PINHEIRO, G. K. I.; OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; JUNIOR, W. N. F.; CABRAL, J. C. O.; QUEQUETO, W. D.; SILVA, L. C. M.; SOUZA, D. G. Physical, physicochemical and functional technological properties of flours produced from yellow mombin (*Spondias mombin* L.) epicarp. **Australian Journal of Crop Science**, v. 16, n. 02, p. 177-183, 2022.

QIN, W.; LIN, Z.; WANG, A.; CHEN, Z.; HE, Y.; WANG, L.; LIU, L.; WANG, F.; TONG, L. T. Influence of particle size on the properties of rice flour and quality of gluten-free rice bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 151, n. 112236, p. 1-9, 2021.

RAHMAN, M. A. A.; MOON, S. S. Antioxidant polyphenol glycosides from the Plant *Draba nemorosa*. **Bulletin of the Korean Chemical Society**, v. 28, n. 5, p. 827-831, 2007.

RALET, M. C.; ANDRE-LEROUX, G.; QUEMENER, B.; THI-BAULT, J. F. Sugar beet (*Beta vulgaris*) pectins are covalently cross-linked through diferulic bridges in the cell wall. **Phytochemistry**, v. 66, n. 24, p. 2800-14, 2005.

RAO, Y. K.; FANG, S-H.; TZENG, Y-M. Anti-inflammatory activities of flavonoids isolated from *Caesalpinia pulcherrima*. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 100, p. 249-253, 2005.

RODRIGUEZ, I. F.; PÉREZ, M. J.; CATTANEO, F.; ZAMPINI, I. C.; CUELLO, A. S.; MERCADO, M. I.; PONESSA, G.; ISLA, M. I. Morphological, histological, chemical and functional characterization of *Prosopis alba* flours of different particle sizes. **Food Chemistry**, v. 274, p. 583-591, 2019.

ROSA, I. G., SOUSA, N. S.; SANTANA, A. A.; LIMA, H. S. Extração e Caracterização físico-química dos polissacarídeos de *Leucaena leuco-cephala* (Lam.) de Wit. **Revista Pesquisa em Foco**, v. 17, n. 1, p. 22-30, 2009.

ROSARIO, R. C.; SOARES, S. D.; MARTINS, M. G.; NASCIMENTO, F. C. A.; SILVA JUNIOR, J. O. C.; TEIXEIRA-COSTA, B. E.; FIGUEIRA, M. S.; SANTOS, O. V. Bioactive, technological-functional potential and morphological structures of passionfruit albedo (*Passiflora edulis*). **Food Science and Technology**, Campinas, v. 42, n. e22222, p. 1-10, 2022.

RESOSEMITO, F. S.; CARVALHO, J. G.; ARAÚJO, R. R.; SOUSA, A. E. C.; FERREIRA, D. S.; SANTOS, J. S.; LOPES, A. C. C. B. Obtenção e avaliação físico-química da farinha de trigo especial desglutenizado. **Latin American Journal of Development.**, v. 4, n. 4, p. 1533-1540, 2022.

ROUMY, V.; RUIZ, L.; MACEDO, J. C. R.; GUTIERREZ-CHOQUEVILCA, A. L.; SAMAILLIE, J.; COTRINA, H. E. R.; GARÇON, G.; DUBUISSON, J.; ANTHÉRIEU, S.; SERON, K.; HENNEBELLE, T. Viral hepatitis in the Peruvian Amazon: Ethnomedical context and phytomedical resource. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 255, n. 112735, p. 1-11, 2020.

RUSU, I. E.; MARC, R. A.; MUREŞAN, A. E.; CSABA, K. B.; ALEXA, E.; SZANTO, L.; MUSTE, S. Advanced Characterization of Hemp Flour (*Cannabis sativa* L.) from Dacia Secuieni and Zenit Varieties, Compared to Wheat Flour. **Plants**, v. 10, n. 1237, p. 1-14, 2021.

SAHU, P. K.; CERVERA-MATA, A.; CHAKRADHARI, S.; PATEL, K. S.; TOWETT, E. K.; QUESADA-GRANADOS, J. J.; MARTÍN-RAMOS, P.; RUFÍAN-HENARES, J. A. Seeds as Potential Sources of Phenolic Compounds and Minerals for the Indian Population. **Molecules**, v. 27, n. 3184, p. 1-16, 2022.

SANCHIZ, A.; PEDROSA, M. M.; GUILLAMÓN, ARRIBAS, C.; CABELLOS, B.; LINACERO, CUADRADO, C. Influence of boiling and autoclave processing on the phenolic content, antioxidant activity and functional properties of pistachio, cashew and chestnut flours. **LWT - Food Science and Technology**, v. 105, p. 250–256, 2019.

SANTANA, F. B.; SOUZA, A. M.; ALMEIDA, M. R.; BREITKREITZ, M. C.; FILGUEIRAS, P. R.; SENA, M. M.; POPPI, R. J. Experimento didático de quimiometria para classificação de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio combinado com análise discriminante por mínimos quadrados parciais: um tutorial, parte V. **Quim. Nova**, v. 43, n. 3, p. 371-381, 2020.

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, B. F. S.; OLIVEIRA, G. L. M.; OLIVEIRA, G. R. S.; MAZZINGHY, A. C. C.; RAMOS, A. L. C. C.; COELHO, V. S.; SILVA, V. D. M.; SILVA, C. J.; ARAÚJO, R. L. B.; MELO, J. O. F. Toxicidade de produtos naturais e a *Artemia Salina*. **Ciências Agrárias: limites e potencialidades em pesquisa**, v. 3, p. 9-27, 2023.

SASABUCHI, I.T. M.; KRIEGERA, K. S.; NUNESA, R. S.; FERREIRA, A. C.; XAVIERA, G. T. M.; URZEDOA, A. L.; CARVALHO, W. A.; FADINI, P. S. Sustentabilidade no uso de fósforo: uma revisão bibliográfica com foco na situação atual do estado de São Paulo, Brasil. **Química Nova**, v. 46, n. 2, p. 185-198, 2023

SASAKI, M. **Lipídios, carboidratos e proteínas de sementes de leguminosas do cerrado**. Dissertação (Mestre em Ciências). 83f. 2008. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SATO, M. K., LIMA, H. V., COSTA, A. N., RODRIGUES, S., PEDROSO, A. J. S., MAIA, C. M. B. F. Biochar from Acai agroindustry waste: Study of pyrolysis conditions. **Waste Management**, v. 96, p. 158-167, 2019.

SAVLAK, N.; TÜRKER, B.; YEŞILKANAT, N. Effects of particle size distribution on some physical, Chemical and functional properties of unripe banana flour. **Food Chemistry**, v. 213, p. 180–186, 2016.

SENARATHNA, S.; NAVARATNE, S.; WICKRAMASINGHE, I.; COOREY, R. Development and characterization of *Caesalpinia pulcherrima* seed gum-based films to determine their applicability in food packaging. **Journal of Consumer Protection and Food Safety**, v. 17, p. 65–72, 2022.

SHARMA, V.; RAJANI, G. P. Evaluation of *Caesalpinia pulcherrima* Linn. for anti-inflammatory and antiulcer activities. **Indian Journal of Pharmacology**, v. 43, n. 2, 2011.

SHI, M.; HOU, S.; SUN, Y.; DANG, H.; SONG, Q.; JIANG, L.; CAO, W.; WANG, H.; HE,

X.; WANG, Z. Regional wheat grain manganese and its potential risks affected by soil pH and precipitation. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, n. 121677, p. 1-7, 2020.

SILVA, C. S.; NUNES, P. O.; MESCOUTO, C. S. T.; MÜLLER, R. C. S.; PALHETA, D. C.; FERNANDES, K. G. Avaliação do uso da casca do fruto e das folhas de *Caesalpinia ferrea* Martius como suplemento nutricional de Fe, Mn e Zn. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 751-754, 2010.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. de. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos** 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006.

SIMPSON, B.B., OGORZALY, M. C. **Economic botany: Plant in our world**. 3ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

SINGH, B.; SINGH, J. P.; KAUR, A.; SINGH, N. Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. **Food Research International**, v. 101, p. 1–16, 2017.

SINGH, G.; SUTTEE, A.; BARNWAL, R. P.; SINGLA, N.; SHARMA A.; CHATTERJEE, M.; KAURA, G.; CHANANA V.; MISHRA, V. K. Investigation of in vitro anthelmintic activity of *Caesalpinia pulcherrima* leaves. **Plant Archives**, v. 19, n. 2, p. 4527-4530, 2019.

SOTOMAYOR, C.; FRIAS, J.; FORNAL, J.; SADOWSKA, J.; URBANO, G.; VIDAL-VALVERDE, C. Lentil starch content and its microscopical structure as influenced by natural fermentation. **Starch-Starke**, v. 51, n. 5, p. 152-156, 1999.

STORCK, C. R.; BASSO, C.; FAVARIN, F. R.; RODRIGUES, A. C. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. **Campinas**, v. 18, n. 4, p. 277-284, 2015.

SUDHAKAR, M.; RAO, C.V.; RAO, P. M.; RAJU, D.B.; VENKATESWARLU, Y. Antimicrobial activity of *Caesalpinia pulcherrima*, *Euphorbia hirta* and *Asystasia gangeticum*. **Fitoterapia**, v. 77, p. 378–380, 2006.

SULLIVAN, B.; ENGBERTSON, W. E.; ANDERSON, M. L. The relation of particle size to certain flour characteristics. **Cereal Chemistry**, v. 37, p. 436–455, 1960.

SUMMO, C.; ANGELIS, D.; RICCIARDI, L.; CAPONIO, F.; LOTTI, C.; PAVAN, S.; PASQUALONE, A. Nutritional, physico-chemical and functional characterization of a global chickpea collection. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 84, n. 103306, p. 1-9, 2019.

SUN, X.; ZHANG, Y.; LI, J.; ASLAM, N.; SUN, H.; ZAO, J.; WU, Z.; HE, S. Effects of particle size on physicochemical and functional properties of superfine black kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) powder. **Peer-reviewed and Open Access journal**, v. 7, n. e6369, p. 1-21, 2019.

SWAIN, T.; HILLS, W. E. The phenolic constituents of *Punus domestica*. I- quantitative analysis of phenolics constituents. **Journal of the science of food and agriculture**, v. 19, p. 63-68, 1959.

TCHEMRA, F. G. C.; PONTES, M. M.; MELO, A. R.; GEUS, J. L.; JUNIOR, V. A. K.; REZENDE, M. Avaliação da toxicidade de diferentes concentrações de tinturas de malva e calendula através do bioensaio com *Artemia salina*. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, p. 1-8, 2022.

THOMBRE, N. A.; PAWAR, K. N.; PATIL, Y. A.; KSHIRSAGAR, S. J. Novel Thiolated *Ceasalpinia Pulcherrima*: Synthesis, Characterization and Evaluation as Mucoadhesive In situ Gelling Agent. **Pharmaceutical Journal of Sri Lanka**, v. 8, n. 1, p. 1 – 19, 2018.

VATS P.; BANERJEE, U.C. Production studies and catalytic properties of phytases (myoinositol-hexakis-phosphate phosphohydrolases): an overview, **Enzyme and Microbial Technology**, v. 35, p. 3–14, 2004.

VIEIRA, L. M.; SOUSA, M. S. B.; MANCINI-FILHO, J.; LIMA, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante *in vitro* de polpas de frutos tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal – SP, v. 33, n. 3, p. 888-897, 2011.

WAISS, I. M.; KIMBONGUILLA, A.; ABDOUL-LATIF, F. M.; NKELETOLA, L. B.; SCHER, J.; PETIT, J. Total phenolic content, antioxidant activity, shelf-life and reconstitutability of okra seeds powder: influence of milling and sieving processes. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 56, p. 5139–5149, 2021.

WALL, J. S. Properties of protein contributing to functionality of cereal foods. **Cereal Foods World**, v. 24, p. 289–292, 1979.

WANG, J.; THAMES, M. D. Elevated Phenylalanine Levels – More Than a Biomarker? **Critical Care Medicine**, v. 50, n. 11, p. 1670–1672, 2022.

WEAVER, C. M. Potassium and Health¹⁻³. **Advanced Nutrition**., v. 4, p. 368–377, 2013.

WU, Z.; AMEER, K.; HU, C.; BAO, A.; WANG, R.; TANG, W.; CHAUDHARY, N.; JIANG, G. Particle size of yam flour and its effects on physicochemical properties and bioactive compounds. **Food Science and Technology**., Campinas, v. 42, n. e43921, p. 1-9, 2022.

XU, B. J.; YUAN, S. H.; CHANG, S. K. C. Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 2, p. S167–S177, 2007.

YAMUNA, S.T.; PADMA, P. R. Antioxidant potential of the flowers of *Caesalpinia pulcherrima*, Swartz in an *in vitro* system subjected to oxidative stress. **Journal of Pharmacy Research**, v. 7, p. 661- 665, 2013.

YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MARITAKA, S.; MIKASI, M.; TODA, J.; WADA, T.; KIYOFUMI ISHII. Whipping and emulsifying properties of soybean products. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 36, n. 5, p. 719-727, 1972.

YUSUF, A. A.; MOFIO, B. M.; AHMED, A. B. Nutrient contentes of Prides of Barbados (*Caesalpinia pulcherrima* Linn) seeds. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 6, n. 2, p. 117-121, 2007.

CAPÍTULO III – EFEITO TECNOLÓGICO DA ADIÇÃO DE FARINHA E GEL DA SEMENTE DE FLAMBOYANT-MIRIM NA QUALIDADE DE PÃES TIPO FORMA

RESUMO

O pão é um dos alimentos mais consumidos no mundo. As sementes de *Caesalpinia pulcherrima* (L.) podem ser utilizadas como ingrediente para melhorar o valor nutricional de produtos de panificação. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adição de farinha (FSF) e gel (GSF) das sementes de flamboyant-mirim na formulação de pães tipo forma e verificar sua influência na qualidade do produto. As formulações adicionadas de FSF (3,96–11,04%) e GSF (0,17–5,82%) foram desenvolvidas utilizando o delineamento composto central rotacional. As variáveis dependentes analisadas foram: perda por cocção, índice de expansão, volume específico, densidade, cor da crosta e do miolo, número e circularidade dos alvéolos, pH, acidez, atividade de água, umidade, cinzas, lipídios, proteínas, fibra bruta, carboidratos, valor calórico, compostos fenólicos, atividade antioxidante e teores minerais (Ca, Mg, P, K, Fe e Zn). Além disso, foi realizada a análise de MEV nos pães produzidos. Em relação aos resultados, foram observados aumentos nos valores de pH, proteínas, lipídios, cinzas, fibras, calorias, compostos fenólicos, atividade antioxidante, minerais, volume específico, perda por cocção, número e circularidade de alvéolos, além dos parâmetros cromáticos a^* do miolo, b^* e C^* da crosta nos pães contendo FSF e GSF. Em contrapartida, houve reduções nos teores de acidez, umidade, densidade e luminosidade do miolo, em relação à formulação controle. Os parâmetros de carboidratos, atividade de água, índice de expansão, luminosidade e a da crosta, bem como b e C do miolo, permaneceram próximos aos valores da amostra controle. As análises de microestrutura dos pães analisados mostraram morfologia heterogênea, afetando a formação e a qualidade da rede de glúten. Diante disso, conclui-se que a incorporação de FSF e GSF em pães tipo forma promoveu melhorias notáveis nas propriedades físico-químicas, tecnológicas e funcionais das formulações e os ensaios com melhor desempenho nos atributos avaliados foram: 11,03% de FSF e 3% de GSF; 10% de FSF e 5% de GSF; 10% de FSF e 1% de GSF. Essas combinações proporcionaram pães com maior valor nutricional, propriedades tecnológicas aprimoradas e potencial funcional elevado.

Palavras-chave: atividade antioxidante; panificação funcional; planejamento experimental; propriedades físico-químicas; qualidade tecnológica.

1 INTRODUÇÃO

O pão é um dos alimentos básicos mais consumidos no mundo (GONZALEZ *et al.*, 2020), com frequência de consumo variando de uma a três vezes ao dia, dependendo de fatores sociais, do tipo de pão, da disponibilidade e do custo dos cereais (ALASHI *et al.*, 2018; PURKIEWICZ; GUL; PIETRZAK-FIECKO, 2024). De acordo com a legislação brasileira, os pães são produtos obtidos a partir da farinha de trigo e/ou outras farinhas, adicionados de líquidos e resultantes de processo de fermentação ou não, podendo conter outros ingredientes desde que não descaracterizem o produto. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (BRASIL, 2022).

Dentre os diversos tipos de pães, destaca-se o pão de forma, fabricado seguindo etapas semelhantes às de outros tipos de pães, como pesagem e mistura dos ingredientes, desenvolvimento da rede de glúten, divisão e modelagem da massa, fermentação, forneamento, resfriamento e embalagem (BEZERRA *et al.*, 2022). Atualmente, os produtos alimentícios não visam apenas satisfazer a fome e as necessidades nutricionais básicas, mas também prevenir doenças relacionadas à nutrição e melhorar o bem-estar do consumidor (EVDOKIMOVA *et al.*, 2021). Nesse contexto, produtos panificados, especialmente aqueles elaborados com farinha de trigo refinada, apresentam como principal desvantagem o baixo valor nutricional, devido ao elevado teor de carboidratos e às reduzidas quantidades de vitaminas, minerais e fibras (BAYRAMOV *et al.*, 2022).

O desenvolvimento de novos produtos e formulações saudáveis, com impacto positivo no conteúdo nutricional, tem sido o foco de diversos estudos científicos (DUNDAR *et al.*, 2021). As tendências atuais têm modificado a tradicional preparação de pães, incorporando grãos integrais, farinhas de subprodutos e substitutos de açúcar, gordura e sal (BERWIG; MARQUES; MONTEIRO, 2018). A substituição parcial da farinha de trigo por outras farinhas vegetais na panificação é uma alternativa viável, desde que o nível de substituição não afete negativamente a qualidade dos pães. Por não possuírem glúten em sua composição, as farinhas vegetais geralmente são utilizadas em concentrações inferiores a 10% (GHENO *et al.*, 2022).

As leguminosas constituem fontes importantes de proteínas, lipídios e outros nutrientes, como minerais e vitaminas, essenciais para o crescimento e manutenção da saúde (KUSHWAHA, 2013). Entre elas, destaca-se *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz, conhecida popularmente como flamboyant-mirim, flamboyanzinho, orgulho-de-Barbados, flor-pavão, ave-do-paráiso-vermelha, entre outros (THOMBRE; GIDE, 2013, 2015; SURYAWANSHI *et*

al., 2013). É amplamente distribuída e cultivada em regiões tropicais e subtropicais como Myanmar, Brasil, Malásia, Península Ibérica, Índia, Sri Lanka e Vietnã (BURITI *et al.*, 2014; MARQUES *et al.*, 2019). Embora nativa da América Central, a espécie está bem adaptada ao Cerrado brasileiro (MEDEIROS *et al.*, 2020). Trata-se de uma árvore pequena, perene e bem ramificada, que floresce em variedades de cores rosa, amarela e laranja (SENARATHNA *et al.*, 2022).

Estudos farmacológicos exploraram seus efeitos anti-inflamatórios (ERHARUYI *et al.*, 2017), imunomoduladores (KHAN *et al.*, 2018), antimicrobianos (CHEN *et al.*, 2022), antivirais (ROUMY *et al.*, 2020) e antioxidantes (AGUIAR *et al.*, 2019) em diferentes partes da planta. Diversas pesquisas sobre a semente de flamboyant-mirim têm sido relatadas, destacando-se sua aplicação na extração de galactomananas (BURITI *et al.*, 2014; MARQUES *et al.*, 2019), uso em sobremesas lácteas (MEDEIROS *et al.*, 2020), sorvetes (PASSOS *et al.*, 2016), filmes comestíveis (SENARATHNA *et al.*, 2022), fibras alimentares de baixa viscosidade (PASSOS *et al.*, 2021), como fonte de bio-óleo para biocombustíveis (CHINDHANAISELVAM *et al.*, 2016) e como farinha na alimentação de frangos de corte (KUSHWAHA, 2013).

Entretanto, há escassez de informações na literatura sobre o uso da semente de flamboyant-mirim na formulação de pães. Portanto, esta pesquisa foi conduzida com o propósito de avaliar a viabilidade da utilização da farinha e do gel das sementes de flamboyant-mirim como ingredientes funcionais na elaboração de pães tipo forma. Assim, o objetivo deste estudo foi investigar o efeito da adição da farinha e do gel de *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz sobre os atributos de qualidade físico-química e tecnológica de pães tipo forma.

2 METODOLOGIA

2.1 Obtenção da matéria-prima

As vagens contendo as sementes de *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz (Código SisGen: ABF331B) foram coletadas na Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici, em Fortaleza, Ceará (Latitude: 3°44'38.6"S; Longitude: 38°34'47.3"W), no estágio de maturação ideal. Nessa fase, as vagens encontram-se secas ao toque e se abrem facilmente quando pressionadas, liberando as sementes. Tanto as vagens quanto as sementes apresentam coloração

marrom característica da maturação completa. O material botânico foi devidamente identificado e depositado no Herbário Prisco Bezerra (EAC), sob o número de depósito EAC 67246.

2.2 Processamento da Farinha da Semente de Flamboyant-mirim (FSF)

As vagens foram abertas e as sementes retiradas manualmente, sendo selecionadas de acordo com a integridade física e ausência de injúrias. As sementes foram trituradas inicialmente em liquidificador industrial (modelo LI1.5, Skymesen) por um tempo total de cinco minutos, com intervalos de um minuto, e posteriormente em moinho de facas (modelo LUCA-226/5, Lucadema) nas mesmas condições, para obtenção da farinha (Figura 10).

Figura 10 - Processamento da farinha da semente de flamboyant-mirim – FSF.



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

A amostra resultante foi peneirada em peneira granulométrica (Bertel) com abertura de malha de 0,250 mm e agitada por 10 min em agitador eletromagnético de peneiras (Rotachoc Chopin®). Após a separação, a farinha da semente de flamboyant-mirim (FSF) com granulometria de 0,250 mm foi embalada a vácuo e armazenada em ambiente escuro, à temperatura ambiente. O rendimento obtido para esta fração foi de aproximadamente 25%.

2.3 Produção do Gel da Semente de Flamboyant-mirim – GSF

Para a produção do gel da semente de flamboyant-mirim (GSF), 20 g de sementes foram adicionadas a um béquer contendo 200 mL de água destilada. Em seguida, o material foi submetido a aquecimento em chapa (marca Quimis, modelo Q310-22B) a 70 °C por 5 h. Após o cozimento, a amostra foi resfriada à temperatura ambiente, triturada com auxílio de um *mixer* vertical (Black & Decker) e filtrada em peneira para obtenção do gel (Figura 11).

Figura 11 - Processamento do gel da semente de flamboyant-mirim – GSF.



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

O GSF obtido foi acondicionado em recipientes plásticos de polietileno e armazenado em refrigerador doméstico (Electrolux) a 4 °C. O rendimento do gel da semente de flamboyant-mirim foi de aproximadamente 69,7 %.

2.4 Preparação do pão tipo padrão

O desenvolvimento da formulação padrão do pão tipo forma, sem a adição de farinha ou gel da semente de flamboyant-mirim, foi realizado conforme metodologia descrita por Zambelli (2015). Os ingredientes utilizados (Tabela 10) foram adquiridos em comércio local de Teresina – PI. As proporções empregadas foram: farinha de trigo (100%), água (58%), gordura vegetal hidrogenada (10%), açúcar refinado (5%), fermento biológico seco (3,3%) e sal (2%).

Tabela 10 - Formulação padrão de pão tipo forma.

Ingredientes	(%)
Farinha de trigo	100
Água	58
Gordura Vegetal Hidrogenada	10
Açúcar	5
Fermento Biológico Seco	3,3
Sal	2

Fonte: Zambelli, 2015.

2.5 Desenvolvimento dos pães tipo forma adicionado de Farinha da Semente de Flamboyant-mirim (FSF) e Gel da Semente de Flamboyant-mirim (GSF)

No desenvolvimento dos pães tipo forma, a farinha de trigo foi parcialmente substituída, em diferentes proporções, pela farinha da semente de flamboyant-mirim (FSF) e

pelo gel da semente de flamboyant-mirim (GSF). A inclusão da FSF e do GSF nas formulações foi estabelecida com base em um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), aplicando-se um planejamento fatorial completo 2^2 , totalizando 11 ensaios. Desses, quatro corresponderam aos pontos fatoriais nos níveis -1 e +1, quatro aos pontos axiais (uma variável nos níveis $-\alpha$ e $+\alpha$ e a outra em 0) e três ao ponto central (ambas as variáveis independentes no nível 0), permitindo a análise de efeitos lineares, quadráticos e de interação. As faixas de valores codificados e reais utilizadas para os ensaios são apresentadas na Tabela 11, enquanto a matriz experimental do planejamento encontra-se descrita na Tabela 12.

Tabela 11 - Variáveis e níveis do planejamento experimental.

Variáveis independentes*	Níveis codificados e reais das variáveis independentes				
	$-\alpha = -1,41$	-1	0	+1	$+\alpha = +1,41$
FSF	3,964%	5,0%	7,5%	10,0%	11,035%
GSF	0,171%	1,0%	3%	5,0%	5,828%

*FSF=Farinha da Semente de Flamboyant-mirim e GSF=Gel da Semente de Flamboyant-mirim.

Tabela 12 - Matriz do delineamento experimental com valores codificados e reais.

Ensaio	Valores codificados		Valores reais (%)	
	FSF (X_1)	GSF (X_2)	FSF (%) - X_1	GSF (%) - X_2
1	-1	-1	5,0	1,0
2	-1	1	5,0	5,0
3	1	-1	10,0	1,0
4	1	1	10,0	5,0
5	-1,41	0	3,964	3,0
6	1,41	0	11,035	3,0
7	0	-1,41	7,5	0,171
8	0	1,41	7,5	5,828
9	0	0	7,5	3,0
10	0	0	7,5	3,0
11	0	0	7,5	3,0

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. FSF=Farinha da Semente de Flamboyant-mirim e GSF=Gel da Semente de Flamboyant-mirim.

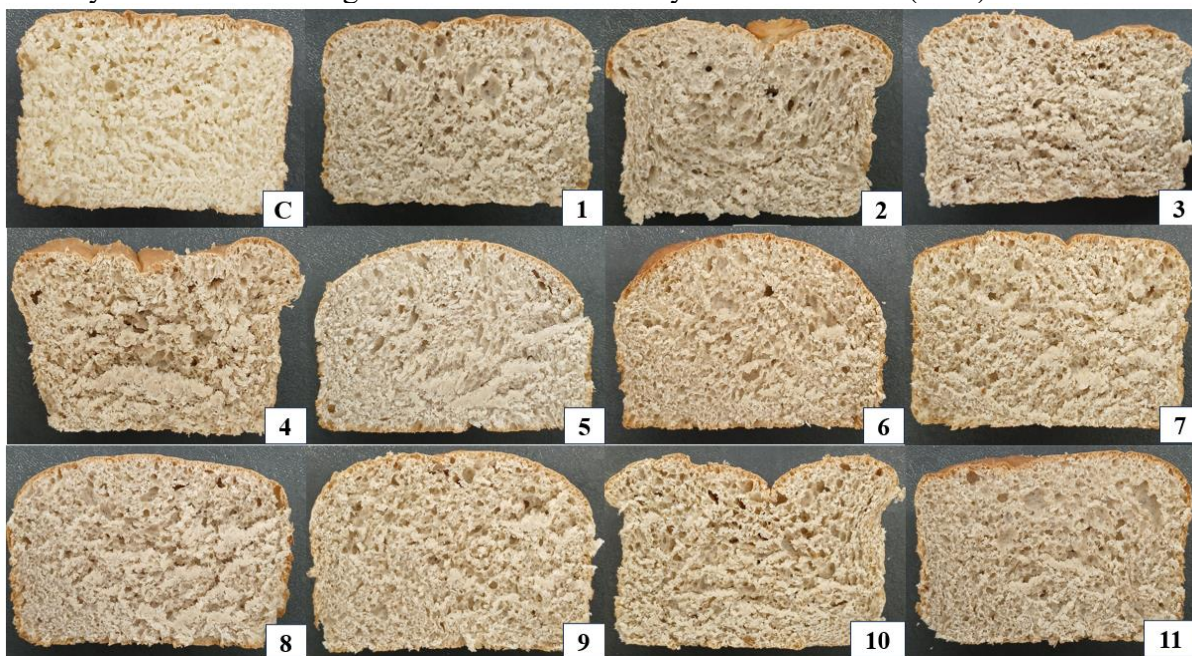
2.6 Processo de fabricação de pães tipo forma

Os ingredientes utilizados para a fabricação dos pães foram homogeneizados em batedeira planetária (Arno) por 7 minutos. Em seguida, as massas foram divididas em porções de 250 g e moldadas manualmente em formato elíptico. As porções foram colocadas em formas metálicas galvanizadas de chapa única, próprias para pão de forma (sem tampa).

Figura 12 - Fluxograma do processo de fabricação dos pães tipo forma



Figura 13 - Pão tipo forma controle (C) e pães tipo forma produzido com farinha da semente de flamboyant-mirim - FSF e gel da semente de flamboyant-mirim - GSF (1-11).



Fonte: Autoria própria, 2026. C- Pão controle; 1 – Pão com 5% de FSF e 1% de GSF; 2 – Pão com 5% de FSF e 5% de GSF; 3 – Pão com 10% de FSF e 1% de GSF; 4 – Pão com 10% de FSF e 5% de GSF; 5 – Pão com 3,964% de FSF e 3% de GSF; 6 – Pão com 11,035% de FSF e 3% de GSF; 7 – Pão com 7,5% de FSF e 0,171% de GSF; 8 – Pão com 7,5% de FSF e 5,828% de GSF; 9 – Pão com 7,5% de FSF e 3% de GSF; 10 – Pão com 7,5% de FSF e 3% de GSF; 11 – Pão com 7,5% de FSF e 3% de GSF.

Posteriormente, as massas foram submetidas à fermentação em câmara climatizada (marca Frilux), a 32 °C e 75 % de umidade relativa, durante uma hora e trinta minutos (1 h e 30 min). Após o período de fermentação, os pães foram assados em forno elétrico (Venâncio) a 220 °C por 20 minutos e, em seguida, resfriados à temperatura ambiente (25 ± 2 °C).

As análises físicas, químicas e tecnológicas dos pães foram realizadas duas horas após a retirada do forno, conforme Zambelli *et al.* (2018). O fluxograma do processo de elaboração encontra-se representado na Figura 12, e na Figura 13 são apresentados o pão tipo forma controle e os pães tipo forma produzidos com adição de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim.

2.7 Análises realizadas nas matérias-primas (FSF e GSF) e nas formulações de pão tipo forma

2.7.1 Perda por Cocção

Foi calculada a perda por cocção (% PC) dos pães através da Equação 7, conforme o estudo de Alvarez-Jubete *et al.* (2010) e Zambelli *et al.*, (2017c).

$$PC (\%) = \left[\frac{P_1 - (P_2)}{P_1} \right] \times 100 \quad (7)$$

Onde: P_1 = é o peso do pão antes do cozimento; P_2 = é o peso do pão após o cozimento e resfriamento.

2.7.2 Índice de expansão

O Índice de Expansão dos pães foi calculado seguindo a metodologia de Zambelli *et al.*, (2018), conforme a Equação 8. Utilizou-se porções de massas moldadas de forma cilíndrica, de 10 gramas, aproximadamente, determinando-se o seu diâmetro, e a altura com auxílio de um paquímetro calibrado, no início da fermentação e após o forneamento.

$$\text{Índice de expansão} = \frac{\frac{(Dp+Hp)}{2}}{\frac{(Dm+Hm)}{2}} \quad (8)$$

Onde: Dp é o diâmetro do pão após o forneamento; Hp é a altura do pão após o forneamento; Dm é o diâmetro da massa moldada; Hm é a altura da massa moldada.

2.7.3 Volume específico do pão

O volume específico dos pães foi determinado segundo método da AACCC (2000). O volume deslocado dos pães foi medido através de preenchimento de recipiente plástico e transparente com semente de painço. Parte das sementes foi substituída pela amostra de pão de forma e o volume completado até a borda, onde o nivelamento foi realizado com auxílio de régua plástica. As sementes remanescentes, correspondente ao volume deslocado pela amostra, foram colocadas em proveta graduada de 1000 mL, expressando o resultado em mL. O volume específico foi calculado pela divisão do volume deslocado do pão (mL) pela sua massa (g), conforme equação abaixo:

$$\text{Volume específico } \left(\frac{\text{mL}}{\text{g}}\right) = \frac{\text{Volume deslocado (mL)}}{\text{Peso da amostra assada (g)}} \quad (9)$$

2.7.4 Densidade

A partir da análise do volume específico, foi calculada a densidade dos pães conforme Zambelli *et al.* (2015), através da razão entre a massa (g) dos pães assados e seu respectivo volume deslocado (mL), conforme a Equação 10.

$$\text{Densidade } \left(\frac{\text{g}}{\text{mL}}\right) = \frac{\text{Peso da amostra assada (g)}}{\text{Volume deslocado (mL)}} \quad (10)$$

2.7.5 Análise de imagem da estrutura do miolo

As estruturas dos miolos dos pães foram avaliadas através de imagens digitais. As imagens foram obtidas por digitalização em resolução de 550 dpi em scanner HP ScanJet 2400, na área central do miolo com resolução de 900x900 pixels. As imagens obtidas foram analisadas com o *software* ImageJ® 1.47v (*National Institute of Health*, USA). As imagens foram salvas como arquivos em formato de jpeg e cortadas para um campo de vista de 900x900 mm, as imagens coloridas capturadas foram convertidas para 8-bit em tons de cinza, onde foi realizada a limiarização por meio do algoritmo de Otsu. A partir disto, foi possível obter os valores do número de alvéolos e circularidade dos alvéolos (GONZALES-BARRÓN; BUTLER, 2006; ZAMBELLI *et al.*, 2017b).

2.7.6 Análise instrumental de cor

A cor da crosta e do miolo dos pães foi determinada usando o colorímetro Minolta® CR-300 (Hunter Associates Inc., Reston, VA, EUA), com uma área de medição de 8 mm e geometrias d/0°, ângulo de visão de 10 ° e iluminante padrão D65. Médias de três medições dos valores de L*, a*, b* e C* foram registradas (BUERA; RETRIELLA; LOZANO, 1985; SARICOBAN; YILMAZ, 2010; ZAMBELLI *et al.*, 2017c).

2.7.7 Análises físico-químicas e centesimal

Foram realizadas análises de pH, acidez, proteínas, umidade, cinzas e fibra bruta das matérias-primas (FSF e GSF) e dos pães seguindo as recomendações do Instituto Adolfo Lutz (2008) e *Association of Official Analytical Chemists - AOAC* (2005). A atividade de água foi determinada através de leitura da amostra em analisador de atividade de água (Nov-Labswift), marca Novasina conforme a recomendação do fabricante. O teor de carboidratos foi calculado por diferença para se obter 100% da composição total. O valor calórico da porção de 100 g das amostras foi calculado de acordo com a tabela de composição de alimentos (BRASIL, 2011), utilizando os fatores de conversão de Atwater: 4 kcal/g (carboidratos), 9 kcal/g (lipídios) e 4 kcal/g (proteínas). As análises foram realizadas em triplicatas.

2.7.8 Determinação do teor de fenólicos totais

Para obtenção dos extratos aquosos das matérias-primas (FSF e GSF) e das formulações de pães tipo forma, foi utilizado o método de extração sequencial, a partir de 10 g de amostra para 100 mL do solvente na proporção de 1:10. As amostras foram submetidas à agitação contínua em mesa agitadora orbital de bancada (Marca Nova Técnica, modelo NT145) a uma velocidade de 9 rpm, durante 30 min, sendo, em seguida, submetidas a agitação em aparelho de ultrassom (Marca LGI Scientific, modelo LGI-LUC-180), a uma frequência de 37 kHz, durante 30 min com renovação de água para não degradar os metabolitos sensíveis a temperatura. Ao final do processo, foram submetidas à filtração com uso de papel filtro Whatman nº 4 e auxílio de uma bomba de vácuo (Marca Primatec, modelo 132 tipo 2VC). Os extratos obtidos foram armazenados em frasco de vidro âmbar e estocados sob refrigeração para posterior análise de fenólicos e atividade antioxidante.

A determinação do teor de fenólicos totais seguiu a metodologia descrita por Swain e Hills (1959). Inicialmente as amostras foram solubilizadas em água destilada. Das soluções preparadas foram retiradas uma alíquota de 0,5 mL e transferidas para tubos de ensaio, adicionado 8 mL de água destilada e 0,5 mL do reagente *Folin Ciocalteau* 20% (v:v). Em seguida, a solução foi homogeneizada em agitador tipo vórtex, e após 3 min, foi acrescido 1 mL de solução de carbonato de sódio (Na₂CO₃) a 20% (m:v). Após 1h em banho maria a 37°C, foram realizadas as leituras das densidades óticas dessa solução em espectrofotômetro (Marca Biosystems, modelo SP2100/UV/5NM-IC) à 720 nm.

Utilizou-se como padrão de referência o ácido gálico marca Sigma®, para construir uma curva de calibração (cuja equação da reta foi $y = 5,7467x + 0,014$ e $R^2 = 0,9989$). A partir da equação da reta obtida na curva de calibração (Figura 5), realizou-se o cálculo do teor de fenólicos totais, expresso em mg EAG (equivalente ao ácido gálico) / g de amostra. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.7.9 Determinação da capacidade antioxidante pelo método DPPH'

Para determinação da atividade antioxidante das matérias-primas (FSF e GSF) e dos pães pelo método DPPH', foi utilizado 1,5 mL da solução etanólica do radical DPPH' (6×10^{-5} M) e uma alíquota de 0,5 mL das amostras contendo diferentes concentrações de cada extrato. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Marca Biosystems, modelo SP2100/UV/5NM-IC) à 517 nm, após trinta (30) minutos do início da reação. As determinações foram feitas em triplicata acompanhada de um controle negativo (sem antioxidante) e dois controles positivos (padrões: ácido ascórbico e Trolox®, natural e sintético respectivamente). A queda na leitura da densidade ótica das amostras foi correlacionada com o controle (somente o radical), estabelecendo-se a porcentagem de inibição do radical DPPH' conforme Equação 11 a seguir (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995; VIEIRA *et al.*, 2011).

$$\% \text{ de inibição do radical DPPH}' = [(Ab_{\text{controle}} - Ab_{\text{amostra}}) / Ab_{\text{controle}}] \times 100 \quad (11)$$

Onde: Abs é a absorvância

Além do percentual de proteção, também foi calculada a concentração eficaz para inibir 50% do radical DPPH' (CE₅₀).

2.7.10 Análises de Minerais

Para as análises dos minerais das matérias-primas (FSF e GSF) e dos pães foram seguidos os métodos descritos por Silva e Queiroz (2006). Foram pesadas 200 mg (0,2 g) da amostra e depois foram transferidas para um tubo de digestão, sendo adicionados 5 mL da solução digestora (solução nitro-perclórica, 2:1). Os tubos foram colocados no bloco digestor por aproximadamente duas horas até atingir 200 °C. Após a digestão, os extratos se apresentaram transparentes e límpidos e com um volume aproximado de 2 mL.

2.7.10.1 Fósforo (P)

A determinação do fósforo foi realizada por colorimetria, segundo método descrito por Silva e Queiroz (2002). Após a etapa da digestão, o extrato foi completado com água destilada até 20 mL e homogeneizado. Uma alíquota de 200 µL do extrato foi transferida para um tubo de ensaio, onde foi adicionado 8,4 mL de água destilada, 1 mL de solução ácida de molibdato de amônia e 400 µL de solução de ácido ascórbico a 2%. O extrato preparado foi então homogeneizado em agitador tipo vortex e a leitura foi realizada no espectrofotômetro (Marca BEL Photonics, modelo 2000 UV), em comprimento de onda de 725 nanômetros, a leitura do branco foi feita para que ao final fosse subtraído da leitura direta do equipamento. Os valores de leitura em absorbância foram aplicados na fórmula:

$$P = (0,2 \times \text{Leitura} / \text{Peso da amostra}) / 10000 \quad (12)$$

Em que o 0,2 da fórmula representa o fator obtido da curva de calibração. Os valores das concentrações de fósforo foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para mg/100g.

2.7.10.2 Potássio (K)

Após a etapa da digestão, o extrato foi dissolvido com água destilada até 20 mL. O extrato foi homogeneizado, em seguida foi feita a retirada de 2 mL de extrato e colocou em um tubo de ensaio junto com 2 mL de água destilada e ocorre outra homogeneização, depois a leitura foi realizada diretamente com o fotômetro de chama (marca Micronal, modelo 906 AA).

O equipamento foi ajustado e calibrado com soluções padrões antes das leituras. O valor da concentração de potássio foi obtido em partes por milhão (ppm) e depois transformado para mg/100g.

2.7.10.3 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Após a etapa da digestão, o extrato foi avolumado com água destilada até 20 mL e homogeneizado. Foi retirado 800 µL do extrato para ser transferido para um tubo de ensaio, onde foram adicionados 7 mL de lantânio e 6,2 mL de água destilada, depois ocorreu a homogeneização e a leitura foi prosseguida no espectro de absorbância atômica (marca GBC, modelo B462). Os valores das concentrações de cálcio e magnésio foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para mg/100g.

2.7.10.4 Ferro (Fe) e Zinco (Zn)

Após a etapa da digestão, o extrato foi diluído com água destilada até 20 mL. Em seguida foi homogeneizado e a leitura foi feita no espectrofotômetro de absorção atômica (marca GBC, modelo B462). Os valores das concentrações de ferro e zinco foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para mg/100g.

2.7.11 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

A microestrutura das formulações de pães tipo forma foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura, utilizando um equipamento Quanta FEG (450, FEI). Antes da análise, cada amostra foi recoberta com uma camada de ouro em um revestidor *sputter* (Structure Probe, West Chester, PA). As micrografias foram obtidas em diferentes ampliações (500× e 1000×), selecionadas conforme o tamanho das partículas, com potencial aceleração de 30 kV durante a aquisição das imagens.

2.8 Análises estatísticas

Para estatisticamente certificar as igualdades ou variações dos resultados dos pães obtidos nos ensaios do planejamento fatorial com o ensaio controle e as matérias-primas, os

valores determinados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) e teste *Tukey* ao nível de 5% utilizando o software Statistica® 10.0 (Statsoft, USA).

Para avaliar os efeitos das variáveis nos parâmetros de qualidade dos pães foi utilizada a análise de regressão multivariada, sobretudo, a de segunda ordem, dado pela seguinte equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (13)$$

Onde: Y = é a variável dependente; x_1 = é a farinha da semente de flamboyant-mirim - FSF; x_2 = é o gel da semente de flamboyant-mirim - GSF; β_0 = é a constante do intercepto; β_1 e β_2 = são os coeficientes de efeitos lineares; β_{11} e β_{22} = são os coeficientes de efeitos quadráticos; β_{12} = é o coeficiente de efeito e interação entre as variáveis.

Nos modelos matemáticos gerados foi observada a significância da regressão através do teste F, falta de ajuste não significativa e pelo coeficiente de determinação (R^2). A partir destas análises estatísticas foi possível gerar as superfícies de resposta e curvas de contorno validadas estatisticamente e que apresentem a influência das variáveis independentes sobre as características de qualidade dos pães.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados dos parâmetros físicos e tecnológicos dos pães analisados

Os valores obtidos para as respostas avaliadas dos parâmetros perda por cocção, volume específico e densidade estão apresentados na Tabela 13. Os resultados referentes à amostra controle também estão incluídos na mesma tabela para fins comparativos.

A perda durante a cocção ocorre principalmente devido à evaporação de líquidos, especialmente água (MARINHO *et al.*, 2021; NÖRNBERG *et al.*, 2022). Os ensaios 4 (FSF = 10% e GSF = 5%) e 8 (FSF = 7,5% e GSF = 5,828%) apresentaram as maiores perdas durante a cocção ($12,81 \pm 0,22\%$ e $12,82 \pm 0,28\%$, respectivamente), indicando menor capacidade de retenção de água durante o processamento. Por outro lado, a formulação controle apresentou a menor perda por cocção ($7,95 \pm 0,61\%$), evidenciando maior retenção de umidade na massa. Quanto menor a perda por cocção, maior o rendimento do pão (ANDRADE *et al.*, 2018). Assim, a formulação controle exibiu o melhor rendimento, enquanto as formulações 4 e 8 apresentaram os menores rendimentos, devido às maiores perdas por cocção. Já os ensaios 1, 9, 10 e 11 (Tabela 13) mostraram melhores desempenhos, com menores perdas por cocção.

Tabela 13 - Resultados médios e teste Tukey para os parâmetros de perda por cocção, densidade e volume específico dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim.

Ensaio	FSF - % (x ₁)	GSF - % (x ₂)	Perda por cocção (%)	Volume específico (mL/g)	Densidade (g/mL)
1	5,0 (-1)	1,0 (-1)	8,69±0,11 ^{ef}	3,27±0,13 ^{ab}	0,30±0,01 ^{bc}
2	5,0 (-1)	5,0 (+1)	9,45±0,45 ^{de}	3,51±0,23 ^{ab}	0,28±0,01 ^{bc}
3	10,0 (+1)	1,0 (-1)	9,50±0,19 ^{de}	3,55±0,12 ^{ab}	0,28±0,09 ^{bc}
4	10,0 (+1)	5,0 (+1)	12,81±0,22 ^a	3,59±0,25 ^{ab}	0,27±0,01 ^{bc}
5	3,964 (-1,41)	3,0 (0)	11,59±0,38 ^b	3,00±0,13 ^b	0,33±0,01 ^b
6	11,035 (+1,41)	3,0 (0)	10,71±0,72 ^{bc}	3,87±0,55 ^a	0,26±0,03 ^c
7	7,5 (0)	0,171 (-1,41)	10,05±0,10 ^{cd}	3,44±0,15 ^{ab}	0,29±0,01 ^{bc}
8	7,5 (0)	5,828 (+1,41)	12,82±0,28 ^a	3,37±0,35 ^{ab}	0,29±0,02 ^{bc}
9	7,5 (0)	3,0 (0)	8,99±0,12 ^{def}	3,60±0,24 ^{ab}	0,27±0,01 ^{bc}
10	7,5 (0)	3,0 (0)	8,95±0,30 ^{ef}	3,16±0,08 ^{ab}	0,31±0,00 ^{bc}
11	7,5 (0)	3,0 (0)	8,92±0,31 ^{ef}	3,53±0,01 ^{ab}	0,28±0,00 ^{bc}
Controle	-	-	7,95±0,61 ^f	2,16±0,05 ^c	0,46±0,01 ^a

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d,e,f} Letras diferentes na mesma coluna evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey (p<0,05). FSF – Farinha da Semente de Flamboyant-mirim. GSF – Gel da Semente de Flamboyant-mirim.

A perda total de cozimento depende de diversos fatores, como formato, tamanho, volume e tipo de pão, bem como método de preparo da massa e tipo de forno utilizado (KASPRZAK; RZEDZICKI, 2010; WIRKIJOWSKA *et al.*, 2020). Valores semelhantes foram reportados em estudos prévios: Adamczyk *et al.* (2021) observaram perdas entre 8,04 e 10,18% em pães adicionados de semente de chia, sem diferenças significativas em relação ao controle; Mikolášová *et al.* (2022) relataram variação de 9 a 13% em pães elaborados com diferentes óleos vegetais (abóbora, colza e girassol); e Marinho *et al.* (2021) descreveram perdas entre 4,67 e 9,33% em pães integrais com farinha de banana verde, valores próximos aos encontrados neste estudo.

Valores superiores aos encontrados nesta pesquisa foram relatados por Wirkijowska *et al.* (2020), que observaram perdas de cozimento de aproximadamente 13% em pães produzidos com farinha e bagaço de linhaça. De forma distinta, Andrade *et al.* (2018) registraram valores próximos de 8% para pães elaborados com farinha de banana verde. Já Zambelli *et al.* (2017c) verificaram perdas de cocção dentro da faixa observada neste estudo, variando de 3,66 a 17% em pães enriquecidos com pó de açaí e polidextrose.

O volume específico é um parâmetro fundamental para avaliar a qualidade do pão, pois relaciona o volume e o peso do produto (ZAMBELLI *et al.*, 2017c; KUREK *et al.*, 2018). Essa variável expressa a capacidade da farinha de expandir e reter gases no interior da massa

durante o forneamento (NÖRNBERG *et al.*, 2022). Com base na Tabela 13, observou-se que a adição de FSF e GSF teve efeito positivo sobre o volume específico dos pães tipo forma. Todos os ensaios apresentaram valores superiores ao pão controle, indicando melhora na capacidade de expansão da massa. O maior volume específico foi verificado para o ensaio 6 ($3,87 \pm 0,55$ mL/g), que continha 11,035% de FSF e 3% de GSF, enquanto o menor valor foi observado para o pão controle ($2,16 \pm 0,05$ mL/g). Essa variação pode ser atribuída, principalmente, às diferentes proporções de FSF e GSF incorporadas às formulações.

Estudos prévios também relatam o impacto de ingredientes vegetais no volume específico de pães. Adamczyk *et al.* (2021) verificaram que a adição de 1% e 5% de sementes de chia inteiras e 1% de chia moída aumentou o volume específico em relação à amostra controle, enquanto 5% de chia moída reduziu essa característica, com valores entre 2,57 e 2,98 cm³/g, inferiores aos obtidos neste estudo.

Wirkijowska *et al.* (2020) observaram uma diminuição do volume específico em pães adicionados de farinha e bagaço de linhaça em relação ao controle, com valores variando entre 2,32 e 2,85 cm³/g, inferiores aos obtidos nesta pesquisa. De forma semelhante, Abdel-Ghany e Zaki (2023) relataram valores menores de volume específico para pães adicionados de resíduo de vagem de quiabo (1,81 a 2,00 cm³/g) quando comparados à amostra controle (2,28 cm³/g). Já Zambelli *et al.* (2018) observaram uma redução do volume específico com o aumento dos níveis de gergelim preto e farinha de linhaça, enquanto Meral e Doğan (2013) não encontraram diferenças significativas na adição de farinha de semente de uva, registrando valores entre 3,75 e 4,09 cm³/g, próximos aos desta pesquisa.

O volume específico é influenciado por fatores como a qualidade e quantidade de proteínas da farinha de trigo e o tempo de fermentação (CONTO *et al.*, 2012), bem como pelo tipo, qualidade e proporção dos ingredientes utilizados (FELISBERTO *et al.*, 2015; FERNANDES; SALAS-MELLADO, 2017; FAGUNDES; ROCHA; SALAS-MELLADO, 2018). Além disso, a presença de fibras pode afetar esse parâmetro, já que suas estruturas alongadas tendem a romper as paredes que retêm o CO₂, originando bolhas de gás maiores na massa (VILHALVA *et al.*, 2011; FERREIRA *et al.*, 2020).

Uma possível explicação para o aumento do volume específico nas formulações contendo FSF e GSF é a presença de polissacarídeos, principalmente galactomananas, nas sementes de flamboyant-mirim. Esses compostos possuem elevada capacidade hidrocoloidal e

têm sido amplamente estudados para aplicações em alimentos como espessantes, estabilizantes e fontes de fibras (BURITI *et al.*, 2014; PASSOS *et al.*, 2021; SENARATHNA *et al.*, 2022).

A adição de hidrocoloides durante o processamento de pães (especialmente em formulações com baixo teor de glúten) exerce um efeito positivo na estrutura e volume, melhorando a textura, maciez, sabor e qualidade global, além de prolongar a vida útil do produto (CULETU *et al.*, 2021). Tais compostos favorecem a retenção de CO₂ e aumentam a capacidade de retenção de umidade, interagindo com as moléculas de amido, o que retarda a retrogradação e inibe o endurecimento do pão (BOTELHO, 2012; SANTOS *et al.*, 2019).

Além disso, as maiores porcentagens de lipídios observadas nos pães contendo farinha e gel da semente de flamboyant-mirim ($8,78 \pm 0,03$ a $10,11 \pm 0,07$ %) em comparação ao pão controle ($8,28 \pm 0,12$ %), provavelmente influenciaram o aumento do volume específico, uma vez que a gordura contribui para a aeração da massa, afetando positivamente o volume (FERNANDES; SALAS-MELLADO, 2017; FAGUNDES; ROCHA; SALAS-MELLADO, 2018).

Marinho *et al.* (2021) destacam que o volume específico e a densidade refletem a relação entre o teor de sólidos e a fração de ar presente no miolo. Os pães produzidos com FSF e GSF apresentaram densidades significativamente menores ($p < 0,05$) em relação ao controle (Tabela 13), indicando produtos menos densos e, conseqüentemente, maior volume específico. O menor valor de densidade ($0,26 \pm 0,03$ g/mL) foi observado no ensaio 6 (FSF = 11,035% e GSF = 3%), enquanto o maior valor ($0,46 \pm 0,01$ g/mL) foi registrado para o pão controle. Essa variação pode ser atribuída, principalmente, às diferenças nas concentrações de FSF e GSF incorporadas às formulações.

Kumar *et al.* (2022) relataram valores de densidade inferiores aos deste estudo, variando de 0,194 a 0,206 g/mL, em pães fortificados com *Chenopodium album*, *ashwagandha*, sementes de linhaça e giloy. Valores similares aos desta pesquisa foram observados por Zambelli *et al.* (2015), com variações entre 0,27 e 0,40 g/mL para pães tipo forma; por Esteller e Lannes (2005), que encontraram 0,24 g/mL para pães tipo forma; e por Cunha *et al.* (2021), que reportaram densidades entre 0,33 e 0,57 g/mL em pães doces adicionados de farinha de casca e polpa de pequi.

De acordo com Esteller e Lannes (2005), massas com alta densidade ou baixo volume específico (“embatumadas”) tendem a apresentar aspecto indesejável ao consumidor, sendo associadas a excesso de umidade, falhas na aeração e cocção, resultando em textura

compacta, difícil mastigação, sabor alterado e menor conservação. Assim, os pães adicionados de farinha e gel de flamboyant-mirim exibiram melhor aparência e qualidade tecnológica, evidenciada pelos baixos valores de densidade e altos volumes específicos em comparação ao pão controle.

Na Tabela 14 estão apresentados os resultados referentes aos parâmetros índice de expansão, número de alvéolos e circularidade dos alvéolos dos pães tipo forma elaborados com a adição de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim. Verificou-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as respostas avaliadas para o número de alvéolos e para a circularidade dos alvéolos, com exceção do índice de expansão, que não apresentou diferença estatisticamente significativa entre as formulações.

Tabela 14 - Resultados médios e teste *Tukey* para os parâmetros de índice de expansão, número de alvéolos e circularidade dos alvéolos dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim.

Ensaio	FSF - % (X ₁)	GSF - % (X ₂)	Índice de expansão (cm)	Número de alvéolos	Circularidade dos alvéolos
1	5,0 (-1)	1,0 (-1)	1,26±0,01 ^a	1034±58,00 ^c	0,928±0,02 ^{ab}
2	5,0 (-1)	5,0 (+1)	1,32±0,11 ^a	1120±45,00 ^b	0,900±0,04 ^b
3	10,0 (+1)	1,0 (-1)	1,32±0,05 ^a	1199±38,00 ^b	0,903±0,03 ^b
4	10,0 (+1)	5,0 (+1)	1,35±0,05 ^a	1244±29,00 ^{ab}	0,939±0,02 ^{ab}
5	3,964 (-1,41)	3,0 (0)	1,28±0,01 ^a	912±31,00 ^c	0,832±0,04 ^d
6	11,035 (+1,41)	3,0 (0)	1,30±0,04 ^a	1383±19,00 ^a	0,952±0,01 ^a
7	7,5 (0)	0,171 (-1,41)	1,24±0,04 ^a	1093±28,00 ^b	0,908±0,03 ^b
8	7,5 (0)	5,828 (+1,41)	1,25±0,05 ^a	1012±32,00 ^{bc}	0,898±0,03 ^c
9	7,5 (0)	3,0 (0)	1,31±0,02 ^a	1183±14,00 ^b	0,910±0,02 ^b
10	7,5 (0)	3,0 (0)	1,32±0,03 ^a	1179±18,00 ^b	0,905±0,03 ^b
11	7,5 (0)	3,0 (0)	1,29±0,03 ^a	1190±21,00 ^b	0,908±0,03 ^b
Controle	-	-	1,31±0,04 ^a	728±30,00 ^d	0,639±0,03 ^c

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d,e} Letras diferentes na mesma coluna evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). FSF – Farinha da Semente de Flamboyant-mirim. GSF – Gel da Semente de Flamboyant-mirim.

O índice de expansão avalia a capacidade da massa de expandir nas direções vertical e horizontal durante o forneamento. Assim, quanto maior o índice de expansão, maior será o crescimento do pão durante o processo de cocção, o que representa um aspecto tecnológico positivo, associado a uma melhor aeração e leveza da estrutura interna do produto (ZAMBELLI, 2014; MARINHO *et al.*, 2021).

Para o índice de expansão dos pães (Tabela 14), verificou-se que a adição de FSF e GSF não influenciou estatisticamente ($p > 0,05$) esse parâmetro, com valores variando entre $1,24 \pm 0,04$ e $1,35 \pm 0,05$ cm. A influência da adição de matérias-primas vegetais sobre o índice

de expansão dos pães tem sido amplamente relatada na literatura. Zambelli *et al.* (2015) reportaram valores próximos aos desta pesquisa, variando de 1,03 a 1,29 cm para pães tipo forma. Resultados inferiores foram observados por Cunha *et al.* (2021), que encontraram índices de expansão entre 0,37 e 0,46 cm em pães doces adicionados de farinha de casca e polpa de pequi.

Marinho *et al.* (2021) obtiveram resultados diferentes em pães integrais adicionados de farinha de banana verde, nos quais formulações com maior teor da farinha apresentaram maiores índices de expansão, diferindo da formulação padrão. Em contrapartida, Zambelli (2014) observou redução nos índices de expansão em pães tipo forma com aumento na incorporação de ingredientes funcionais, como açaí, brócolis e tomate em pó.

As propriedades estruturais do miolo são fundamentais em termos sensoriais e influenciam diretamente a textura e o envelhecimento do pão (LAFARGA *et al.*, 2016). Os alvéolos correspondem às bolhas de gás formadas no miolo durante a fermentação, responsáveis pela textura esponjosa e leve do produto. A circularidade mede o quanto os alvéolos se aproximam de um formato circular, com valores variando de 0 a 1 (ROSELL; GÓMEZ, 2007; ZAMBELLI, 2014).

As estruturas internas dos pães elaborados com diferentes proporções de FSF e GSF apresentaram-se, de modo geral, semelhantes (Figura 13). Entretanto, observou-se que as formulações contendo FSF e GSF resultaram em pães com maior número e circularidade de alvéolos ($1034 \pm 58,00$ a $1383 \pm 19,00$ e $0,832 \pm 0,04$ a $0,952 \pm 0,01$, respectivamente), quando comparadas à formulação controle ($728 \pm 30,00$ e $0,639 \pm 0,03$). Entre as formulações, o ensaio 6 se destacou, apresentando os maiores valores para esses parâmetros (Tabela 14).

Provavelmente, a maior concentração de FSF (11,035%) associada a 3% de GSF favoreceu a formação de uma rede viscoelástica mais estável na massa, promovendo melhor estrutura do miolo e evitando retrações durante o forneamento. Essa estrutura reforçada permitiu maior retenção do gás produzido na fermentação, resultando em um pão com maior volume e melhor textura interna.

Diferentemente do observado nesta pesquisa, Ferreira *et al.* (2020) relataram que o número e a circularidade dos alvéolos diminuíram com o aumento da adição de farinha mista de sementes de abóbora, talos de brócolis e casca de batata-doce ao pão. Os autores ressaltaram que a incorporação dessas farinhas vegetais compromete a formação da rede de glúten e retarda a fermentação da massa.

Zambelli *et al.* (2017b) observaram que a inclusão de 5% de brócolis aumentou o número de alvéolos (1102) em pães tipo forma. No entanto, a adição de 10% do mesmo ingrediente reduziu esse parâmetro para 636 alvéolos, diminuindo a qualidade do miolo em comparação à formulação controle (838 alvéolos).

A cor é um atributo organoléptico essencial de qualidade, diretamente relacionado à aceitabilidade, comercialização e percepção de salubridade dos alimentos, sendo geralmente o primeiro fator que influencia a decisão do consumidor na compra ou consumo de produtos alimentícios (CALIX-RIVERA; RONDA, 2023).

Na Tabela 15 encontram-se os resultados para os parâmetros de cor do miolo dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim. A análise instrumental de cor evidenciou diferenças significativas ($p < 0,05$) em todos os parâmetros do sistema CIELab (L^* , a^* , b^*), indicando que a adição dos ingredientes influenciou a coloração interna do produto.

Tabela 15 - Resultados médios e teste *Tukey* para os parâmetros de cor do miolo (L^* , a^* , b^* e C^*) dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim.

Ensaio	FSF - % (x_1)	GSF - % (x_2)	L^* miolo	a^* miolo	b^* miolo	C^* miolo
1	5,0 (-1)	1,0 (-1)	55,64±2,65 ^{abc}	2,60±0,17 ^d	15,80±1,22 ^{cd}	16,02±1,23 ^{cd}
2	5,0 (-1)	5,0 (+1)	57,06±1,10 ^{abc}	2,31±0,06 ^d	14,78±0,57 ^d	14,93±0,61 ^d
3	10,0 (+1)	1,0 (-1)	48,22±10,11 ^c	3,81±0,24 ^{abc}	20,00±0,73 ^{ab}	20,35±0,75 ^{ab}
4	10,0 (+1)	5,0 (+1)	52,13±3,20 ^c	4,65±0,10 ^a	19,84±0,26 ^{ab}	20,38±0,27 ^{ab}
5	3,964 (-1,41)	3,0 (0)	57,50±3,35 ^{abc}	3,01±0,31 ^{cd}	15,43±0,67 ^{cd}	15,72±0,69 ^{cd}
6	11,035 (+1,41)	3,0 (0)	59,02±1,14 ^{abc}	4,67±0,19 ^a	21,05±0,15 ^a	21,56±0,16 ^a
7	7,5 (0)	0,171 (-1,41)	64,72±1,49 ^{ab}	4,21±0,53 ^{ab}	19,44±1,42 ^{ab}	19,89±1,49 ^{ab}
8	7,5 (0)	5,828 (+1,41)	56,14±4,80 ^{abc}	4,33±0,67 ^{ab}	18,30±1,25 ^{abc}	18,81±1,38 ^{abc}
9	7,5 (0)	3,0 (0)	59,15±3,71 ^{abc}	3,65±0,37 ^{bc}	19,51±1,44 ^{ab}	19,84±1,47 ^{ab}
10	7,5 (0)	3,0 (0)	54,13±4,94 ^{bc}	2,65±0,43 ^d	17,31±1,76 ^{bcd}	17,52±1,81 ^{bcd}
11	7,5 (0)	3,0 (0)	58,17±0,57 ^{abc}	3,64±0,02 ^{bc}	19,46±0,63 ^{ab}	19,80±0,61 ^{ab}
Controle	-	-	67,19±0,57 ^a	0,52±0,03 ^c	19,91±0,54 ^{ab}	19,92±0,54 ^{ab}

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d}Letras diferentes na mesma coluna evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). FSF – Farinha da Semente de Flamboyant-mirim. GSF – Gel da Semente de Flamboyant-mirim.

Os valores de L^* do miolo dos pães foram significativamente menores ($p < 0,05$) para as formulações produzidas com farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, indicando pães com miolo mais escuro em comparação ao controle (Tabela 15). Os menores valores de luminosidade foram observados nos ensaios 3 (FSF = 10% e GSF = 1%) e 4 (FSF = 10% e GSF = 5%), com valores de L^* iguais a $48,22 \pm 10,11$ e $52,13 \pm 3,20$, respectivamente. O maior valor de luminosidade foi obtido para o pão controle ($L^* = 67,19 \pm 0,57$).

Essa redução nos valores de L^* pode ser atribuída às diferentes proporções de farinha e gel adicionadas à massa, resultando em menor luminosidade do miolo. A FSF (Figura 10) apresenta coloração amarelo-clara, enquanto o GSF (Figura 11) possui tonalidade marrom mais escura, o que contribui para o escurecimento das formulações com maiores teores de gel. Meral e Doğan (2013) destacam que a cor do miolo é geralmente semelhante à cor dos ingredientes, uma vez que o miolo não atinge temperaturas elevadas durante o forneamento. Segundo Esteller e Lannes (2005), a temperatura média no centro do miolo é de aproximadamente 98 °C. Já Ezhilarasi *et al.* (2013) ressaltam que, apesar de a temperatura interna ser menor que a da crosta, a alta atividade de água do miolo contribui para sua coloração mais clara.

Além disso, os menores valores de L^* podem estar associados às interações químicas entre os ingredientes ativadas pelo calor, como reações de escurecimento não enzimático, que envolvem proteínas e carboidratos (RODRIGUEZ FURLÁN; PÉREZ PADILLA; CAMPDERRÓS, 2015; FAGUNDES; ROCHA; SALLAS-MELADO, 2018).

Diversas pesquisas relatam o impacto da incorporação de matérias-primas vegetais sobre a luminosidade (L^*) dos pães. Aljobair (2024) observou que a luminosidade do miolo diminuiu significativamente com a adição de pó de casca de vegetais, apresentando valores de L^* entre 65,6 e 69,8, em comparação ao pão controle ($L^* = 73,8$), resultados superiores aos encontrados neste estudo. De forma semelhante, Abdel-Ghany e Zaki (2023) verificaram que o aumento da proporção de pó de resíduos de vagem de quiabo reduziu significativamente o valor de L^* de 67,73 (pão controle) para 43,04 (pão com 15% de adição), valores próximos aos observados nesta pesquisa.

Os valores de a^* do miolo dos pães foram estatisticamente superiores ($p < 0,05$) para as formulações produzidas com farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, indicando pães com coloração mais avermelhada em relação ao controle (Tabela 15). Os maiores valores de a^* foram obtidos para os ensaios 4 (FSF = 10% e GSF = 5%) e 6 (FSF = 11,035% e GSF = 3%), com valores de $4,65 \pm 0,10$ e $4,67 \pm 0,19$, respectivamente. A amostra menos avermelhada foi o pão controle ($a^* = 0,52 \pm 0,03$). Essa tonalidade mais avermelhada pode estar relacionada à cor natural da farinha e do gel da semente de flamboyant-mirim e às interações químicas entre os ingredientes durante o processamento térmico.

De forma semelhante, Aljobair (2024) relatou que a tonalidade vermelha (a^*) permaneceu mais alta nos pães adicionados de 10% de pó de casca de vegetais ($a^* = 3,01$) em

comparação ao pão controle, que apresentou coloração tendendo ao verde ($a^* = -1,06$), valores inferiores aos encontrados neste estudo.

Abdel-Ghany e Zaki (2023) relataram que a coloração avermelhada aumentou significativamente na formulação contendo 15% de pó de resíduos de vagem de quiabo ($a^* = 1,64$), em relação ao controle, cuja coloração apresentava tonalidade esverdeada ($a^* = -1,37$).

Para o parâmetro b^* da cor do miolo, verificou-se que todas as formulações de pães apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$), com tonalidade predominante amarelada (Tabela 15). O ensaio 6 (FSF = 11,035% e GSF = 3%) apresentou o maior valor de b^* ($21,05 \pm 0,15$), enquanto a formulação menos amarelada foi observada no ensaio 2 (FSF = 5% e GSF = 5%), com $b^* = 14,78 \pm 0,57$. Essa coloração amarelada pode estar associada à tonalidade natural da farinha e do gel da semente de flamboyant-mirim, bem como às interações entre os compostos fenólicos, açúcares e proteínas durante o processamento térmico.

Berwig, Marques e Monteiro (2018) observaram valores elevados de b^* (tonalidade amarela) para pães tipo forma, variando de 15,89 a 20,22, próximos aos encontrados neste estudo. De modo semelhante, Aljobair (2024) relatou maior intensidade de amarelo nos pães adicionados de pó de casca de vegetais ($b^* = 21,8$ a 39,2) em comparação ao controle ($b^* = 19,2$), resultados superiores aos obtidos nas formulações deste trabalho. Por outro lado, Abdel-Ghany e Zaki (2023) verificaram redução significativa da coloração amarelada ($b^* = 17,56$) nos pães contendo 15% de pó de resíduos de vagem de quiabo, em relação ao controle ($b^* = 22,54$), valores próximos aos desta pesquisa.

O índice de saturação ou croma (C^*) representa o atributo qualitativo da colorimetria, indicando o grau de pureza e vivacidade da cor. Quanto maior o valor de C^* , menor é a presença de tons acinzentados, e, portanto, maior a intensidade e o brilho da cor percebida (COSTA; RIBEIRO; BOÊNO, 2020; KUMAR *et al.*, 2022). As formulações apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$): o ensaio 6 (FSF = 11,035% e GSF = 3%) exibiu o maior valor de C^* ($21,56 \pm 0,16$), indicando coloração mais intensa e brilhante (Tabela 15), enquanto o ensaio 2 (FSF = 5% e GSF = 5%) apresentou a menor saturação ($C^* = 14,93 \pm 0,61$). Essa maior intensidade cromática pode estar relacionada à oxidação e caramelização dos compostos fenólicos e pigmentos da FSF e do GSF durante o forneamento, além das interações químicas entre os demais ingredientes.

Resultados divergentes foram relatados por Kumar *et al.* (2022), que observaram valores de C^* mais elevados no pão controle em comparação aos pães fortificados com

Chenopodium album, ashwagandha, sementes de linhaça e giloy. Por outro lado, Proetto *et al.* (2024) relataram maior intensidade cromática nas formulações com farinhas de subprodutos de alcachofra ($C^* = 20,66$ a $21,92$) em relação ao controle ($C^* = 17,70$). Valores próximos aos deste trabalho foram observados por Conto *et al.* (2012), com variação de 15,98 a 22,35 para pães de forma incorporados com ômega-3 microencapsulado e extrato de alecrim.

A coloração do miolo pode ser influenciada por múltiplos fatores, incluindo a cor da farinha empregada, o tempo e a temperatura de forneamento, o tempo de fermentação, as interações entre os ingredientes e o pH da massa (DIAS *et al.*, 2020; ESTELLER, 2007; JOHANN, 2018; SOUSA, 2012; ZARDO, 2022).

Na Tabela 16 encontram-se os resultados referentes à cor da crosta dos pães tipo forma elaborados com diferentes proporções de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim. A análise colorimétrica da crosta revelou diferenças significativas ($p < 0,05$) em todos os parâmetros do sistema CIELab (L^* , a^* , b^* e C^*), indicando que a adição desses ingredientes influenciou de forma expressiva as características cromáticas superficiais dos pães.

Tabela 16 - Resultados médios e teste *Tukey* para os parâmetros de cor da crosta (L^* , a^* , b^* e C^*) dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim.

Ensaio	FSF - % (x ₁)	GSF - % (x ₂)	L* crosta	a* crosta	b* crosta	C* crosta
1	5,0 (-1)	1,0 (-1)	41,84±5,14 ^{abc}	16,17±1,72 ^{abc}	38,98±0,24 ^a	42,23±0,55 ^{ab}
2	5,0 (-1)	5,0 (+1)	50,49±7,65 ^a	13,30±1,98 ^c	32,19±6,15 ^b	36,55±4,34 ^b
3	10,0 (+1)	1,0 (-1)	48,74±5,07 ^{ab}	13,94±2,00 ^{bc}	36,76±1,86 ^{ab}	39,33±2,45 ^{ab}
4	10,0 (+1)	5,0 (+1)	46,17±1,51 ^{abc}	16,24±1,97 ^{abc}	37,02±2,50 ^{ab}	40,43±3,07 ^{ab}
5	3,964 (-1,41)	3,0 (0)	44,9±0,76 ^{abc}	18,88±0,44 ^a	39,09±0,95 ^a	43,41±1,04 ^a
6	11,035 (+1,41)	3,0 (0)	36,33±1,63 ^c	19,57±1,17 ^a	36,83±1,11 ^{ab}	41,71±1,49 ^{ab}
7	7,5 (0)	0,171 (-1,41)	42,37±2,96 ^{abc}	17,52±0,60 ^{ab}	38,83±0,52 ^a	42,61±0,62 ^{ab}
8	7,5 (0)	5,828 (+1,41)	38,76±1,26 ^{bc}	19,06±0,27 ^a	37,23±1,17 ^{ab}	41,83±1,13 ^{ab}
9	7,5 (0)	3,0 (0)	44,56±4,71 ^{abc}	16,26±2,08 ^{abc}	36,50±1,20 ^{ab}	39,99±1,46 ^{ab}
10	7,5 (0)	3,0 (0)	41,70±2,24 ^{abc}	18,27±0,50 ^a	39,57±0,25 ^a	43,59±0,28 ^a
11	7,5 (0)	3,0 (0)	37,5±4,57 ^{bc}	19,38±0,55 ^a	39,58±2,83 ^a	44,09±2,36 ^a
Controle	-	-	47,61±1,79 ^{abc}	19,36±0,39 ^a	40,69±1,31 ^a	45,06±1,02 ^a

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d} Letras diferentes na mesma coluna evidenciam diferença estatística pelo teste de *Tukey* ($p < 0,05$). FSF – Farinha da Semente de Flamboyant-mirim. GSF – Gel da Semente de Flamboyant-mirim.

Os valores de L^* da crosta dos pães tipo forma contendo farinha e gel da semente de flamboyant-mirim não diferiram estatisticamente do pão controle (Tabela 16). Observou-se, entretanto, uma ligeira tendência de escurecimento na crosta, especialmente no ensaio 6 (FSF = 11,035% e GSF = 3%), que apresentou $L^* = 36,33 \pm 1,63$, em comparação ao ensaio 2 (FSF = 5% e GSF = 5%), cuja crosta foi mais clara ($L^* = 50,49 \pm 7,65$). Essa variação entre as

formulações pode ser atribuída às diferentes proporções de FSF e GSF utilizadas, às interações entre os demais ingredientes e às reações de escurecimento não enzimático ocorridas durante o forneamento.

Embora a cor intrínseca dos ingredientes empregados na panificação influencie a coloração final, a cor da crosta está principalmente associada às reações de Maillard e à caramelização (MERAL e DOĞAN, 2013). Essas reações resultam de interações entre açúcares redutores e aminoácidos ou da degradação térmica de açúcares simples, sendo intensificadas conforme o grau de polimerização e a proporção de açúcares de baixo peso molecular presentes na formulação (ZHANG *et al.*, 2019; SHOBEIRI *et al.*, 2023; ABDEL-GHANY e ZAKI, 2023).

As reações de Maillard e caramelização são fortemente influenciadas pela composição da farinha, pelos ingredientes adicionados, pelo tempo e temperatura de cozimento, pelo pH da massa, bem como pelos metabólitos formados durante a fermentação (RIZZELLO *et al.*, 2010; EBRAHIMI *et al.*, 2022). De acordo com Martínez Anaya (1995) e Ertop e Şeker (2018), a duração da fermentação afeta significativamente a cor do pão, uma vez que influencia a formação de compostos precursores de pigmentos marrons.

Meral e Doğan (2013) observaram que os valores de L^* da crosta de pães enriquecidos com farinha de semente de uva variaram de 56,30 a 56,50. Os pães com 5,0% e 7,5% de adição não apresentaram diferença estatística em relação ao controle, mas o pão com 2,5% de adição apresentou maior luminosidade que o controle (comportamento distinto do observado neste estudo com flamboyant-mirim). De modo semelhante, Aljobair (2024) verificou que o maior valor de luminosidade da crosta foi obtido no pão controle ($L^* = 77,1$), enquanto a suplementação com pó de casca de vegetais (3%, 5% e 10%) resultou em escurecimento progressivo da crosta ($L^* = 66,1$ a $73,6$), valores mais altos que os observados nesta pesquisa.

Abdel-Ghany e Zaki (2023) observaram que, ao aumentar a proporção de adição de pó de resíduos de vagem de quiabo no pão de forma, o valor de L^* diminuiu significativamente, passando de 46,74 no pão controle para 38,68 na formulação contendo 15% de pó de resíduos de vagem de quiabo, tendência semelhante à observada na presente pesquisa.

Os valores de a^* da crosta dos ensaios produzidos não diferiram estatisticamente do controle ($p > 0,05$), exceto para o ensaio 2 (FSF = 5,0% e GSF = 5,0%), que apresentou coloração menos avermelhada em comparação ao pão controle (Tabela 16). Os valores de a^*

variaram de $13,30 \pm 1,98$ a $19,57 \pm 1,17$. Segundo Esteller e Lannes (2005), maiores valores de a^* indicam coloração mais escura na crosta; portanto, o ensaio 2 exibiu uma crosta visualmente mais clara. Essa variação pode estar relacionada às proporções diferenciadas de FSF e GSF, às interações entre os ingredientes da formulação e às reações de escurecimento não enzimático que ocorrem durante o forneamento.

A influência da adição de matérias-primas vegetais sobre a tonalidade avermelhada (a^*) dos pães foi relatada por diversos autores. Aljobair (2024) verificou que a coloração vermelha da crosta aumentou com a adição de pó de casca de vegetais ($a^* = 2$ a $4,47$) em relação ao controle ($a^* = -2,1$). Já Abdel-Ghany e Zaki (2023) observaram uma redução progressiva nos valores de a^* ($12,75$ a $8,18$) à medida que aumentaram as proporções de pó de resíduos de vagem de quiabo (5%, 10% e 15%), em relação ao controle ($a^* = 14,29$).

Os valores do parâmetro b^* da crosta também não diferiram estatisticamente do controle ($p > 0,05$), com exceção do ensaio 2 (FSF = 5,0% e GSF = 5,0%), que apresentou coloração menos amarelada (Tabela 16). Os valores de b^* variaram de $32,19 \pm 6,15$ a $40,69 \pm 1,31$. De acordo com Esteller e Lannes (2005), valores elevados de b^* indicam coloração mais amarelada ou dourada; assim, todas as formulações, exceto o ensaio 2, apresentaram tonalidade mais intensa e dourada. Essa variação também pode estar associada às diferentes proporções de FSF e GSF, às interações químicas entre os ingredientes e às reações de escurecimento térmico durante o cozimento.

Diferentemente dos resultados obtidos neste estudo, Aljobair (2024) observou aumento acentuado na tonalidade amarela da crosta com a adição de pó de casca de vegetais ($b^* = 25,3$) em comparação ao controle ($b^* = 16,5$). Já Abdel-Ghany e Zaki (2023) relataram redução significativa dos valores de b^* ($21,23$ a $17,11$) nas formulações com 5%, 10% e 15% de pó de resíduos de vagem de quiabo, em relação ao controle ($b^* = 22,12$).

Quanto ao índice de cromaticidade (C^*), a maioria das formulações não diferiu estatisticamente do controle ($p > 0,05$), exceto o ensaio 2 (FSF = 5,0% e GSF = 5,0%), que apresentou menor índice de saturação (Tabela 16). Os valores de C^* variaram de $36,55 \pm 4,34$ a $45,06 \pm 1,02$. Essa diferença pode ser atribuída às diferentes concentrações de FSF e GSF nas formulações, bem como às interações com os demais ingredientes e às reações de escurecimento térmico durante o forneamento. Os valores de croma (C^*) da crosta obtidos nesta pesquisa estão dentro da faixa relatada por Costa, Ribeiro e Boêno (2020) para pães tipo francês (28,4 a 56,2).

Entretanto, Proetto *et al.* (2024) reportaram valores de C* superiores para o pão controle (31,28) em comparação aos pães adicionados de farinhas de subprodutos de alcachofra (25,55 a 29,57).

De modo geral, a redução da luminosidade e o aumento dos tons avermelhados e amarelados observados na crosta e no miolo dos pães tipo forma podem estar relacionados à presença de compostos pigmentados na farinha e no gel da semente de flamboyant-mirim, além da interação entre proteínas e açúcares que favorece a formação de pigmentos marrons via reação de Maillard durante o forneamento. Fatores de processo, como período de fermentação, tempo e temperatura de assamento, também exercem influência sobre a intensidade e uniformidade da coloração. Purlis e Salvadori (2009) e Feitosa *et al.* (2013) destacam que o controle preciso das condições de forneamento pode minimizar variações indesejadas na cor final do pão.

3.1.1 Efeitos da adição de FSF e GSF nas respostas avaliadas

Avaliando os efeitos da adição de FSF e GSF sobre as respostas analisadas, os coeficientes de regressão obtidos estão apresentados nas Tabelas 17 e 18. Observou-se que não houve influência significativa ($p > 0,05$) da FSF e do GSF tanto nos termos lineares quanto quadráticos dos modelos ajustados.

Da mesma forma, o efeito de interação entre as variáveis independentes também não foi significativo para as respostas de perda por cocção, densidade, volume específico, índice de expansão, cor L* do miolo, cor a* do miolo, cor L* da crosta, cor a* da crosta, cor b* da crosta e cor C* da crosta dos pães tipo forma analisados. Entretanto, verificou-se efeito significativo ($p < 0,05$) da FSF e do GSF nas respostas de cor b* e cor C* do miolo, indicando que a variação na proporção desses ingredientes influenciou diretamente a tonalidade amarelada e a intensidade cromática interna dos pães.

Tabela 17 - Coeficientes de regressão das respostas avaliadas de perda por cocção, densidade, volume específico, índice de expansão, número de alvéolos e circularidade dos alvéolos.

Fatores	Respostas						
	P.C	DE	V.E	I.E	N.A	C.A	
C.R	x ₁	-2,33	-0,01	0,11	0,00	68,15	0,00
	x ₁ ²	0,14	0,00	0,00	0,00	-0,95	-0,00
	x ₂	-1,98	-0,00	0,16	0,04	96,55	-0,02
	x ₂ ²	0,25	-0,00	-0,00	-0,00	-13,35	0,00
	x ₁ x ₂	0,12	0,00	-0,02	-0,00	-2,05	0,00
E.P	5,19	0,08	1,02	0,15	351,18	0,00	
Tc	x ₁	-1,91	-0,59	0,48	0,09	0,82	0,21
	x ₁ ²	1,80	0,21	0,05	0,20	-0,18	-0,24
	x ₂	-1,73	-0,23	0,72	1,39	1,24	-1,01
	x ₂ ²	2,10	-0,10	-0,10	-1,37	-1,63	0,22
	x ₁ x ₂	1,10	0,26	-0,87	-0,44	-0,26	1,14
p	x ₁	0,40	0,06	0,08	0,27	0,007	0,06
	x ₁ ²	0,13	0,84	0,96	0,84	0,86	0,81
	x ₂	0,05	0,59	0,97	0,32	0,94	0,94
	x ₂ ²	0,08	0,92	0,92	0,22	0,16	0,82
	x ₁ x ₂	0,31	0,80	0,41	0,67	0,80	0,30
R ²	0,73	0,55	0,52	0,51	0,81	0,57	
Adj R ²	0,45	0,11	0,04	0,02	0,62	0,15	

*Valores de p<0,05. C.R – Coeficiente de Regressão; E.P – Erro Padrão; Tc – T calculado; x₁: Fator Linear da Farinha da semente de flamboyant-mirim; x₁²: Fator Quadrático da Farinha da semente de flamboyant-mirim; x₂: Fator Linear do Gel da semente de flamboyant-mirim; x₂²: Fator Quadrático do Gel da semente de flamboyant-mirim; x₁x₂: interação entre as variáveis independentes. P.C – Perda por cocção; De – Densidade; V.E – Volume específico; I.E – Índice de expansão; N.A – Número de alvéolos; C.A – Circularidade dos alvéolos.

Tabela 18 - Coeficientes de regressão das respostas avaliadas de cor do miolo (L*, a*, b* e C*) e da crosta (L*, a*, b* e C*).

Fatores	Respostas								
	L* mi	a* mi	b* mi	C* mi	L* cr	a* cr	b* cr	C* cr	
C.R	x ₁	1,43	-0,07	1,92	1,87	-1,75	0,10	0,67	0,56
	x ₁ ²	-0,15	0,01	-0,07	-0,07	0,19	-0,05	-0,11	-0,10
	x ₂	-1,53	-0,82	-0,22	-0,40	2,45	-0,63	-2,14	-1,61
	x ₂ ²	0,02	0,07	-0,04	-0,03	0,30	-0,20	-0,17	-0,21
	x ₁ x ₂	0,12	0,05	0,04	0,05	-0,56	0,25	0,35	0,33
E.P	0,17	2,76	4,60	5,01	24,34	12,03	8,79	10,71	
Tcal	x ₁	0,24	-0,12	1,77	1,58	-0,30	0,03	0,32	0,22
	x ₁ ²	-0,41	0,33	-1,15	-1,01	0,54	-0,29	-0,89	-0,68
	x ₂	-0,27	-1,35	-0,21	-0,36	0,45	-0,23	-1,10	-0,68
	x ₂ ²	0,05	1,16	-0,42	-0,25	0,53	-0,71	-0,85	-0,85
	x ₁ x ₂	0,22	0,92	0,42	0,50	-1,04	0,96	1,80	1,42
p	x ₁	0,54	0,01	0,001*	0,002*	0,55	0,83	0,75	0,83
	x ₁ ²	0,69	0,75	0,29	0,35	0,60	0,77	0,41	0,52
	x ₂	0,68	0,69	0,37	0,44	0,95	0,83	0,31	0,52
	x ₂ ²	0,96	0,29	0,68	0,80	0,61	0,50	0,43	0,42
	x ₁ x ₂	0,83	0,39	0,69	0,63	0,34	0,37	0,13	0,21
R ²	0,14	0,73	0,88	0,87	0,27	0,23	0,58	0,42	
Adj R ²	0,0	0,47	0,76	0,75	0,0	0,0	0,16	0,0	

Valores de p<0,05. C.R – Coeficiente de Regressão; E.P – Erro padrão médio; Tcal – T calculado; x₁: Fator Linear da Farinha da semente de flamboyant-mirim; x₁²: Fator Quadrático da Farinha da semente de flamboyant-mirim; x₂: Fator Linear do Gel da semente de flamboyant-mirim; x₂²: Fator Quadrático do Gel da semente de flamboyant-mirim; x₁x₂: interação entre as variáveis independentes. L mi: cor L* miolo; a* mi: cor a* miolo; b* mi: cor b* miolo; C* mi: cor miolo C*; L* cr: cor L* crosta; a* cr: cor a* crosta; b* cr: cor b* crosta; C* cr - cor C* crosta.

Ao analisar os coeficientes de regressão dos fatores estudados em relação à tonalidade b^* do miolo dos pães tipo forma (Tabela 18), verificou-se que a FSF no modelo quadrático, o GSF nos modelos linear e quadrático e a interação $FSF \times GSF$ não apresentaram significância estatística ($p > 0,05$) ao nível de 5%. O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,88$) indicou boa capacidade explicativa do modelo, sugerindo que 88% da variação observada na variável b^* pode ser explicada pelos fatores considerados.

Observou-se efeito positivo da FSF em seu termo linear sobre a coloração b^* do miolo, indicando que o aumento na concentração de farinha de semente de flamboyant-mirim tende a intensificar a tonalidade amarelada do miolo dos pães. Os termos significativos foram utilizados no cálculo da ANOVA da regressão (Tabela 19), que apresentou um teste F significativo ($F_{\text{calc}} = 7,61 > F_{\text{tab}} = 5,05$) e falta de ajuste não significativa ($F_{\text{calc}} = 0,43 < F_{\text{tab}} = 19,16$).

Esses resultados demonstram que o modelo matemático ajustado para a variável b^* é adequado e preditivo, permitindo a construção da superfície de resposta e das curvas de contorno (Figura 14), que ilustram a influência das variáveis FSF e GSF sobre a coloração amarelada do miolo dos pães tipo forma.

Tabela 19 - ANOVA da regressão para a resposta de cor b^* do miolo.

Fonte de variação	GL	SS	QM	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	5	39,57911	7,915822		
Erro	5	5,19856	1,039712	7,61	5,05 (5%;5,5)
Falta de ajuste	3	2,04356	0,681186		
Erro puro	2	3,15500	1,5775	0,43	19,16 (5%;3,2)
Total	10	44,77767			

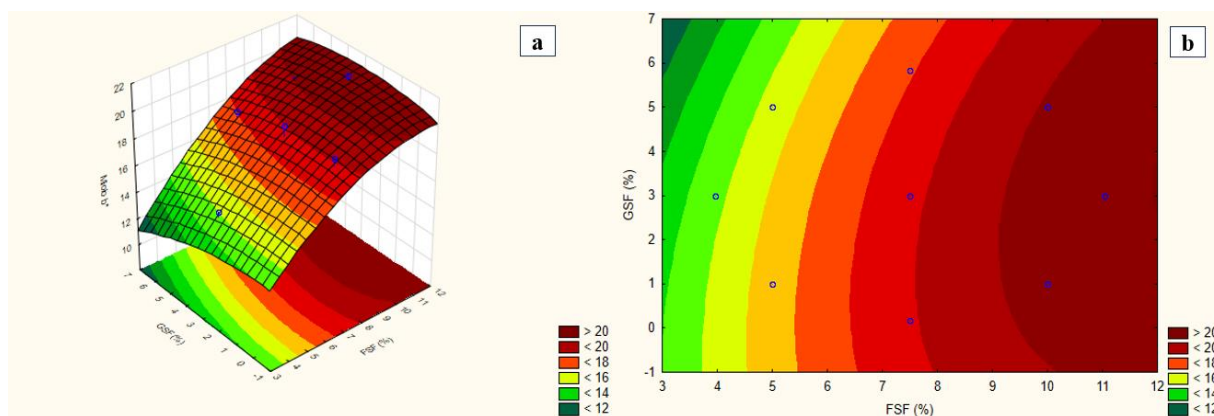
Fonte: Dados da pesquisa, 2026. SS: Soma dos quadrados; GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 15, observa-se que o aumento da concentração de FSF nas formulações resultou em valores mais elevados de b^* para o miolo dos pães tipo forma. Dessa forma, para se obter pães com tonalidade amarelada mais intensa, recomenda-se a utilização de maiores proporções de FSF, especialmente na faixa entre 10% e 11,035% ($x_1 = +1 / +1,41$). Destacaram-se as formulações dos ensaios 3 (FSF = 10% e GSF = 1%), 4 (FSF = 10% e GSF = 5%) e 6 (FSF = 11,035% e GSF = 3%), que apresentaram os maiores valores de b^* ($19,84 \pm 0,26$ a $21,05 \pm 0,15$).

De acordo com a Figura 14, confirma-se que o GSF não exerceu influência significativa sobre o valor de b^* , reforçando que o principal fator determinante da coloração

amarelada do miolo é a concentração de FSF. Assim, se o objetivo tecnológico for desenvolver pães com coloração do miolo mais amarelada ou dourada, aumentar a proporção de FSF (10–11,035%) é a estratégia mais indicada, proporcionando um aspecto visual mais intenso e atrativo, sem destoar da tonalidade observada na formulação controle.

Figura 14 - Gráfico de superfície de resposta (a) e curvas de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre a coloração b^* do miolo dos pães tipo forma.



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

A equação 14 apresenta a modelagem matemática que explica o comportamento da tonalidade b^* do miolo em função das variáveis independentes.

$$b^* \text{ miolo} = 8,90 + 1,92x_1 - 0,07x_1^2 - 0,22x_2 - 0,04x_2^2 + 0,04 x_1x_2 \quad (14)$$

Onde: x_1 = é a farinha da semente de flamboyant-mirim - FSF (%), x_2 = é o gel da semente de flamboyant-mirim - GSF (%).

Os coeficientes de regressão dos fatores estudados em relação à cromaticidade C^* do miolo dos pães tipo forma estão apresentados na Tabela 18. Verificou-se que a FSF no modelo quadrático, o GSF nos modelos linear e quadrático, bem como o termo de interação $FSF \times GSF$, não apresentaram significância estatística ($p > 0,05$) ao nível de 5%. Por outro lado, foi identificado efeito positivo da FSF no modelo linear sobre a variável C^* , indicando que maiores concentrações de farinha de semente de flamboyant-mirim tendem a aumentar a intensidade e pureza da cor (saturação) do miolo dos pães.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,87$) revelou ajuste satisfatório do modelo, demonstrando boa capacidade de explicação da variabilidade dos dados. Os termos

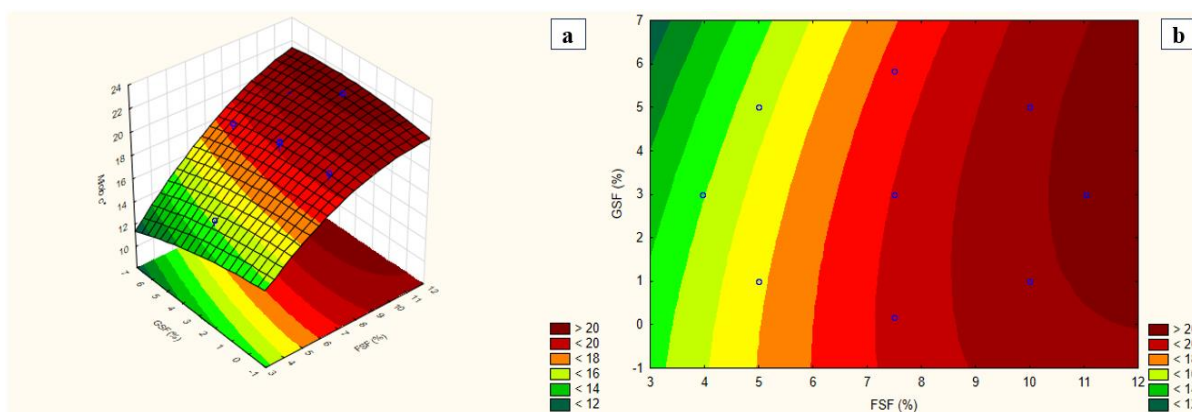
significativos foram utilizados para o cálculo da ANOVA da regressão (Tabela 20), que apresentou um teste F significativo ($F_{\text{calc}} = 7,00 > F_{\text{tab}} = 5,05$) e uma falta de ajuste não significativa ($F_{\text{calc}} = 0,49 < F_{\text{tab}} = 19,16$). Esses resultados confirmam que o modelo matemático ajustado para a variável cromaticidade C^* é adequado e preditivo, possibilitando a construção da superfície de resposta e das curvas de contorno (Figura 15), que descrevem a influência das variáveis FSF e GSF sobre a intensidade cromática do miolo dos pães tipo forma.

Tabela 20 - ANOVA da regressão para a resposta de cor C^* do miolo.

Fonte de variação	GL	SS	QM	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	5	43,1048	8,62096	7,00	5,05 (5%;5,5)
Erro	5	6,15520	1,23104		
Falta de ajuste	3	2,62773	0,87591	0,49	19,16 (5%;3,2)
Erro puro	2	3,52747	1,76373		
Total	10	44,77767			

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. SS: Soma dos quadrados; GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio.

Figura 15 - Gráfico de superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre a cromaticidade C^* do miolo dos pães tipo forma.



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

A equação de Y (C^* miolo) em relação ao coeficiente de regressão estatisticamente significativo ($p < 0,05$), encontra-se descrita na Equação 3.

$$C^* \text{ miolo} = 9,48 + 1,87x_1 - 0,07x_1^2 - 0,40x_2 - 0,30x_2^2 + 0,05x_1x_2 \quad (15)$$

Onde: x_1 = é a farinha da semente de flamboyant-mirim - FSF (%), x_2 = é o gel da semente de flamboyant-mirim - GSF (%).

A partir da superfície de resposta ilustrada na Figura 15, verificou-se que o aumento da concentração de FSF promoveu elevação dos valores de C^* do miolo dos pães tipo forma, indicando que maiores teores de FSF resultam em coloração mais intensa e saturada. Conforme os resultados apresentados na Tabela 15, observa-se que para alcançar pães com maiores valores de cromaticidade (C^*), devem-se empregar concentrações de FSF entre 10% e 11,035% ($x_1 = +1 / +1,41$). Destacaram-se os ensaios 3 (FSF = 10% e GSF = 1%), 4 (FSF = 10% e GSF = 5%) e 6 (FSF = 11,035% e GSF = 3%), que apresentaram os maiores valores de C^* , variando de $20,35 \pm 0,75$ a $21,56 \pm 0,16$.

A análise da Figura 15 confirma que o GSF não exerceu influência significativa sobre o parâmetro C^* , reforçando que a cromaticidade do miolo está diretamente associada à concentração de FSF. Assim, caso o objetivo tecnológico seja intensificar a coloração do miolo, recomenda-se o uso de maiores proporções de FSF (10–11,035%), o que possibilita a obtenção de pães com cor mais pura, intensa e brilhante, mantendo uma aparência visual próxima à da formulação controle.

3.2 Resultados das análises físico-químicas, centesimais e funcionais das matérias-primas (FSF e GSF) e dos pães avaliados

Os valores das respostas avaliadas para os parâmetros pH, acidez titulável, umidade e atividade de água (A_w) dos pães tipo forma estão apresentados na Tabela 21. Nessa tabela também estão incluídos os resultados obtidos para a amostra controle (pão padrão, sem adição de FSF e GSF). Esses parâmetros foram avaliados a fim de compreender o impacto da incorporação da FSF e do GSF nas características físico-químicas dos pães produzidos, especialmente em relação ao equilíbrio ácido-base, teor de umidade e estabilidade microbiológica dos produtos.

A determinação do pH de um alimento é de grande importância tanto do ponto de vista microbiológico quanto químico. Sob o aspecto microbiológico, os alimentos são classificados em duas categorias com base no pH: inferior ou superior a 4,5, o que indica o seu potencial de deterioração, geralmente associado ao grau de acidez ou basicidade do produto. Já sob o aspecto químico, a variação da concentração hidrogeniônica influencia diretamente a velocidade e direção das reações químicas que ocorrem durante o processamento e armazenamento dos alimentos (GOMES; OLIVEIRA, 2011; BEZERRA *et al.*, 2019).

As matérias-primas avaliadas (FSF e GSF) apresentaram valores de pH próximos. A FSF apresentou pH de $6,29 \pm 0,07$ e o GSF pH de $6,25 \pm 0,02$, ambos considerados pouco ácidos (pH > 4,5). Ressalta-se que a maioria dos microrganismos deterioradores se desenvolve em alimentos com pH próximo à neutralidade (FRANCO e LANDGRAF, 2004).

Tabela 21 - Resultados médios e teste *Tukey* para os parâmetros de pH, acidez, umidade e atividade de água dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, do pão controle e das matérias-primas avaliadas (FSF e GSF).

Ensaio	FSF - % (x ₁)	GSF - % (x ₂)	pH	Acidez (%)	Umidade (%)	Atividade de água
1	5,0 (-1)	1,0 (-1)	5,40±0,01 ^{de}	0,21±0,00 ^b	37,00±0,033 ^b	0,952±0,00 ^b
2	5,0 (-1)	5,0 (+1)	5,41±0,01 ^{cde}	0,16±0,00 ^g	35,03±0,27 ^c	0,955±0,00 ^b
3	10,0 (+1)	1,0 (-1)	5,43±0,01 ^{cde}	0,20±0,01 ^{bc}	32,78±0,25 ^{gh}	0,955±0,00 ^b
4	10,0 (+1)	5,0 (+1)	5,51±0,01 ^b	0,20±0,01 ^{bcd}	32,33±0,04 ^h	0,956±0,00 ^b
5	3,964 (-1,41)	3,0 (0)	5,48±0,01 ^{bcd}	0,17±0,00 ^{fg}	32,88±0,14 ^g	0,952±0,00 ^b
6	11,035 (+1,41)	3,0 (0)	5,52±0,04 ^b	0,18±0,00 ^{cde}	34,11±0,01 ^{ef}	0,954±0,00 ^b
7	7,5 (0)	0,171 (-1,41)	5,55±0,02 ^b	0,19±0,00 ^{cde}	32,52±0,11 ^{gh}	0,943±0,00 ^c
8	7,5 (0)	5,828 (+1,41)	5,48±0,02 ^{bc}	0,19±0,02 ^{cde}	33,79±0,09 ^f	0,951±0,00 ^{bc}
9	7,5 (0)	3,0 (0)	5,55±0,02 ^b	0,17±0,00 ^{efg}	34,82±0,08 ^{cd}	0,950±0,00 ^{bc}
10	7,5 (0)	3,0 (0)	5,55±0,03 ^b	0,18±0,00 ^{cdef}	34,54±0,07 ^{de}	0,950±0,00 ^{bc}
11	7,5 (0)	3,0 (0)	5,54±0,01 ^b	0,18±0,00 ^{def}	34,86±0,38 ^{cd}	0,948±0,00 ^{bc}
Controle	-	-	5,38±0,03 ^e	0,30±0,00 ^a	37,09±0,10 ^b	0,951±0,00 ^{bc}
FSF	-	-	6,29±0,07 ^a	0,12±0,00 ^h	5,92±0,12 ⁱ	0,496±0,00 ^d
GSF	-	-	6,25±0,02 ^a	0,12±0,00 ^h	95,24±0,06 ^a	0,986±0,00 ^a

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d,e,f,g,h,i} Letras diferentes na mesma coluna evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey (p<0,05). FSF – Farinha da Semente de Flamboyant-mirim. GSF – Gel da Semente de Flamboyant-mirim.

Valores inferiores foram relatados por Selvi *et al.* (2010) para a mucilagem da semente de *Caesalpinia pulcherrima* (pH 5,7). Da mesma forma, Azeez *et al.* (2022) encontraram variação de 5,80 a 6,00 para farinhas de milho, valores ligeiramente menores que os obtidos neste estudo. Por outro lado, Benítez *et al.* (2013), ao analisarem farinhas de leguminosas não convencionais (feijão-caupi, dolicos, feijão-de-porco e mucuna), observaram pH entre 5,1 e 6,4, faixa compatível com os resultados aqui obtidos.

O pH dos pães tipo forma variou de $5,40 \pm 0,01$ a $5,55 \pm 0,03$ entre as formulações contendo FSF e GSF, e $5,38 \pm 0,03$ para o pão controle (Tabela 21). Os ensaios 1, 2 e 3 (pH entre $5,40 \pm 0,01$ e $5,43 \pm 0,01$) apresentaram valores mais próximos ao controle, enquanto as demais formulações (ensaios 4–11) exibiram pH ligeiramente mais elevados. Essa variação pode ser atribuída às diferentes proporções de FSF e GSF incorporadas e às interações entre seus componentes e os demais ingredientes da massa durante o processamento.

As análises de pH são fundamentais para o controle da qualidade microbiológica e para a etapa de fermentação durante a produção de pães (PAGANI *et al.*, 2023). As leveduras, como *Saccharomyces cerevisiae*, apresentam crescimento ótimo em faixas de pH entre 4,5 e 6,5 (YALCIN e OZBAS, 2008). De modo geral, pães convencionais apresentam pH entre 4,7 e 5,4, valores atribuídos à formação de ácidos orgânicos durante a fermentação biológica conduzida pelas leveduras (BEZERRA *et al.*, 2022). Assim, as variações de pH observadas nas formulações desenvolvidas neste estudo encontram-se muito próximas da faixa esperada para produtos panificados fermentados.

Os valores obtidos estão de acordo com os resultados relatados por Gheno *et al.* (2022), que observaram pH variando de 5,20 a 5,50 para pães tipo francês adicionados de farinha de cenoura e de casca de jabuticaba-açu. Valores semelhantes também foram descritos por Costa, Ribeiro e Boêno (2020) em pães tipo francês (5,17 a 5,53) e por Rizzello *et al.* (2017) em pães produzidos com hidrolisado de leguminosas (5,39 a 5,58). Resultados compatíveis foram obtidos por Zambelli (2014), com pH variando de 4,73 a 5,44 em pães tipo forma enriquecidos com ingredientes vegetais, enquanto Pagani *et al.* (2023) reportaram valores ligeiramente superiores (5,71 a 5,84) em pães adicionados de farinha de ervilha.

A acidez titulável é outro parâmetro de grande relevância, pois reflete tanto o estado de conservação do produto quanto o grau de fermentação (ZAMBELLI *et al.*, 2017a). As matérias-primas avaliadas (FSF e GSF) apresentaram valores de acidez similares ($0,12 \pm 0,00$ %), o que indica um caráter pouco ácido e estável. Os dados de acidez para produtos derivados de *Caesalpinia pulcherrima* são escassos na literatura, mas valores semelhantes foram relatados para outras farinhas vegetais: Silva *et al.* (2017) observaram 0,57% para a farinha da semente de Carolina (*Adenantha pavonina* L.), enquanto Azeez *et al.* (2022) reportaram 0,10 a 0,19% para farinhas de milho. De modo geral, a acidez é considerada um indicador representativo das condições de processamento e armazenamento das farinhas (GOMES; OLIVEIRA, 2011).

Para os pães produzidos (Tabela 21), verificou-se que o menor teor de acidez foi observado no ensaio 2 ($0,16 \pm 0,00$ %), enquanto o maior valor foi encontrado na formulação controle ($0,30 \pm 0,00$ %). A variação na acidez entre as amostras pode estar relacionada à incorporação de diferentes proporções de FSF e GSF e às interações entre os ingredientes durante o processamento das formulações.

Valores de acidez superiores foram relatados por Costa, Ribeiro e Boêno (2020) em pães tipo francês (2,00 a 4,03%), por Rizzello *et al.* (2017), que observaram acidez variando de 8,4 a 10,1% em pães produzidos com hidrolisado de leguminosas, e por Zambelli (2014), com

valores entre 2,60 e 7,98% em pães tipo forma. A literatura aponta que fatores como presença de bactérias lácticas endógenas na farinha de trigo, quantidade de levedura, tipo de bactérias adicionadas, além de tempo e temperatura de fermentação e composição dos ácidos orgânicos produzidos, influenciam significativamente os valores de pH e acidez em produtos panificados (PLESSAS *et al.*, 2011; COSTA; RIBEIRO; BOÊNO, 2020).

A FSF apresentou um teor de umidade extremamente baixo ($5,92 \pm 0,12$ %), enquanto o GSF exibiu elevado teor de umidade ($95,24 \pm 0,06$ %). O teor de umidade da farinha é um indicador essencial de qualidade, pois afeta diretamente o armazenamento, a vida útil e a segurança microbiológica dos alimentos (IBEABUCHI *et al.*, 2017; GEMEDE, 2020; MARCEL; CHAHA; OFOEDU, 2022).

A umidade obtida para a FSF está em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução RDC nº 711/2022, que determina um máximo de 15% de umidade para farinhas, amidos de cereais e farelos. Manter a umidade abaixo desse limite é fundamental, pois reduz o risco de crescimento microbiano durante o armazenamento (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015; YOUSIF; GADALLAH; SOROUR, 2012; BUSTILLOS-RODRÍGUEZ *et al.*, 2019).

Resultados superiores foram relatados por Yusuf, Mofio e Ahmed (2007), que observaram 9,05% de umidade para a farinha de semente de *Caesalpinia pulcherrima*, enquanto valores inferiores foram obtidos por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) e Omode, Fatoki e Olaogun (1995), com teores de 3,10% e 3,8%, respectivamente.

A umidade no pão é um parâmetro de grande relevância, pois contribui para a maciez, lubrificação e suculência do produto, além de retardar o processo de endurecimento do miolo (IBRAHIM *et al.*, 2020). Observou-se que os teores de umidade dos pães tipo forma variaram entre $32,33 \pm 0,04$ % e $37,09 \pm 0,10$ % (Tabela 21). A formulação controle apresentou o maior valor de umidade, enquanto as formulações com adição de FSF e GSF exibiram menores teores, destacando-se o ensaio 4 (FSF: 10% e GSF: 5%) como o de menor umidade.

A variação da umidade nos pães pode estar associada à proporção de FSF e GSF incorporadas e à interação entre os ingredientes durante o processamento. Além disso, as diferenças observadas podem estar relacionadas à capacidade de absorção de água das farinhas durante o preparo da massa e à perda de umidade por evaporação durante o forneamento (NÖRNBERG *et al.*, 2022). O binômio tempo/temperatura aplicado na etapa de cocção também influencia o teor final de umidade, podendo gerar pequenas variações significativas entre as amostras (ZAMBELLI, 2014).

Os teores de umidade obtidos estão próximos da faixa reportada pela Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos (TACO), que indica 34,7% para pão tipo forma

(BRASIL, 2011). De acordo com a Resolução RDC nº 90, de 18 de outubro de 2000, a umidade máxima permitida para pães elaborados exclusivamente com farinha de trigo comum ou especial (sêmola/semolina) é de 38% (BRASIL, 2000). Assim, todas as formulações analisadas enquadram-se dentro dos limites regulamentares, indicando boa estabilidade e conformidade tecnológica.

Alguns pesquisadores destacam que teores de umidade muito acima dos limites recomendados podem ocasionar perda de qualidade da textura e aumento da atividade microbiana (NITZKE; THYS, 2000; OLIVEIRA *et al.*, 2011; BERWIG; MARQUES; MONTEIRO, 2018), resultando em produtos panificados grudentos e de textura “borrachuda”. Dessa forma, cabe ao fabricante o controle rigoroso do teor de umidade para garantir a qualidade e estabilidade do produto (ESTELLER e LANNES, 2005). Assim, tanto a amostra controle quanto os pães adicionados de FSF e GSF mantiveram-se dentro da faixa adequada de umidade, conforme preconizado pela legislação.

Diferentemente dos resultados obtidos neste estudo, vários pesquisadores relataram que a adição de farinhas vegetais elevou o teor de umidade dos pães em comparação ao controle (ABDEL-GHANY e ZAKI, 2023; GHENO *et al.*, 2022; FERREIRA *et al.*, 2020; MENON; MAJUMDAR; RAVI, 2015). No entanto, Aljobair (2024) observou que a adição de diferentes concentrações de pó de cascas de vegetais não influenciou significativamente o teor de umidade, com valores variando entre 8,25% e 8,42%, inferiores aos encontrados na presente pesquisa.

Verificou-se ainda uma relação inversa entre o conteúdo de umidade (Tabela 21) e a perda por cocção (Tabela 13). A formulação controle apresentou maior umidade e menor perda por cocção, enquanto o ensaio 4 (FSF: 10% e GSF: 5%) exibiu menor teor de umidade e maior perda por cocção, evidenciando o efeito da composição sobre a retenção de água durante o forneamento.

A atividade de água (a_w) é outro parâmetro essencial, pois indica a quantidade de água livre disponível para o crescimento microbiano (KUMAR *et al.*, 2022). A FSF apresentou um valor de a_w extremamente baixo ($0,496 \pm 0,00$), enquanto o GSF apresentou atividade de água elevada ($0,986 \pm 0,00$). Teores baixos de a_w , como o observado para a FSF, aumentam a segurança microbiológica, uma vez que bactérias deteriorantes não se desenvolvem em $a_w < 0,91$, e muitos bolores não crescem em valores inferiores a 0,80 (FRANCO e LANDGRAF, 2004). Por outro lado, valores elevados de a_w , como os observados para o GSF, favorecem o crescimento microbiano (ALTAMIRANO-FORTOUL e ROSELL, 2011; KUREK *et al.*,

2018), o que indica a necessidade de armazenamento sob refrigeração para prolongar sua vida útil.

Os dados de aw para FSF e GSF ainda são escassos na literatura, sendo, portanto, comparados a produtos vegetais não convencionais. Silva *et al.* (2017) observaram valor superior (0,592) para a farinha da semente de *Adenanthera pavonina* L., reforçando a baixa atividade de água da FSF como um indicativo positivo de estabilidade e segurança microbiológica.

A atividade de água (aw) dos pães analisados apresentou valores variando entre $0,943 \pm 0,00$ e $0,956 \pm 0,00$ (Tabela 21). Ao comparar individualmente cada ensaio com o pão controle, observou-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre eles. O pão tipo forma é classificado como um produto com alta atividade de água, o que explica sua baixa vida de prateleira (DIAS *et al.*, 2020).

Aljobair (2024) relatou valores de aw menores que os deste estudo, variando entre 0,913 e 0,931 para pães adicionados de pó de cascas de vegetais, enquanto o controle apresentou 0,891. Kumar *et al.* (2022) também verificaram valores inferiores de aw (0,8624 a 0,9107) em pães fortificados com *Chenopodium album*, ashwagandha (*Withania somnifera*), sementes de linhaça e giloy (*Tinospora cordifolia*), em comparação ao controle. Resultados semelhantes foram observados por Pagani *et al.* (2023) em pães com farinha de ervilha (0,914 a 0,915), enquanto Rizzello *et al.* (2017) relataram valores mais elevados (0,975 a 0,981) em pães com hidrolisado de leguminosas.

Segundo Pires, Quadros e Gadelha (2018), pães que apresentam baixa acidez e elevada atividade de água exigem maior atenção quanto ao armazenamento e comercialização, pois essas características favorecem o desenvolvimento microbiano, acelerando a deterioração. Assim, condições adequadas de umidade relativa do ar e uso de embalagens protetoras são essenciais para preservar as propriedades sensoriais e estender a vida útil dos produtos panificados.

Os valores das respostas avaliadas para os parâmetros de lipídios, proteínas, fibra bruta e cinzas encontram-se apresentados na Tabela 22, incluindo as determinações realizadas para a amostra controle e para as matérias-primas (FSF e GSF).

Em termos de composição centesimal, o GSF apresentou baixo teor lipídico ($0,08 \pm 0,01$ %), enquanto a FSF exibiu $9,90 \pm 0,40$ % de lipídios, valor semelhante ao encontrado nos pães analisados. Essa característica evidencia o potencial da FSF como substituto natural de gorduras industriais, contribuindo tanto para o valor nutricional quanto para o perfil sensorial dos produtos de panificação.

Valores inferiores foram relatados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) e Yusuf, Mofio e Ahmed (2007), com 7,20% e 6,60% de lipídios, respectivamente, para a semente de *Caesalpinia pulcherrima*, enquanto Omode, Fatoki e Olaogun (1995) observaram valor superior (14,70%) para a mesma espécie.

Tabela 22 - Resultados médios e teste *Tukey* para os parâmetros de lipídios, proteínas, fibra bruta e cinzas dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, do pão controle e das matérias-primas avaliadas (FSF e GSF).

Ensaio	FSF - % (x ₁)	GSF - % (x ₂)	Lipídios (%)	Proteínas (%)	Fibra Bruta (%)	Cinzas (%)
1	5,0 (-1)	1,0 (-1)	8,78±0,03 ^d	14,59±0,23 ^{gh}	0,24±0,02 ^{de}	1,62±0,02 ⁱ
2	5,0 (-1)	5,0 (+1)	9,44±0,31 ^{bc}	14,81±0,08 ^{fgh}	0,25±0,04 ^{de}	2,03±0,04 ^g
3	10,0 (+1)	1,0 (-1)	9,70±0,06 ^{abc}	16,51±0,24 ^{bc}	0,33±0,01 ^{de}	2,19±0,03 ^f
4	10,0 (+1)	5,0 (+1)	9,91±0,02 ^{ab}	16,41±0,22 ^{bcd}	0,35±0,02 ^{de}	2,33±0,02 ^e
5	3,964 (-1,41)	3,0 (0)	8,86±0,23 ^d	14,90±0,08 ^{fgh}	0,23±0,03 ^e	1,77±0,02 ^h
6	11,035 (+1,41)	3,0 (0)	10,11±0,07 ^a	17,28±0,29 ^b	0,53±0,04 ^c	2,97±0,04 ^b
7	7,5 (0)	0,171 (-1,41)	9,58±0,09 ^{bc}	15,95±0,13 ^{cde}	0,37±0,02 ^d	2,65±0,02 ^d
8	7,5 (0)	5,828 (+1,41)	9,70±0,01 ^{abc}	16,34±0,15 ^{cde}	0,34±0,02 ^{de}	2,79±0,05 ^c
9	7,5 (0)	3,0 (0)	9,76±0,10 ^{abc}	16,17±0,26 ^{cde}	0,36±0,02 ^{de}	2,76±0,02 ^c
10	7,5 (0)	3,0 (0)	9,64±0,11 ^{abc}	15,47±0,42 ^{efg}	0,36±0,03 ^{de}	2,72±0,01 ^{cd}
11	7,5 (0)	3,0 (0)	9,37±0,06 ^c	15,57±0,19 ^{def}	0,37±0,01 ^d	2,74±0,02 ^{cd}
Controle	-	-	8,28±0,12 ^c	14,20±0,24 ^h	0,25±0,00 ^{de}	1,57±0,05 ⁱ
FSF	-	-	9,90±0,40 ^{ab}	27,34±0,78 ^a	1,32±0,11 ^a	3,85±0,00 ^a
GSF	-	-	0,08±0,01 ^f	2,11±0,04 ⁱ	0,67±0,05 ^b	0,15±0,01 ^j

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d,e,f,g} Letras diferentes na mesma coluna evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). FSF – Farinha da Semente de Flamboyant-mirim. GSF – Gel da Semente de Flamboyant-mirim.

Os teores de lipídios dos pães obtidos nos ensaios variaram de $8,78 \pm 0,03$ a $10,11 \pm 0,07$ % (Tabela 22), sendo o menor valor observado para o pão controle ($8,28 \pm 0,12$ %). O ensaio 6, que continha a maior proporção de FSF (11,035%) e 3% de GSF, apresentou o maior teor lipídico. Esses valores são superiores aos reportados pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (BRASIL, 2011), que indica 3,7% de lipídios para o pão tipo forma. A variação observada pode ser atribuída principalmente à incorporação das diferentes proporções de FSF e GSF e à interação entre os demais ingredientes durante o processamento das formulações.

De forma semelhante ao observado neste estudo, diversos pesquisadores relataram maiores teores de lipídios em pães adicionados de farinhas vegetais quando comparados ao controle (ABDEL-GHANY e ZAKI, 2023; ALJOB AIR, 2024; MENON; MAJUMDAR; RAVI, 2015). As gorduras exercem função importante na formação das propriedades reológicas da massa, uma vez que, quando adicionadas (cerca de 3% do conteúdo total), interagem com as proteínas e o amido durante a amassadura e a fermentação, resultando em melhor elasticidade,

maior capacidade de retenção de gases e aumento do volume do pão (BAYRAMOV *et al.*, 2022).

Em relação às matérias-primas, o GSF apresentou baixo teor proteico ($2,11 \pm 0,04$ %), enquanto a FSF apresentou valor elevado ($27,34 \pm 0,078$ %). Teores semelhantes (26,6%) foram relatados por Omode, Fatoki e Olaogun (1995) para sementes de *C. pulcherrima*. Valores mais altos foram descritos por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) e Yusuf, Mofio e Ahmed (2007), com 47,40% e 48,08% de proteínas, respectivamente.

O conteúdo proteico em leguminosas varia amplamente entre espécies, cultivares e condições de cultivo, refletindo em diferenças nas propriedades funcionais e no valor nutricional (SILVA; NEVES; LOURENÇO, 2001; SANTOS; CASTILHO; PINHEIRO, 2019). Segundo Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008), as sementes de *C. pulcherrima* podem ser utilizadas como suplemento proteico, embora sua aplicabilidade dependa da presença de fatores antinutricionais e da digestibilidade dos nutrientes.

Nos ensaios de panificação (Tabela 22), o teor de proteínas variou entre $14,59 \pm 0,23$ e $17,28 \pm 0,29$ %, sendo superior ao pão controle ($14,20 \pm 0,24$ %). O ensaio 6 — novamente com maior proporção de FSF (11,035%) e 3% de GSF — apresentou o maior teor proteico. Essa variação está relacionada à adição das matérias-primas vegetais e suas interações com os demais componentes da massa. Esses valores superam os da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (BRASIL, 2011), que apresenta 9,4% de proteínas para pão tipo forma.

Resultados semelhantes foram descritos em estudos de Abdel-Ghany e Zaki (2023), Aljobair (2024) e Menon, Majumdar e Ravi (2015), que também observaram aumento significativo do teor proteico em pães enriquecidos com farinhas vegetais em comparação às formulações controle.

As proteínas constituem os principais componentes estruturais de todas as células vivas e desempenham funções biológicas essenciais associadas às atividades vitais. Nos alimentos, além de seu papel nutricional, exercem funções organolépticas e de textura, podendo ainda formar complexos com lipídios e carboidratos, influenciando propriedades sensoriais e tecnológicas (CECCHI, 2003).

O teor de fibras é outro índice relevante, pois expressa a fração não digerível dos alimentos, desempenhando papel fundamental na regulação do sistema gastrointestinal humano

(GOMES; OLIVEIRA, 2011). Os dados obtidos indicaram baixo teor de fibra bruta para o GSF ($0,67 \pm 0,05$ %), enquanto a FSF apresentou $1,32 \pm 0,11$ %. Este valor foi inferior aos relatados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) e Yusuf, Mofio e Ahmed (2007), que observaram 9,06% e 4,03%, respectivamente, para a semente de *C. pulcherrima*.

Nos pães analisados, os teores de fibra bruta variaram entre $0,24 \pm 0,02$ e $0,53 \pm 0,04$ % (Tabela 22). Comparando individualmente cada ensaio com o controle, verificou-se ausência de diferença estatística significativa, exceto para o ensaio 6, que apresentou maior teor de fibras. Esse aumento está relacionado à incorporação das diferentes proporções de FSF e GSF e às interações com os demais ingredientes durante o processamento. Resultados semelhantes foram relatados por Abdel-Ghany e Zaki (2023), que observaram maior teor de fibra bruta (2,82%) para pães com maior proporção de resíduo de vagem de quiabo em relação ao controle (0,67%).

Por outro lado, Kumar *et al.* (2022) relataram menores teores de fibra (0,24 a 0,41%) para pães fortificados com *Chenopodium album*, ashwagandha, sementes de linhaça e giloy, valores próximos aos encontrados neste estudo. Diferentemente, Menon, Majumdar e Ravi (2015) verificaram que os pães adicionados de farinha composta (soja, feijão-mungo germinado e semente de manga) não apresentaram diferença significativa no teor de fibra bruta em relação ao controle, com valores entre 1,9 e 2,4%, superiores aos observados na presente pesquisa.

Os teores de cinzas estão associados ao resíduo mineral resultante da queima do material orgânico em temperaturas de 500–570 °C. Essa análise fornece o ponto de partida para a determinação de minerais específicos como sódio, potássio, magnésio, cálcio, ferro, fósforo, zinco, manganês e outros (GOMES; OLIVEIRA, 2011; ZAMBIAZI, 2010; NASCIMENTO *et al.*, 2023). A FSF apresentou alto teor de cinzas ($3,85 \pm 0,00$ %), enquanto o GSF apresentou valor reduzido ($0,15 \pm 0,01$ %), indicando o potencial da FSF como fonte mineral e ingrediente alternativo para enriquecimento nutricional em produtos panificados.

Valores superiores foram observados por Yusuf, Mofio e Ahmed (2007), Chanda *et al.* (2010) e Omode, Fatoki e Olaogun (1995), que relataram 4,50%, 4,25% e 10% de cinzas, respectivamente, para a farinha da semente de *C. pulcherrima*. Já Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) obtiveram valor ligeiramente inferior (3,60%), próximo ao desta pesquisa.

Nos pães elaborados com FSF e GSF, os teores de cinzas variaram entre $1,62 \pm 0,02$ e $2,97 \pm 0,04$ % (Tabela 22), valores superiores ao controle ($1,57 \pm 0,05$ %). O ensaio 6 (FSF =

11,035%; GSF = 3%) apresentou o maior teor de cinzas. Essa variação está associada às diferentes concentrações de FSF e GSF e suas interações com os demais ingredientes da formulação. Os resultados obtidos situam-se próximos ao valor de 2,3% reportado pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (BRASIL, 2011) para pães tipo forma. De modo semelhante, outros autores também verificaram aumento do teor de cinzas em pães enriquecidos com farinhas vegetais quando comparados ao controle (ABDEL-GHANY; ZAKI, 2023; ALJOB AIR, 2024; KUMAR *et al.*, 2022).

Os valores das respostas referentes a carboidratos, valor calórico, compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante encontram-se dispostos na Tabela 23, incluindo também os resultados obtidos para a amostra controle e para as matérias-primas (FSF e GSF).

Tabela 23 - Resultados médios e teste *Tukey* para os parâmetros centesimais de carboidratos, calorias, fenólicos totais e atividade antioxidante dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, do pão controle e das matérias-primas avaliadas (FSF e GSF).

Ensaio	FSF - % (x ₁)	GSF - % (x ₂)	Carboidratos (%)	Valor Calórico (Kcal/100g)	Fenólicos Totais (mg EAG/g)	Antioxidante (CE ₅₀ mg mL ⁻¹)
1	5,0 (-1)	1,0 (-1)	37,75±0,45 ^{cd}	288,48±1,01 ^g	12,2±0,22 ^{de}	2,31±0,02 ^{cd}
2	5,0 (-1)	5,0 (+1)	38,43±0,52 ^{cde}	297,92±1,08 ^{ef}	12,41±0,16 ^{de}	2,09±0,04 ^{ef}
3	10,0 (+1)	1,0 (-1)	38,47±0,45 ^{cde}	307,28±1,36 ^{bc}	14,73±0,29 ^c	1,83±0,04 ^{fg}
4	10,0 (+1)	5,0 (+1)	38,65±0,20 ^{cd}	309,47±0,22 ^b	17,44±0,00 ^b	1,53±0,04 ^h
5	3,964 (-1,41)	3,0 (0)	41,34±0,30 ^b	304,80±1,59 ^c	12,95±0,25 ^c	2,38±0,04 ^{cd}
6	11,035 (+1,41)	3,0 (0)	35,00±0,29 ^h	300,14±0,68 ^{de}	9,96±0,22 ^d	2,97±0,05 ^b
7	7,5 (0)	0,171 (-1,41)	38,93±0,37 ^c	305,76±0,32 ^c	9,81±0,13 ^f	2,37±0,03 ^{cd}
8	7,5 (0)	5,828 (+1,41)	37,04±0,16 ^{fg}	300,90±0,54 ^d	10,54±0,38 ^f	2,17±0,02 ^{de}
9	7,5 (0)	3,0 (0)	36,12±0,21 ^{gh}	297,07±0,78 ^f	10,68±0,38 ^f	2,52±0,06 ^c
10	7,5 (0)	3,0 (0)	37,28±0,36 ^{defg}	297,78±0,80 ^{ef}	9,88±0,23 ^f	3,08±0,20 ^b
11	7,5 (0)	3,0 (0)	37,19±0,21 ^{efg}	295,44±0,61 ^f	11,73±0,16 ^e	1,79±0,03 ^g
Controle	-	-	38,59±0,29 ^{cd}	285,71±0,83 ^h	8,47±0,38 ^g	6,42±0,22 ^a
FSF	-	-	51,66±1,27 ^a	405,10±1,35 ^a	39,00±0,87 ^a	0,58±0,00 ⁱ
GSF	-	-	3,18±0,06 ⁱ	16,22±0,31 ⁱ	0,55±0,02 ^h	0,61±0,02 ⁱ

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d,e,f,g,h,i} Letras diferentes na mesma coluna evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey (p<0,05). FSF – Farinha da Semente de Flamboyant-mirim. GSF – Gel da Semente de Flamboyant-mirim. CE – Capacidade antioxidante.

Os carboidratos, também conhecidos como glicídios, representam a base energética da alimentação da maioria dos organismos vivos. Essas biomoléculas participam de diversos processos metabólicos essenciais, atuando como fontes primárias de energia e componentes estruturais de macromoléculas biológicas. De acordo com o comprimento da cadeia carbonada e o tipo de ligações glicosídicas, os carboidratos podem apresentar diferentes propriedades químicas e biológicas, influenciando suas funções fisiológicas e tecnológicas nos alimentos

(CAMPOS, 2008; NELSON; COX, 2000; PROENÇA DA CUNHA *et al.*, 2010; MARTINS *et al.*, 2015). Além de seu papel nutricional, os carboidratos possuem ampla aplicação nas indústrias alimentícia, farmacêutica e biotecnológica, sendo empregados como espessantes, estabilizantes, agentes estruturantes e substratos fermentativos.

A FSF apresentou alto teor de carboidratos ($51,66 \pm 1,27$ %), enquanto o GSF apresentou baixo valor ($3,18 \pm 0,06$ %). Esses resultados foram superiores aos teores observados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008), Yusuf, Mofio e Ahmed (2007) e Omode, Fatoki e Olaogun (1995), que relataram 34,67%, 39,10% e 35,5%, respectivamente, para a semente de *C. pulcherrima*.

Nos pães tipo forma, o teor de carboidratos variou de $35,00 \pm 0,29$ a $41,34 \pm 0,30$ % (Tabela 23). As formulações 1, 2, 3, 4 e 7 apresentaram valores sem diferença significativa ($p > 0,05$) em relação ao pão controle, enquanto as demais (5, 6, 8, 9, 10 e 11) mostraram diferenças significativas ($p < 0,05$), destacando-se o ensaio 5 com o maior teor de carboidratos (41,34%) e o ensaio 6 com o menor ($35,00 \pm 0,29$ %). Essa variação pode ser atribuída principalmente às diferenças nos teores de umidade, cinzas, proteínas, lipídios e fibras, já que o teor de carboidratos foi determinado por diferença.

Os valores encontrados são inferiores aos reportados pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (BRASIL, 2011), que indica 49,9% de carboidratos para o pão tipo forma. Valores superiores foram descritos por Zambelli *et al.* (2018), que observaram 42,58 a 61,49% para pães elaborados com farinhas vegetais (tomate, brócolis e açaí). De modo geral, diversos pesquisadores relatam redução do teor de carboidratos em pães enriquecidos com farinhas vegetais, devido à substituição parcial da farinha de trigo (ABDEL-GHANY; ZAKI, 2023; ALJOB AIR, 2024). Por outro lado, Kumar *et al.* (2022) observaram aumento desse parâmetro em pães fortificados com *Chenopodium album*, ashwagandha, sementes de linhaça e giloy, com valores variando de 33,54% a 45,37%, próximos aos desta pesquisa.

O valor calórico da FSF ($405,10 \pm 1,35$ kcal/100 g) também foi expressivamente superior ao do GSF ($16,22 \pm 0,31$ kcal/100 g), refletindo seu maior conteúdo de nutrientes energéticos. Valor similar foi relatado por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008), com 312,1 kcal/100 g para a semente de *C. pulcherrima*. Nos pães tipo forma, o valor calórico variou entre $285,71 \pm 0,83$ e $309,47$ kcal/100 g (Tabela 23), com o ensaio 4 apresentando o maior valor energético e o pão controle o menor. Essa variação pode ser atribuída principalmente às diferenças nos teores de lipídios, fibras e carboidratos entre as formulações.

Os valores observados neste estudo são superiores aos reportados pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (BRASIL, 2011), que indica 253 kcal/100 g para pão tipo forma, reforçando o potencial energético e nutricional dos produtos formulados com FSF e GSF.

Diferente desta pesquisa, Abdel-Ghany e Zaki (2023) observaram menores teores calóricos para as formulações adicionadas de resíduo de vagem de quiabo (280,76 a 291,06 kcal/100 g) em comparação com o controle (309,01 kcal/100 g). De modo semelhante, Nörnberg *et al.* (2022) relataram redução do valor energético em pães formulados com farinha de cevada (193,89 a 236,78 kcal/100 g) em relação ao controle (236,81 kcal/100 g). Por outro lado, Kumar *et al.* (2022) observaram o efeito inverso, verificando maior energia (297,45 a 349,10 kcal/100 g) nos pães fortificados com *Chenopodium album*, ashwagandha, sementes de linhaça e giloy, em comparação ao controle.

Os compostos fenólicos constituem uma das principais classes de metabólitos secundários vegetais, amplamente distribuídos no reino vegetal, com mais de 8.000 estruturas já identificadas. Essas moléculas caracterizam-se por conter um ou mais anéis aromáticos com grupos hidroxila, sendo reconhecidas por seu potencial bioativo (DAI; MUMPER, 2010; MARTINS *et al.*, 2015). A quantificação desses compostos é comumente realizada pelo método de Folin-Ciocalteu (F-C), baseado na transferência de elétrons e capacidade redutora dos fenólicos (PRIOR; WU; SCHAICH, 2005; CHEW; GOH; LIM, 2009). Esses compostos representam os principais agentes antioxidantes naturais presentes em plantas, especialmente concentrados em resíduos vegetais, como cascas e sementes (GÓMEZ-GARCÍA *et al.*, 2021; BHARDWAJ *et al.*, 2022; ALJOB AIR, 2024).

O extrato aquoso da FSF apresentou maior teor de fenólicos totais ($39 \pm 0,87$ mg EAG/g), enquanto o extrato aquoso do GSF exibiu valor reduzido ($0,55 \pm 0,02$ mg EAG/g). Dela Torre *et al.* (2017) observaram teores de fenólicos totais de 270,38; 231,92; e 125,14 μ g EAG/mg, respectivamente para os extratos metanólicos de folhas, flores e sementes de *C. pulcherrima*. Por outro lado, Chanda *et al.* (2010) observaram variação mais ampla (13,9 a 230,3 mg EAG/g) entre extratos (hexânico, clorofórmico, acetônico, metanólico e aquoso), enquanto Sahu *et al.* (2022) reportaram valores significativamente superiores (2813,00 mg EAG/g) para o extrato (acetona:água) de sementes de flamboyant-mirim.

Segundo a classificação proposta por Rufino *et al.* (2010), o teor de fenólicos é considerado baixo (<100 mg EAG/g), médio (100–500 mg EAG/g) ou alto (>500 mg EAG/g)

para amostras em matéria fresca, e baixo (<1000 mg EAG/g), médio (1000–5000 mg EAG/g) ou alto (>5000 mg EAG/g) para matéria seca. Assim, os extratos analisados da FSF e GSF enquadram-se na categoria de baixo teor de fenólicos.

Os polifenóis são compostos quimicamente instáveis, passíveis de degradação durante o processamento térmico e oxidativo dos alimentos (CHEYNIER, 2005; SACCOTELLI *et al.*, 2018). Nos pães elaborados, os teores de fenólicos totais variaram de $8,47 \pm 0,38$ a $17,74 \pm 0,00$ mg EAG/g (Tabela 23), sendo o ensaio 4 o que apresentou maior concentração ($17,44 \pm 0,00$ mg EAG/g) e o pão controle, o menor valor ($8,47 \pm 0,38$ mg EAG/g). Essas variações estão diretamente associadas às diferentes concentrações de FSF e GSF e às interações entre os ingredientes nas formulações. A degradação parcial dos compostos fenólicos durante o forneamento explica a redução observada em comparação às matérias-primas, embora todos os pães com FSF e GSF tenham apresentado teores significativamente superiores ao controle.

De forma semelhante, Kumar *et al.* (2022) observaram teores aumentados de fenólicos totais (7,94 a 15,26 mg/g) em pães enriquecidos com vegetais funcionais, próximos aos valores desta pesquisa. Já Meral e Doğan (2013) encontraram valores muito inferiores (0,37 a 1,10 mg GAE/100 g) em pães com farinha de semente de uva, destacando que o incremento do nível de adição elevou gradualmente o conteúdo de fenólicos.

A atividade antioxidante foi avaliada pelo método do radical livre DPPH•, composto por um radical de nitrogênio estável que é neutralizado por doadores de hidrogênio (PRIOR; WU; SCHAICH, 2005; CHEW; GOH; LIM, 2009). Os valores obtidos indicaram que a FSF ($CE_{50} = 0,58 \pm 0,00$ mg/mL) e o GSF ($CE_{50} = 0,61 \pm 0,02$ mg/mL) exibiram maior potencial antioxidante do que os pães, uma vez que valores menores de CE_{50} correspondem a maior atividade antioxidante (ALVES *et al.*, 2014).

Em estudos prévios, Chanda *et al.* (2010) encontraram valores próximos ao desta pesquisa para o extrato aquoso (290 µg/mL) e inferiores para o extrato acetônico (20,5 µg/mL) de *C. pulcherrima*, destacando este último como o mais ativo. De modo semelhante, Dela Torre *et al.* (2017) obtiveram 123,30 µg/mL para o extrato de sementes, e Atienza *et al.* (2016) relataram forte atividade sequestrante de radicais para extratos de folhas (97,15 µg/mL), flores (97,22 µg/mL) e sementes (96,94 µg/mL). Valores superiores foram descritos por Chew, Goh e Lim (2009), que observaram 3350 a 7690 mg/100g para flores e folhas de *C. pulcherrima*.

Nos pães analisados, a capacidade antioxidante variou entre $1,53 \pm 0,04$ e $6,42 \pm 0,22$ mg/mL (Tabela 23). O ensaio 4 apresentou o maior potencial antioxidante ($1,53$ mg/mL), enquanto o controle exibiu o menor ($6,42$ mg/mL). Essa diferença está relacionada à adição de FSF e GSF e às interações químicas ocorridas durante o processamento. Apesar da provável perda de compostos antioxidantes nas etapas de mistura e forneamento, todos os pães contendo FSF e GSF mostraram atividade antioxidante significativamente superior ao controle. Além da contribuição dos compostos fenólicos, essa elevação pode estar associada à formação de melanoidinas durante a reação de Maillard, compostos que também exibem propriedades antioxidantes (MERAL; DOĞAN, 2013).

Resultados semelhantes foram obtidos por Abdel-Ghany e Zaki (2023), que relataram maior potencial antioxidante (78,82%) nos pães adicionados de resíduo de vagem de quiabo em relação ao controle (56,51%), e por Aljobair (2024), que verificou aumento de atividade antioxidante (10,08%) nos pães adicionados de pó de casca de vegetais em comparação ao controle (4,98%). Observou-se, assim, relação direta entre o conteúdo de fenólicos totais e a capacidade antioxidante das formulações. O ensaio 4 apresentou maiores teores de fenólicos e maior atividade antioxidante, enquanto o pão controle apresentou os menores valores em ambos os parâmetros. Vale ressaltar que o teor de fenólicos e a atividade antioxidante podem variar conforme o método analítico, o pH do meio, a polaridade do solvente e as condições de extração, fatores que influenciam fortemente os resultados obtidos (MERAL; DOĞAN, 2013).

3.2.1 Efeitos da adição de FSF e GSF nas respostas avaliadas

Analisando os coeficientes de regressão apresentados nas Tabelas 24 e 25, observou-se que não houve influência significativa ($p > 0,05$) da farinha da semente de flamboyant-mirim (FSF) e do gel da semente de flamboyant-mirim (GSF), tanto no modelo linear quanto no modelo quadrático.

Tabela 24 - Coeficientes de regressão do modelo das respostas avaliadas de pH, acidez, umidade, atividade de água, lipídios e proteínas.

Fatores	Respostas						
	pH	Acid	Umi	Aw	Lip	Prot	
C.R	0,09	-0,00	0,43	-0,00	0,41	0,29	0,06
	-0,00	0,00	-0,06	0,00	-0,01	0,00	-0,00
	0,02	-0,03	0,21	0,00	0,23	0,05	0,32
	-0,00	0,00	-0,13	-0,00	-0,00	0,01	-0,05
	0,00	0,00	0,07	-0,00	-0,02	-0,01	-0,00
E.P	0,24	0,04	7,42	0,01	0,85	1,90	2,74
Tc	1,66	-0,79	0,24	-1,92	2,04	0,64	0,10
	-1,77	0,35	-0,55	2,22	-0,98	0,23	-0,10
	0,42	-3,23	0,13	0,56	1,24	0,13	0,53
	-1,44	1,97	-0,79	-0,03	-0,01	0,39	-0,89
	0,63	2,26	0,46	-0,31	-1,18	-0,37	-0,06
p	0,28	0,21	0,31	0,47	0,002*	0,002*	0,90
	0,13	0,73	0,60	0,07	0,37	0,82	0,91
	0,95	0,17	0,89	0,14	0,11	0,59	0,66
	0,20	0,10	0,46	0,97	0,98	0,71	0,41
	0,55	0,07	0,66	0,76	0,29	0,72	0,95
R ²	0,54	0,73	0,30	0,64	0,89	0,87	0,17
Adj R ²		0,08	0,46	0,0	0,28	0,78	0,74

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. *Valores de $p < 0,05$. C.R – Coeficiente de Regressão; E.P – Erro Padrão; Tc – T calculado; x_1 : Fator Linear da Farinha da semente de flamboyant-mirim; x_1^2 : Fator Quadrático da Farinha da semente de flamboyant-mirim; x_2 : Fator Linear do Gel da semente de flamboyant-mirim; x_2^2 : Fator Quadrático do Gel da semente de flamboyant-mirim; x_1x_2 : interação entre as variáveis independentes. Acid – Acidez; Umi – Umidade; Aw - Atividade de água; Lip – Lipídios e Prot – Proteínas.

Tabela 25 - Coeficientes de regressão do modelo das respostas avaliadas de fibras, cinzas, carboidratos, calorias, fenólicos e atividade antioxidante.

Fatores	Respostas						
	Fibr	Cinz	Carb	Cal	Fen	A.A	
C.R	x_1	0,05	0,91	-2,04	-3,30	-3,06	0,06
	x_1^2	-0,00	-0,04	0,11	0,37	0,19	-0,00
	x_2	0,02	0,35	-0,85	-1,11	-1,51	0,32
	x_2^2	-0,00	-0,03	0,15	0,68	0,13	-0,05
	x_1x_2	0,00	-0,01	-0,02	-0,36	0,12	-0,00
E.P		0,27	1,56	7,76	30,31	13,15	2,74
Tc	x_1	0,83	2,48	-1,11	-0,46	-0,99	0,10
	x_1^2	-0,40	-2,12	0,98	0,82	0,97	-0,10
	x_2	0,48	1,03	-0,50	-0,16	-0,52	0,53
	x_2^2	-0,88	-0,92	0,86	0,97	0,44	-0,89
	x_1x_2	0,08	-0,41	-0,14	-0,54	0,42	-0,06
p	x_1	0,01	0,04	0,15	0,26	0,70	0,90
	x_1^2	0,70	0,08	0,36	0,44	0,37	0,91
	x_2	0,94	0,47	0,72	0,81	0,65	0,66
	x_2^2	0,41	0,39	0,42	0,37	0,67	0,41
	x_1x_2	0,93	0,69	0,89	0,61	0,68	0,95
R ²		0,72	0,71	0,45	0,38	0,23	0,17
Adj R ²		0,45	0,42	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. *Valores de $p < 0,05$. C.R – Coeficiente de Regressão; E.P – Erro Padrão; Tc – T calculado; x_1 : Fator Linear da Farinha da semente de flamboyant-mirim; x_1^2 : Fator Quadrático da Farinha da semente de flamboyant-mirim; x_2 : Fator Linear do Gel da semente de flamboyant-mirim; x_2^2 : Fator Quadrático do Gel da semente de flamboyant-mirim; x_1x_2 : interação entre as variáveis independentes. Fibr – Fibra bruta; Cinz – Cinzas; Carb – Carboidratos; Cal – Calorias; Fen – Fenólicos totais e A.A – Atividade antioxidante.

Além disso, o efeito da interação entre as variáveis também não foi significativo sobre as respostas avaliadas de pH, acidez, umidade, atividade de água, fibra bruta, cinzas, carboidratos, calorias, fenólicos totais e atividade antioxidante dos pães analisados. Apenas as variáveis lipídios e proteínas apresentaram efeitos significativos, indicando que esses parâmetros foram os mais influenciados pelas proporções de FSF e GSF nas formulações.

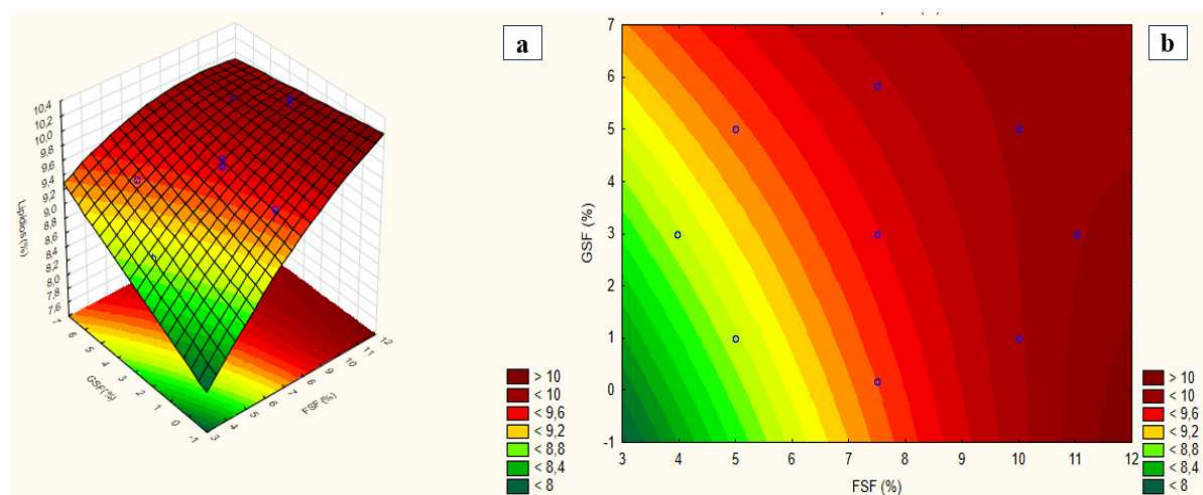
Em relação aos coeficientes de regressão dos fatores estudados para o teor lipídico (Tabela 24), verificou-se que a FSF no modelo quadrático, o GSF nos modelos linear e quadrático, bem como o efeito de interação FSF/GSF, não foram significativos ao nível de 5%. Por outro lado, observou-se efeito positivo da FSF em seu modelo linear sobre o teor de lipídios, indicando que o aumento da concentração de FSF contribuiu para o incremento no conteúdo de gordura dos pães.

Tabela 26 - ANOVA da regressão para a resposta ao teor de lipídios.

Fonte de variação	GL	SS	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	5	1,468618	0,293723	8,04	5,05 (5%;5,5)
Erro	5	0,182546	0,0365092		
Falta de ajuste	3	0,102746	0,034249	0,85	19,16 (5%;3,2)
Erro puro	2	0,079800	0,039900		
Total	10	1,651164			

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. SS: Soma dos quadrados; GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio.

Figura 16 - Gráfico de superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre o teor lipídico dos pães tipo forma.



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,89$) apresentou um valor satisfatório, evidenciando que o modelo explica de forma adequada a variabilidade dos dados experimentais. Os termos significativos foram empregados no cálculo da ANOVA da regressão (Tabela 26), resultando em um teste F significativo ($F_{cal} = 8,04$; $F_{tab} = 5,05$) e uma falta de ajuste não significativa ($F_{cal} = 0,85$; $F_{tab} = 19,16$). Esses resultados indicam que o modelo matemático obtido para a variável lipídios é preditivo e ajustado, permitindo a geração da superfície de resposta e das curvas de contorno apresentadas na Figura 16.

A equação de Y em relação ao coeficiente de regressão estatisticamente significativo ($p < 0,05$), encontra-se descrita na Equação 16.

$$\% \text{ Lipídios} = 6,99 + 0,41x_1 - 0,01x_1^2 + 0,23x_2 - 0,0003x_2^2 - 0,02x_1x_2 \quad (16)$$

Onde: x_1 = é a farinha da semente de flamboyant-mirim - FSF (%), x_2 = é o gel da semente de flamboyant-mirim - GSF (%).

Os resultados obtidos indicam que, quanto maior a concentração de FSF adicionada aos pães, maior o teor lipídico das formulações. Assim, para se obter pães com maior teor de lipídios, recomenda-se a utilização de concentrações de FSF entre 10% e 11,035% ($x_1 = +1/+1,41$). Destacam-se os ensaios 3 (FSF = 10% e GSF = 1%), 4 (FSF = 10% e GSF = 5%) e 6 (FSF = 11,035% e GSF = 3%), que apresentaram maiores teores de lipídios ($9,70 \pm 0,06$ a $10,11 \pm 0,07$ %). De acordo com a Figura 16, confirma-se que o GSF não exerceu influência significativa sobre o teor lipídico dos pães dentro da faixa de concentrações estudadas (até 5,828% de GSF).

Os coeficientes de regressão dos fatores estudados em relação ao teor de proteínas estão apresentados na Tabela 24. Observou-se que a FSF no modelo quadrático, o GSF nos modelos linear e quadrático, bem como o efeito de interação FSF/GSF, não foram significativos ao nível de 5%. No entanto, foi identificado efeito positivo da FSF em seu modelo linear sobre o teor de proteínas, indicando que o aumento da concentração de FSF contribuiu para o incremento proteico dos pães.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,87$) apresentou um valor satisfatório, refletindo boa capacidade explicativa do modelo. Os termos significativos foram utilizados para o cálculo da ANOVA da regressão (Tabela 27), resultando em um teste F significativo ($F_{cal} = 6,78$; $F_{tab} = 5,05$), com 87,14% da variação explicada e uma falta de ajuste não significativa ($F_{cal} = 1,40$; $F_{tab} = 19,16$). Esses resultados confirmam que o modelo matemático para a

variável proteínas é preditivo e ajustado, possibilitando a geração da superfície de resposta e das curvas de contorno correspondentes.

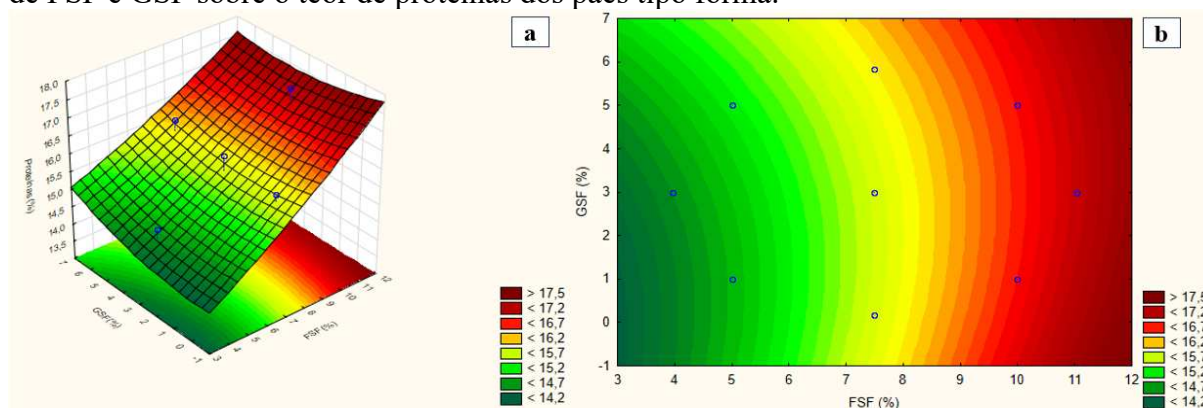
Tabela 27 - ANOVA da regressão para a resposta ao teor de proteínas.

Fonte de variação	GL	SS	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	5	6,039235	1,207847	6,78	5,05 (5%;5,5)
Erro	5	0,890729	0,178145		
Falta de ajuste	3	0,604062	0,201354	1,40	19,16 (5%;3,2)
Erro puro	2	0,286667	0,143333		
Total	10	6,929964			

Notas: SS: Soma dos quadrados; GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio.

A partir da superfície de resposta apresentada na Figura 17, verificou-se que, quanto maior a concentração de FSF adicionada aos pães, maior foi o teor de proteínas das formulações. Dessa forma, para a obtenção de pães com maior teor proteico, recomenda-se a utilização de concentrações de FSF entre 10% e 11,035% ($x_1 = +1/+1,41$). Destacam-se os ensaios 3 (FSF = 10% e GSF = 1%), 4 (FSF = 10% e GSF = 5%) e 6 (FSF = 11,035% e GSF = 3%), que apresentaram maiores teores de proteínas ($16,41 \pm 0,22$ a $17,28 \pm 0,29$ %).

Figura 17 - Gráfico de superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre o teor de proteínas dos pães tipo forma.



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

A equação de Y em relação ao coeficiente de regressão estatisticamente significativo ($p < 0,05$), encontra-se descrita na Equação 17.

$$\% \text{ Proteínas} = 13,20 + 0,29x_1 + 0,006x_1^2 + 0,05x_2 + 0,01x_2^2 - 0,01x_1x_2 \quad (17)$$

Onde: x_1 = é a farinha da semente de flamboyant-mirim - FSF (%), x_2 = é o gel da semente de flamboyant-mirim - GSF (%).

De acordo com a Figura 17, confirma-se que o GSF não exerceu influência significativa sobre o teor de proteínas nas formulações, dentro da faixa de concentrações estudadas.

3.3 Resultados dos teores de minerais das matérias-primas (FSF e GSF) e dos pães analisados

Os valores das respostas avaliadas referentes aos teores de minerais — cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), ferro (Fe) e zinco (Zn), os quais estão apresentados nas Tabelas 28 e 29. As determinações realizadas para a amostra controle e para as matérias-primas utilizadas — farinha da semente de flamboyant-mirim (FSF) e gel da semente de flamboyant-mirim (GSF) — também estão incluídas nessas tabelas, permitindo a comparação direta entre os teores minerais das matérias-primas e os obtidos nas formulações de pães tipo forma enriquecidos com FSF e GSF.

Tabela 28 - Resultados médios e teste *Tukey* para os parâmetros de cálcio, magnésio e potássio dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, do pão controle e das matérias-primas avaliadas (FSF e GSF).

Ensaio	FSF - % (x_1)	GSF - % (x_2)	Cálcio – Ca (mg/100g)	Magnésio - Mg (mg/100g)	Potássio – K (mg/100g)
1	5,0 (-1)	1,0 (-1)	50,3±2,8 ⁱ	26,3±0,5 ^{ef}	110,0±0,0 ⁱ
2	5,0 (-1)	5,0 (+1)	68,3±4,0 ^g	24,0±0,0 ^{fg}	132,0±0,0 ^{ef}
3	10,0 (+1)	1,0 (-1)	65,3±1,1 ^g	24,0±0,0 ^{fg}	145,0±0,0 ^c
4	10,0 (+1)	5,0 (+1)	74,0±0,0 ^f	27,0±0,0 ^c	134,0±0,0 ^e
5	3,964 (-1,41)	3,0 (0)	57,3±2,3 ^h	21,0±0,0 ^h	86,3±1,1 ^j
6	11,035 (+1,41)	3,0 (0)	97,0±0,0 ^b	40,0±0,0 ^c	163,0±0,0 ^b
7	7,5 (0)	0,171 (-1,41)	65,6±1,1 ^g	31,3±1,1 ^d	126,0±0,0 ^g
8	7,5 (0)	5,828 (+1,41)	64,0±0,0 ^g	33,0±0,0 ^d	111,0±0,0 ⁱ
9	7,5 (0)	3,0 (0)	83,0±0,0 ^{de}	22,0±0,0 ^{gh}	137,0±0,0 ^d
10	7,5 (0)	3,0 (0)	80,0±0,0 ^e	23,0±0,0 ^{gh}	127,0±0,0 ^g
11	7,5 (0)	3,0 (0)	87,0±0,5 ^{cd}	24,0±0,0 ^{fg}	131,0±0,0 ^f
Controle	-	-	49,6±2,8 ⁱ	16,3±0,5 ⁱ	79,0±0,0 ^k
FSF	-	-	270,0±0,0 ^a	262,3±2,8 ^a	1223,0±0,5 ^a
GSF	-	-	91,0±0,0 ^c	45,0±1,7 ^b	117,6±2,8 ^h
RDI (mg/dia)	-	-	1000	260	4700

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d,e,f,g,h,i} Letras diferentes na mesma coluna evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). FSF – Farinha da Semente de Flamboyant-mirim. GSF – Gel da Semente de Flamboyant-mirim. RDI: Recomendação diária para adultos (BRASIL, 2005).

Para os teores de cálcio, observou-se que a FSF apresentou o maior valor ($270 \pm 0,0$ mg/100 g) em relação ao GSF ($91 \pm 0,0$ mg/100 g). Esses valores foram superiores aos

relatados por Omode, Fatoki e Olaogun (1995) e inferiores aos obtidos por Sahu *et al.* (2022) para as sementes de *C. pulcherrima*.

Nos pães elaborados com FSF e GSF (Tabela 28), os teores de cálcio variaram de $50,3 \pm 2,8$ a $97,0 \pm 0,0$ mg/100 g, enquanto o pão controle apresentou menor valor ($49,6 \pm 2,8$ mg/100 g; $p < 0,05$). O ensaio 1 apresentou valor semelhante ao controle ($50,3 \pm 2,8$ mg/100 g), enquanto o ensaio 6 destacou-se com o maior teor ($97,0 \pm 0,0$ mg/100 g). Essa variação pode ser atribuída, principalmente, à incorporação das diferentes concentrações de FSF e GSF e às interações entre os demais ingredientes durante o processamento.

Os teores de cálcio obtidos foram inferiores aos valores da Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos (BRASIL, 2011), que indica 132 mg/100 g para pão tipo forma. Contudo, foram superiores aos relatados por Purkiewicz, Gul e Pietrzak-Fiećko (2024) em pães enriquecidos com pó de cenoura e abóbora, por Pyanikova, Kovaleva e Zaikina (2021) em pães adicionados de bagaço de maçã, farinha de arroz e trigo sarraceno, e por Bayramov *et al.* (2022) em pães enriquecidos com purê de abóbora.

Em relação ao magnésio, a FSF apresentou um teor de $262,3 \pm 2,8$ mg/100 g, enquanto o GSF mostrou um valor bem inferior ($45,0 \pm 1,7$ mg/100 g). Esses valores foram superiores aos encontrados por Yusuf, Mofio e Ahmed (2007) e inferiores aos observados por Sahu *et al.* (2022) em sementes de *C. pulcherrima*. Nos pães tipo forma (Tabela 28), o magnésio variou entre $21,0 \pm 0,0$ e $40,0 \pm 0,0$ mg/100 g, sendo o menor valor registrado para o pão controle ($16,3 \pm 0,5$ mg/100 g). O ensaio 6, com a maior concentração de FSF (11,035%) e 3% de GSF, apresentou o maior teor de magnésio. Essa variação, novamente, é atribuída às diferenças nas proporções de FSF e GSF, bem como à interação entre os ingredientes nas formulações.

Os teores obtidos ficaram abaixo dos valores de referência da Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos (BRASIL, 2011), que aponta 60 mg/100 g para pão tipo forma. Os valores determinados estão próximos aos reportados por Purkiewicz, Gul e Pietrzak-Fiećko (2024) em pães enriquecidos com pó de cenoura e abóbora, e inferiores aos obtidos por Aljobair (2024) em pães com cascas vegetais (abóbora verde, melancia e pepino) e por Bayramov *et al.* (2022) em pães com purê de abóbora.

O cálcio é um elemento essencial que, na forma de sais do ácido fosfórico, compõe a maior parte do tecido ósseo e dentário, além de exercer funções regulatórias vitais no metabolismo humano. Atua na ativação de diversas enzimas, na manutenção do equilíbrio

eletrolítico e na transmissão de impulsos nervosos e contrações musculares. Também desempenha papel importante nos sistemas neuromuscular e cardiovascular, influenciando a pressão arterial, a coagulação sanguínea e a permeabilidade celular. Ademais, o cálcio participa de processos de crescimento e regeneração tecidual, contribuindo para a resistência do organismo a doenças infecciosas (PYANIKOVA; KOVALEVA; ZAIKINA, 2021). A ingestão adequada de cálcio é, portanto, fundamental para a manutenção da densidade óssea e dentária, prevenindo doenças como osteoporose e osteopenia (VANUCCI *et al.*, 2018; PURKIEWICZ; GUL; PIETRZAK-FIEĆKO, 2024).

O magnésio, por sua vez, é um macronutriente essencial envolvido em mais de 300 reações enzimáticas no organismo. É crucial para a transmissão de impulsos nervosos, regulação da pressão arterial, síntese de proteínas e ácidos nucleicos, metabolismo energético e homeostase do cálcio (CASTIGLIONI, 2021; PURKIEWICZ; GUL; PIETRZAK-FIEĆKO, 2024). Atua ainda na atividade muscular e cardíaca, sendo indispensável para o funcionamento adequado da bomba de sódio-potássio (Na^+/K^+ -ATPase), que mantém o potencial elétrico das membranas celulares. A deficiência de magnésio pode resultar em fraqueza muscular, distúrbios neurológicos e alterações no ritmo cardíaco (CASTIGLIONI *et al.*, 2021).

Em relação aos teores de potássio, verificou-se que o GSF apresentou um valor de $117,6 \pm 2,8$ mg/100 g, inferior ao observado para a FSF ($1222,3 \pm 0,5$ mg/100 g). Valores superiores foram reportados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) e Sahu *et al.* (2022) para sementes de *C. pulcherrima*, o que pode estar relacionado à origem botânica e às condições de cultivo.

Nos pães tipo forma analisados (Tabela 28), os teores de potássio variaram entre $86,3 \pm 1,1$ e $163,0 \pm 0,0$ mg/100 g, sendo o pão controle o de menor valor ($79,0 \pm 0,0$ mg/100 g). O ensaio 6, formulado com 11,035% de FSF e 3% de GSF, apresentou o maior teor de potássio. Essa tendência indica que a adição crescente de FSF favoreceu o incremento mineral das formulações, uma vez que o potássio está naturalmente presente em maiores concentrações em sementes e farinhas vegetais.

Os valores obtidos nesta pesquisa foram, em geral, inferiores aos da Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos (BRASIL, 2011), que aponta 163 mg/100 g de potássio para pão tipo forma, com exceção do ensaio 6, que apresentou um valor superior. Os teores determinados mostraram-se semelhantes aos relatados por Aljobair (2024) para pães

enriquecidos com cascas vegetais (abóbora verde, melancia e pepino) e por Bayramov *et al.* (2022) em pães elaborados com purê de abóbora.

O potássio desempenha papel essencial no equilíbrio osmótico e acidobásico, na transmissão dos impulsos nervosos e na contração muscular, além de exercer efeito protetor sobre o sistema cardiovascular, auxiliando na regulação da pressão arterial e na redução do risco de doenças cardíacas. Também está associado à função cognitiva, à eliminação de toxinas e à resposta imunológica (BAYRAMOV *et al.*, 2022). A adequada ingestão de potássio, aliada à redução do consumo de sódio, contribui para o bom funcionamento do cérebro, a saúde renal e o metabolismo energético celular.

A FSF apresentou um teor elevado de fósforo ($559,0 \pm 1,7$ mg/100 g), enquanto o GSF mostrou um valor significativamente menor ($44,1 \pm 1,4$ mg/100 g). Esses resultados foram superiores aos relatados por Yusuf, Mofio e Ahmed (2007) para as sementes de *C. pulcherrima*, indicando que a farinha proveniente das sementes de flamboyant-mirim é uma fonte considerável desse mineral.

Tabela 29 - Resultados médios e teste *Tukey* para os parâmetros de fósforo, ferro e zinco dos pães tipo forma adicionados de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, do pão controle e das matérias-primas avaliadas (FSF e GSF).

Ensaio	FSF - % (x ₁)	GSF - % (x ₂)	Fósforo – P (mg.100g ⁻¹)	Ferro – Fe (mg.100g ⁻¹)	Zinco – Zn (mg.100g ⁻¹)
1	5,0 (-1)	1,0 (-1)	196,0±0,0 ^{gh}	2,1±0,0 ^g	2,0±0,0 ⁱ
2	5,0 (-1)	5,0 (+1)	199,0±0,0 ^g	2,1±0,0 ^g	2,1±0,0 ⁱ
3	10,0 (+1)	1,0 (-1)	226,0±0,0 ^c	4,0±0,0 ^d	2,4±0,0 ^d
4	10,0 (+1)	5,0 (+1)	225,0±0,0 ^{cd}	4,5±0,0 ^c	2,4±0,0 ^c
5	3,964 (-1,41)	3,0 (0)	187,0±0,0 ^h	2,4±0,0 ^g	1,7±0,0 ^m
6	11,035 (+1,41)	3,0 (0)	251,0±0,0 ^b	6,0±0,0 ^b	2,6±0,0 ^b
7	7,5 (0)	0,171 (-1,41)	205,0±0,0 ^{fg}	3,2±0,0 ^f	2,1±0,0 ⁱ
8	7,5 (0)	5,828 (+1,41)	213,0±0,0 ^{ef}	3,2±0,0 ^f	2,1±0,0 ^h
9	7,5 (0)	3,0 (0)	214,0±0,0 ^{ef}	3,3±0,0 ^{ef}	2,3±0,0 ^g
10	7,5 (0)	3,0 (0)	216,0±0,0 ^{cd}	3,6±0,0 ^e	2,3±0,0 ^f
11	7,5 (0)	3,0 (0)	215,0±0,0 ^{def}	3,6±0,0 ^e	2,3±0,0 ^e
Controle	-	-	150,0±0,0 ⁱ	2,1±0,0 ^g	1,6±0,0 ⁿ
FSF	-	-	559,0±1,7 ^a	7,2±3,4 ^a	5,3±0,0 ^a
GSF	-	-	44,1±1,4 ^j	3,4±1,7 ^{ef}	2,0±0,0 ^k
RDI (mg/dia)	-	-	700	14	7

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. ^{a,b,c,d,e,f,g,h,i} Letras diferentes na mesma coluna evidenciam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). FSF – Farinha da Semente de Flamboyant-mirim. GSF – Gel da Semente de Flamboyant-mirim. RDI: Recomendação diária para adultos (BRASIL, 2005).

Nos pães analisados, os teores de fósforo variaram de $196,0 \pm 0,0$ a $251,0 \pm 0,0$ mg/100 g, sendo o pão controle o que apresentou o menor valor ($150,0 \pm 0,0$ mg/100 g). O ensaio 6, contendo 11,035% de FSF e 3% de GSF, destacou-se com o maior teor de fósforo, o

que reflete a contribuição direta da FSF para o enriquecimento mineral das formulações. Essa variação é atribuída, principalmente, à incorporação das diferentes concentrações de FSF e GSF e à interação entre os ingredientes durante o processamento (Tabela 29).

Os teores de fósforo obtidos foram superiores aos valores de referência da Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos (BRASIL, 2011), que indica 193 mg/100 g para o pão tipo forma, com exceção da amostra controle e do ensaio 5. Valores inferiores foram relatados por Pyanikova, Kovaleva e Zaikina (2021) em pães enriquecidos com bagaço de maçã, farinha de arroz e trigo sarraceno, por Aljobair (2024) em pães com cascas de abóbora verde, melancia e pepino, e por Bayramov *et al.* (2022) em pães elaborados com purê de abóbora.

O fósforo é um mineral essencial ao metabolismo energético, participando da formação de ATP, da estrutura dos ácidos nucleicos (DNA e RNA) e da fosforilação de proteínas e enzimas. No organismo, cerca de 85% do fósforo total encontra-se nos ossos e dentes, sob a forma de fosfato de cálcio. Esse elemento também atua na regulação do equilíbrio ácido-básico, no transporte de energia e na ativação de diversas enzimas metabólicas (BAYRAMOV *et al.*, 2022; CASTIGLIONI *et al.*, 2021). Assim, o fósforo, juntamente com o cálcio e o magnésio, desempenha um papel central na mineralização óssea e na manutenção das funções celulares.

A FSF também se destacou quanto ao teor de ferro, apresentando $7,2 \pm 3,4$ mg/100 g, enquanto o GSF mostrou um valor inferior ($3,4 \pm 1,7$ mg/100 g). Esses valores, embora relevantes, foram inferiores aos relatados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008), Yusuf, Mofio e Ahmed (2007) e Sahu *et al.* (2022) para as sementes de *C. pulcherrima*.

Por meio da Tabela 29, verifica-se que o teor de ferro variou de $2,1 \pm 0,0$ a $6,0 \pm 0,0$ mg/100 g para os ensaios de pães, sendo o pão controle o de menor valor ($2,1 \pm 0,0$ mg/100 g). O ensaio 6, com a maior proporção de FSF (11,035%) e 3% de GSF, apresentou o maior teor de ferro, confirmando o efeito positivo da farinha de semente de flamboyant-mirim na fortificação mineral dos produtos. Essa variação pode ser atribuída à incorporação diferenciada de FSF e GSF nas formulações e às interações físico-químicas entre os ingredientes durante o processamento.

Os valores de ferro observados foram superiores à faixa indicada pela Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos (BRASIL, 2011), que estabelece 3 mg/100 g para o pão tipo forma, com exceção dos ensaios controle, 1, 2 e 5. Valores inferiores foram reportados por Pyanikova, Kovaleva e Zaikina (2021) em pães enriquecidos com bagaço de maçã, farinha

de arroz e trigo sarraceno, por Purkiewicz, Gul e Pietrzak-Fiećko (2024) em pães com pó de cenoura e abóbora e por Bayramov *et al.* (2022) em pães com purê de abóbora. Em contrapartida, Aljobair (2024) observou valores superiores em pães enriquecidos com cascas de abóbora verde, melancia e pepino, corroborando a influência da matéria-prima vegetal na composição mineral.

O ferro é um micronutriente essencial que participa de uma ampla gama de processos metabólicos. É componente estrutural da hemoglobina e da mioglobina, sendo indispensável para o transporte e armazenamento de oxigênio, além de integrar enzimas oxidoredutases envolvidas na respiração celular e no metabolismo energético (WHO, 2020; GARCÍA-CASAL *et al.*, 2018). A deficiência desse mineral leva a distúrbios como anemia ferropriva, fadiga crônica, déficit cognitivo e prejuízo no crescimento e na imunidade (PYANIKOVA; KOVALEVA; ZAIKINA, 2021). Dessa forma, a presença de FSF contribui nutricionalmente para aumentar o conteúdo de ferro biodisponível nos pães, tornando-os potencialmente mais funcionais.

A FSF também apresentou um alto teor de zinco ($5,3 \pm 0,0$ mg/100 g), enquanto o GSF apresentou um valor menor ($2,0 \pm 0,0$ mg/100 g). Esses resultados foram semelhantes aos relatados por Oderinde, Adewuyi e Ajayi (2008) e superiores aos obtidos por Omode, Fatoki e Olaogun (1995) para a semente de flamboyant-mirim, confirmando o potencial mineral dessa matriz vegetal.

Nos pães analisados (Tabela 29), o teor de zinco variou de $1,7 \pm 0,0$ a $2,6 \pm 0,0$ mg/100 g, sendo o controle o de menor valor ($1,6 \pm 0,0$ mg/100 g). O aumento do teor de zinco, especialmente nos ensaios com maiores proporções de FSF, reforça a contribuição dessa farinha na melhoria do perfil mineral das formulações. Os valores obtidos foram superiores à referência da Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos (BRASIL, 2011), que indica 1,6 mg/100 g para o pão tipo forma.

Valores inferiores foram reportados por Purkiewicz, Gul e Pietrzak-Fiećko (2024) em pães com pó de cenoura e abóbora, por Aljobair (2024) em pães com cascas vegetais e por Bayramov *et al.* (2022) em pães com purê de abóbora.

O zinco é um oligoelemento essencial para a sobrevivência humana, atuando como cofator de mais de 300 enzimas envolvidas em processos de síntese proteica, divisão celular, cicatrização tecidual, função imunológica e expressão gênica (LI *et al.*, 2023). Além disso, desempenha papel na manutenção da integridade das membranas celulares, na atividade

antioxidante endógena e no desenvolvimento cognitivo. Sua deficiência pode resultar em retardo de crescimento, imunossupressão, perda de apetite e disfunção cognitiva.

Segundo a Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020 (BRASIL, 2020), um alimento é considerado fonte de vitaminas e minerais quando fornece, no mínimo, 15% da Ingestão Diária Recomendada (IDR) por porção, e rico quando contém 30% ou mais da IDR.

Com base nos resultados apresentados nas Tabelas 28 e 29, e considerando uma porção de 50 g de pão tipo forma, verifica-se que os produtos elaborados com FSF e GSF atendem, respectivamente, a 2,48–4,8% da DRI para cálcio, 3,13–7,69% para magnésio, 0,84–1,73% para potássio, 10,71–17,92% para fósforo, 7,5–21,42% para ferro e 14,28–18,57% para zinco. Assim, os pães elaborados podem ser classificados como fontes de fósforo (ensaios 3, 4, 6, 8, 9, 10 e 11), ferro (ensaios 4 e 6) e zinco (ensaios 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10 e 11), destacando-se o ensaio 6 com os maiores valores.

Os resultados obtidos demonstram que a adição de FSF e GSF promoveu um enriquecimento mineral significativo nas formulações, ampliando o potencial nutricional dos pães tipo forma. O conteúdo de macro e microminerais nas amostras apresentou a seguinte ordem de abundância:

FSF: $K > P > Ca > Mg > Fe > Zn$

GSF: $K > Ca > Mg > P > Fe > Zn$

Pães tipo forma: $P > K > Ca > Mg > Fe > Zn$

Esses resultados evidenciam o potencial da FSF e do GSF como ingredientes funcionais no desenvolvimento de produtos panificados com maior valor nutricional, além de indicarem que as sementes de flamboyant-mirim podem ser exploradas como fontes alternativas e sustentáveis de minerais para a formulação de alimentos enriquecidos.

3.3.1 Efeitos da adição de FSF e GSF nas respostas avaliadas

Em relação aos coeficientes de regressão apresentados na Tabela 30, verificou-se que não houve influência significativa ($p > 0,05$) da FSF e do GSF, tanto no modelo linear quanto no modelo quadrático, para os teores de cálcio, magnésio e potássio. De modo semelhante, o efeito de interação entre as variáveis independentes (FSF \times GSF) também não se mostrou significativo sobre essas respostas.

Por outro lado, observou-se efeito significativo ($p < 0,05$) para os teores de fósforo, ferro e zinco, indicando que o incremento das concentrações de FSF influenciou positivamente o enriquecimento mineral dessas formulações. Esses resultados evidenciam que a FSF desempenha papel relevante na melhoria do valor nutricional dos pães, enquanto o GSF apresenta efeito limitado, o que pode estar relacionado ao seu baixo conteúdo mineral intrínseco e à alta umidade, que dilui os constituintes sólidos.

Assim, os modelos de regressão ajustados para fósforo, ferro e zinco foram considerados significativos e preditivos, sendo utilizados para a geração das superfícies de resposta e curvas de contorno (Figuras 19, 20 e 21), que descrevem o comportamento das variáveis em função das proporções de FSF e GSF.

Tabela 30 - Coeficientes de regressão do modelo das respostas avaliadas de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, ferro e zinco.

Fatores	Respostas						
	Ca	Mg	K	P	Fe	Zn	
C.R	x_1	16,55	-4,81	15,43	4,62	-0,13	0,23
	x_1^2	-0,75	0,36	-0,21	0,22	0,03	-0,008
	x_2	21,35	-6,40	18,35	7,76	0,26	0,15
	x_2^2	-2,72	0,76	-1,10	-0,90	-0,07	-0,018
	x_1x_2	-0,46	0,26	-1,65	-0,20	0,02	-0,005
E.P	38,91	25,54	62,89	26,66	1,71	0,50	
Tc	x_1	1,80	-0,80	1,04	0,73	-0,32	1,96
	x_1^2	-1,30	0,94	-0,22	0,55	1,36	-1,06
	x_2	2,48	-1,13	1,32	1,32	0,70	1,40
	x_2^2	-3,00	1,29	-0,75	-1,45	-1,76	-1,59
	x_1x_2	-0,52	0,46	-1,18	-0,33	0,65	-0,44
P	x_1	0,02	0,14	0,014	0,0003*	0,0003*	0,001*
	x_1^2	0,24	0,38	0,82	0,60	0,22	0,33
	x_2	0,36	0,85	0,80	0,46	0,66	0,76
	x_2^2	0,02	0,25	0,48	0,20	0,13	0,17
	x_1x_2	0,61	0,65	0,24	0,74	0,53	0,67
R²	0,80	0,51	0,75	0,94	0,94	0,89	
Adj R²	0,60	0,02	0,51	0,88	0,88	0,78	

*Valores de $p < 0,05$. C.R – Coeficiente de Regressão; E.P – Erro Padrão; Tc – T calculado; x_1 : Fator Linear da Farinha da semente de flamboyant-mirim; x_1^2 : Fator Quadrático da Farinha da semente de flamboyant-mirim; x_2 : Fator Linear do Gel da semente de flamboyant-mirim; x_2^2 : Fator Quadrático do Gel da semente de flamboyant-mirim; x_1x_2 : interação entre as variáveis independentes. Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; K – Potássio; P – Fósforo; Fe – Ferro; Zn – Zinco.

Analisando os coeficientes de regressão dos fatores estudados em relação ao teor de ferro (Tabela 30), observou-se que a FSF no modelo quadrático, o GSF nos modelos linear e quadrático, assim como o termo de interação FSF \times GSF, não apresentaram significância estatística ($p > 0,05$). Entretanto, foi identificado efeito positivo da FSF no modelo linear,

indicando que o aumento da concentração de farinha de semente de flamboyant-mirim promoveu incremento no teor de ferro dos pães.

O coeficiente de determinação (R^2) apresentou um valor elevado (0,94), demonstrando boa correlação entre os valores experimentais e os preditos pelo modelo matemático ajustado. Os termos significativos foram empregados no cálculo da ANOVA da regressão (Tabela 31), que resultou em teste F significativo ($F_{cal.} = 16,84$; $F_{tab.} = 5,05$) e falta de ajuste não significativa ($F_{cal.} = 7,33$; $F_{tab.} = 19,16$).

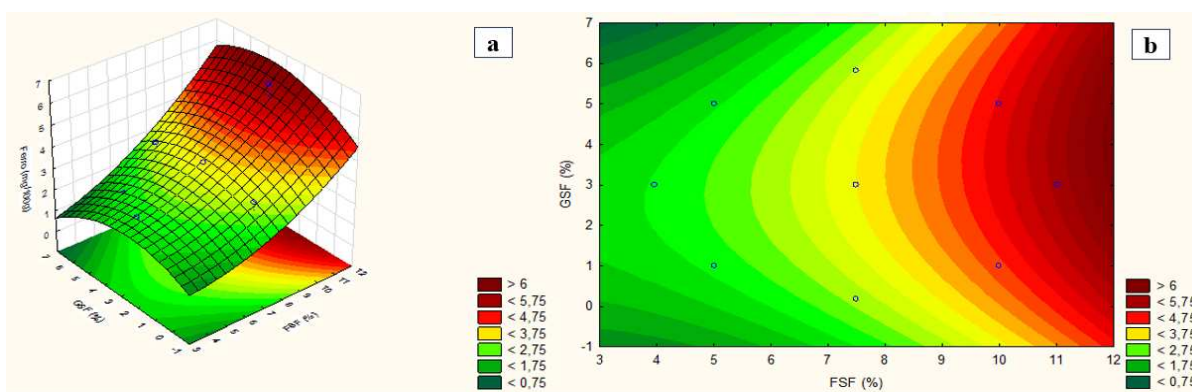
Esses resultados confirmam que o modelo proposto para o teor de ferro é estatisticamente preditivo e confiável, permitindo a representação gráfica das relações entre as variáveis independentes (FSF e GSF) e a resposta analisada. Assim, foi possível gerar a superfície de resposta e as curvas de contorno (Figura 18), que evidenciam a tendência de aumento do teor de ferro com a elevação da concentração de FSF nas formulações.

Tabela 31 - ANOVA da regressão para a resposta ao teor de ferro.

Fonte de variação	GL	SS	QM	$F_{calculado}$	$F_{tabelado}$
Regressão	5	12,12653	2,425306		
Erro	5	0,72074	0,144148	16,84	5,05 (5%;5,5)
Falta de ajuste	3	0,66074	0,22025		
Erro puro	2	0,06000	0,03000	7,33	19,16 (5%;3,2)
Total	10	12,84727			

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. SS: Soma dos quadrados; GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio.

Figura 18 - Gráfico de superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre o teor de ferro dos pães tipo forma.



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

A equação de Y em relação ao coeficiente de regressão estatisticamente significativo ($p < 0,05$), encontra-se descrita na Equação 18.

$$\text{Ferro (mg/100 g)} = 1,78 - 0,13x_1 + 0,035x_1^2 + 0,26x_2 - 0,07x_2^2 + 0,025x_1x_2 \quad (18)$$

Onde: x_1 = é a farinha da semente de flamboyant-mirim - FSF (%), x_2 = é o gel da semente de flamboyant-mirim - GSF (%).

Este resultado indica que, quanto maior a concentração de FSF adicionada aos pães, maior o teor de ferro nas formulações. Para alcançar um pão com maior teor de ferro, devem-se empregar concentrações de FSF entre 10% e 11,035% ($x_1 = +1/+1,41$). Destacam-se os ensaios 3 (FSF = 10% e GSF = 1%), 4 (FSF = 10% e GSF = 5%) e 6 (FSF = 11,035% e GSF = 3%), que apresentaram os maiores teores de ferro ($4,0 \pm 0,0$ a $6,0 \pm 0,0$ mg/100 g). A superfície de resposta (Figura 18) confirma essa tendência, evidenciando que o GSF não exerceu influência significativa sobre o teor de ferro dentro da faixa estudada (até 5,82%), enquanto a FSF mostrou efeito positivo e crescente.

Os coeficientes de regressão dos fatores estudados para o teor de zinco estão apresentados na Tabela 30. Verificou-se que a FSF no modelo quadrático, o GSF nos modelos linear e quadrático e o termo de interação FSF \times GSF não foram significativos ($p > 0,05$). Contudo, observou-se efeito positivo da FSF no modelo linear, indicando que o aumento de sua concentração resultou em incremento do teor de zinco nos pães.

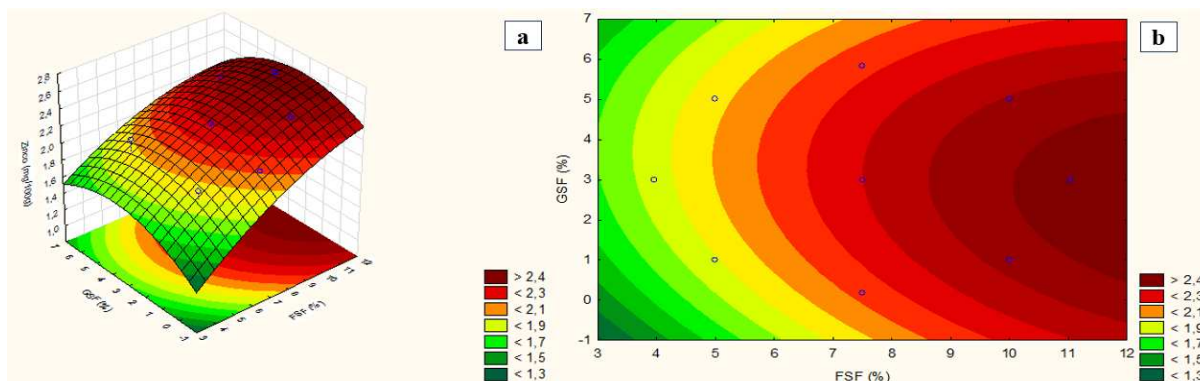
Tabela 32 - ANOVA da regressão para a resposta ao teor de zinco.

Fonte de variação	GL	SS	QM	Fcalculado	Ftabelado
Regressão	5	9,46163	1,892326	151,96	5,05 (5%;5,5)
Erro	5	0,062261	0,012452		
Falta de ajuste	3	0,062261	0,020754	0,02	19,16 (5%;3,2)
Erro puro	2	0,000000	0,000000		
Total	10	0,589091			

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. SS: Soma dos quadrados; GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,89$) revelou uma boa capacidade explicativa do modelo, confirmando o ajuste entre valores experimentais e preditos. A ANOVA da regressão (Tabela 32) apresentou um teste F altamente significativo ($F_{cal.} = 151,96$; $F_{tab.} = 5,05$) e uma falta de ajuste não significativa ($F_{cal.} = 0,02$; $F_{tab.} = 19,16$), demonstrando que o modelo matemático para o zinco é robusto e preditivo.

Figura 19 - Gráfico de superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre o teor de zinco dos pães tipo forma.



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

Esses resultados possibilitaram a geração da superfície de resposta e das curvas de contorno (Figura 19), que ilustram o efeito linear positivo da FSF sobre o enriquecimento em zinco. O comportamento observado reforça que a farinha da semente de flamboyant-mirim é o principal fator responsável pelo aumento do teor mineral nas formulações, enquanto o gel (GSF) apresenta contribuição marginal devido à sua baixa densidade mineral e elevado teor de umidade.

A equação de Y em relação ao coeficiente de regressão estatisticamente significativo ($p < 0,05$), encontra-se descrita na Equação 19.

$$\text{Zinco (mg/100 g)} = 0,81 + 0,23x_1 - 0,007x_1^2 + 0,15x_2 - 0,018x_2^2 - 0,005x_1x_2 \quad (19)$$

Onde: x_1 = é a farinha da semente de flamboyant-mirim - FSF (%), x_2 = é o gel da semente de flamboyant-mirim - GSF (%).

A análise do gráfico de superfície de resposta (Figura 19) evidenciou que o aumento da concentração de FSF promove elevação progressiva no teor de zinco das formulações. Para se obter um pão com maior conteúdo de zinco, recomenda-se a utilização de níveis de FSF entre 10% e 11,035% ($x_1 = +1/+1,41$). Destacam-se os ensaios 3 (FSF = 10% e GSF = 1%), 4 (FSF = 10% e GSF = 5%) e 6 (FSF = 11,035% e GSF = 3%), que apresentaram os maiores teores de zinco, variando de $2,4 \pm 0,0$ a $2,6 \pm 0,0$ mg/100 g. Assim como observado para o ferro, o GSF não exerceu influência significativa sobre o teor de zinco nas condições experimentais avaliadas, confirmando que a FSF é o principal fator de enriquecimento mineral nas formulações.

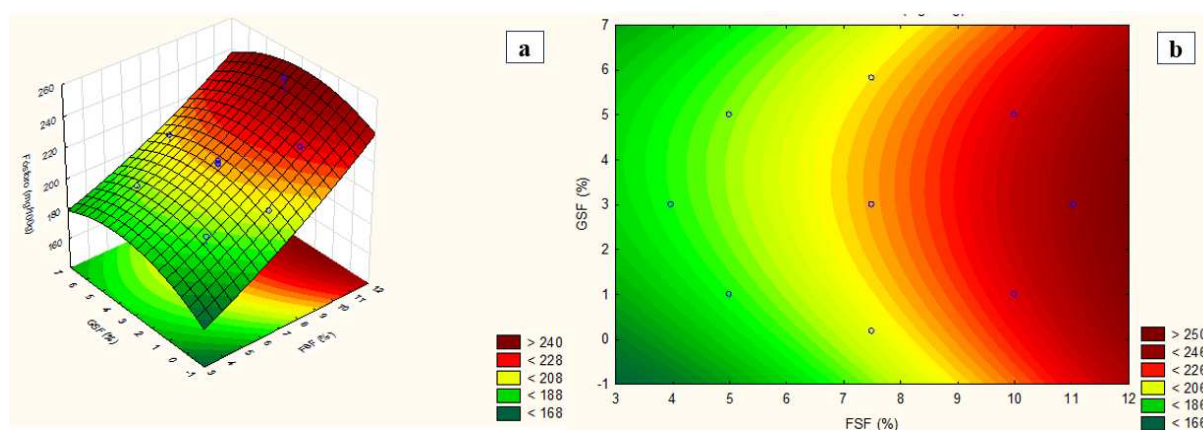
Os coeficientes de regressão dos fatores estudados para o teor de fósforo estão apresentados na Tabela 30. Verificou-se que a FSF no modelo quadrático, o GSF nos modelos linear e quadrático e o termo de interação FSF \times GSF não foram significativos ao nível de 5% ($p > 0,05$). Contudo, foi identificado um efeito positivo da FSF no modelo linear, indicando que o aumento da concentração de farinha de semente de flamboyant-mirim contribuiu para o incremento do teor de fósforo nos pães.

Tabela 33 - ANOVA da regressão para a resposta ao teor de fósforo.

Fonte de variação	GL	SS	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	5	2.820,337	564,0674	16,18	5,05 (5%;5,5)
Erro	5	174,208	34,8416		
Falta de ajuste	3	172,208	57,40266	57,4	19,16 (5%;3,2)
Erro puro	2	2000000	1000000		
Total	10	2994,545			

Fonte: Dados da pesquisa, 2026. SS: Soma dos quadrados; GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio.

Figura 20 - Gráfico de superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o efeito dos teores de FSF e GSF sobre o teor de fósforo dos pães tipo forma.



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,94$) apresentou valor satisfatório, indicando boa correlação entre os valores observados e preditos. A ANOVA da regressão (Tabela 33) demonstrou teste F significativo ($F_{cal.} = 16,18$; $F_{tab.} = 5,05$), embora tenha sido observada uma falta de ajuste significativa ($F_{cal.} = 57,4$; $F_{tab.} = 19,16$).

Apesar disso, o modelo explicou 94,18% da variação total dos dados, sendo considerado adequado para representar a tendência do comportamento do fósforo nas formulações estudadas. Dessa forma, foi possível gerar a superfície de resposta e as curvas de

contorno (Figura 20), que ilustram a influência das proporções de FSF e GSF sobre o teor de fósforo nos pães.

A equação de Y em relação ao coeficiente de regressão estatisticamente significativo ($p < 0,05$), encontra-se descrita na Equação 20.

$$\text{Fósforo (mg/100 g)} = 157,28 + 4,62 x_1 + 0,22 x_1^2 + 7,76 x_2 - 0,90 x_2^2 - 0,2x_1x_2 \quad (20)$$

Onde: x_1 = é a farinha da semente de flamboyant-mirim - FSF (%), x_2 = é o gel da semente de flamboyant-mirim - GSF (%).

A análise do gráfico de superfície de resposta (Figura 20) revelou que o aumento da concentração de FSF promoveu elevação significativa no teor de fósforo das formulações. Assim, para se obter um pão com maior conteúdo de fósforo, recomenda-se a utilização de concentrações de FSF entre 10% e 11,035% ($x_1 = +1/+1,41$). Destacaram-se os ensaios 3 (FSF = 10% e GSF = 1%), 4 (FSF = 10% e GSF = 5%) e 6 (FSF = 11,035% e GSF = 3%), que apresentaram os maiores teores de fósforo ($225 \pm 0,0$ a $251 \pm 0,0$ mg/100 g). De acordo com a Figura 20, o GSF não exerceu influência significativa sobre o teor de fósforo dos pães, corroborando o efeito dominante da FSF como principal fonte mineral no enriquecimento das formulações.

O comportamento observado é consistente com os resultados obtidos para ferro e zinco, indicando que a FSF atua como o principal vetor de incremento mineral, devido à sua composição mais concentrada e menor teor de umidade, o que favorece a incorporação efetiva de minerais na matriz do pão. Além disso, o aumento da fração de FSF pode ter contribuído para maior retenção de fósforo na massa durante o forneamento, em virtude de interações com proteínas e polissacarídeos que estabilizam os sais fosfóricos na estrutura do alimento.

3.4 Resultados das análises de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

As micrografias eletrônicas de varredura (MEV) do pão tipo forma controle e das formulações adicionadas de farinha e gel da semente de flamboyant-mirim, obtidas com ampliação de $1000\times$, exibiram mudanças marcantes na morfologia superficial das amostras.

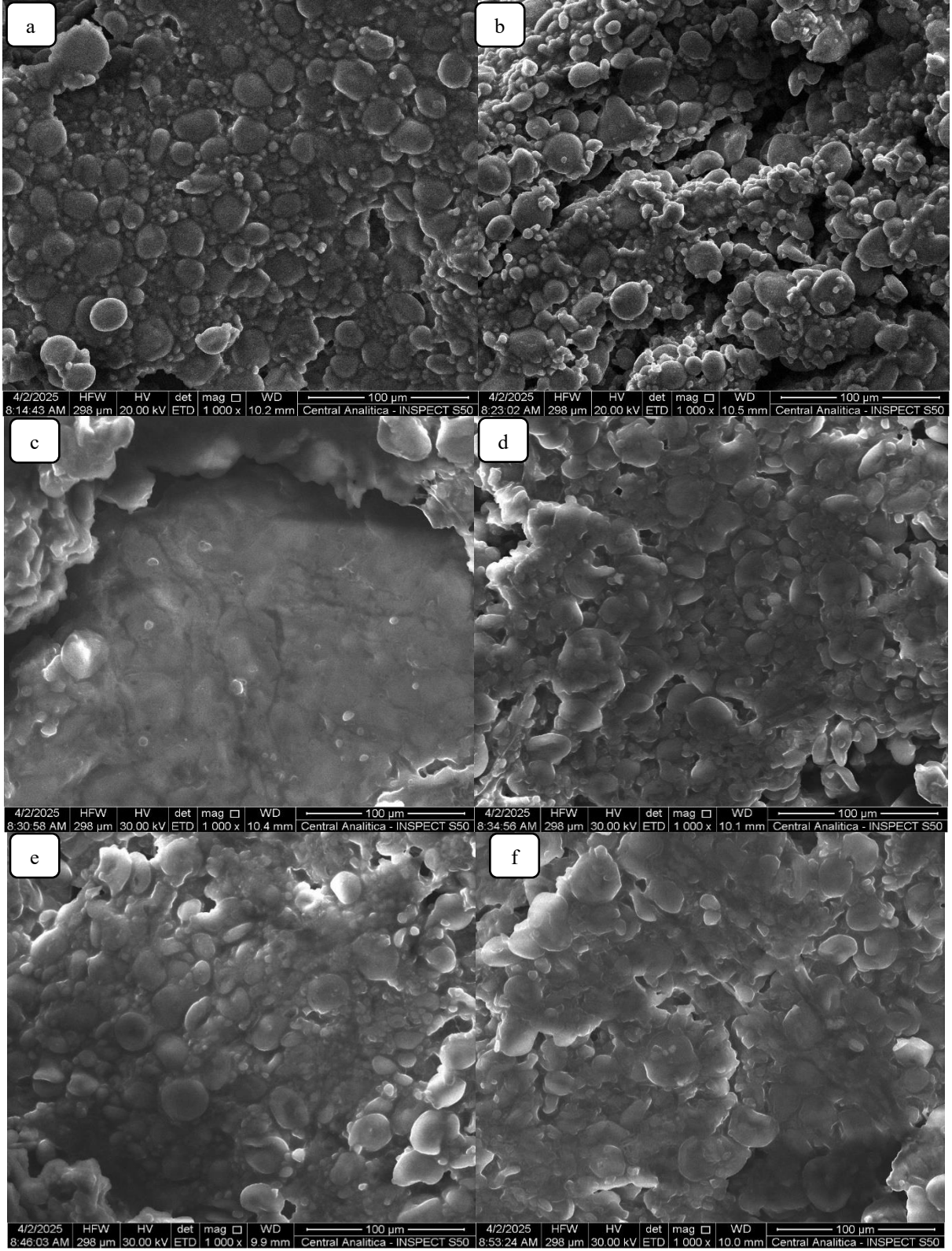
As Figuras 21a a 21l ilustram claramente essas diferenças estruturais, evidenciando que a adição de diferentes concentrações da farinha e do gel da semente de flamboyant-mirim no processo de fabricação de pães tipo forma influencia diretamente a integridade e a textura da superfície das amostras, afetando a formação e a qualidade da rede de glúten.

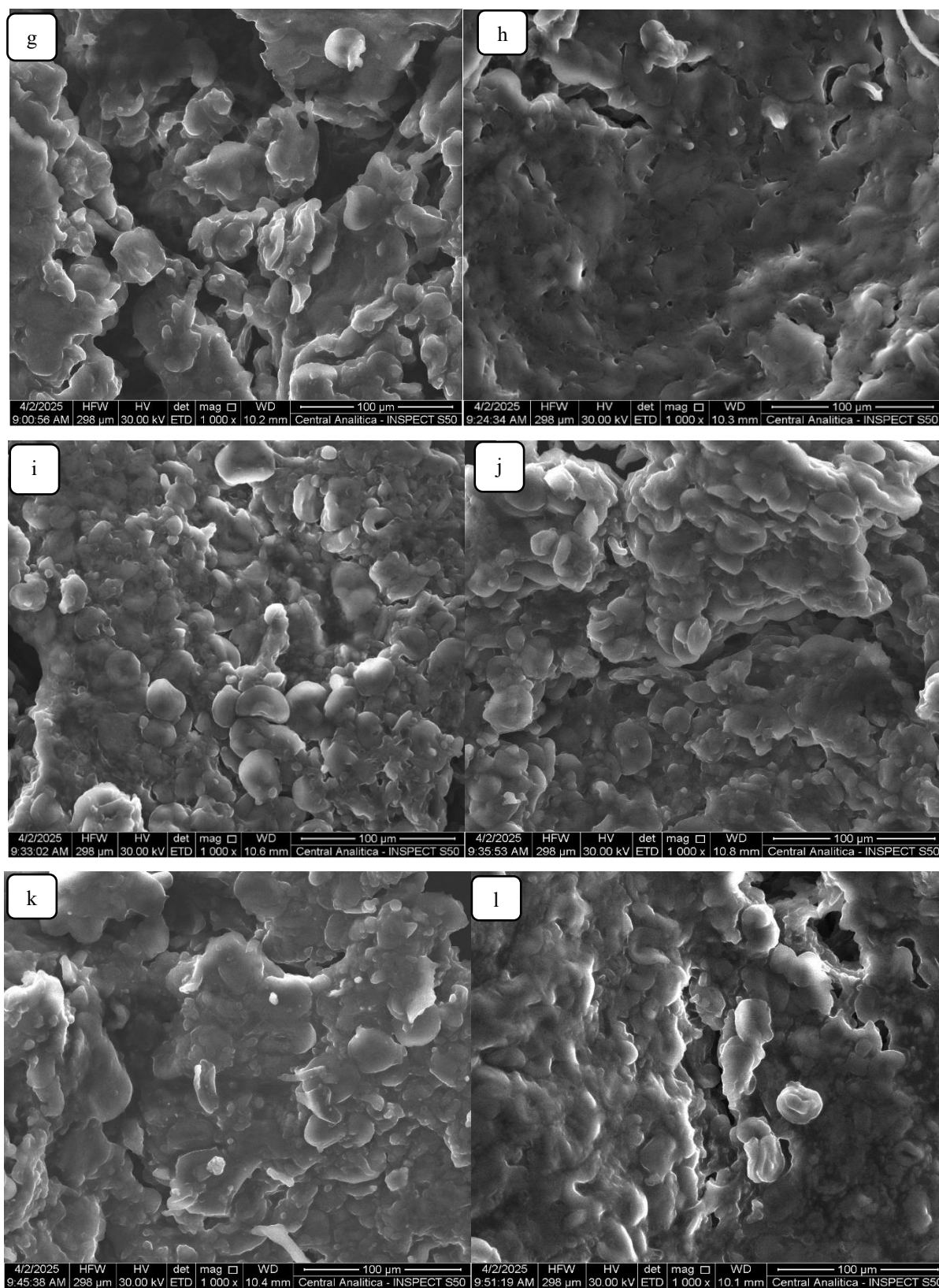
O pão controle exibiu uma microestrutura mais ordenada, com grânulos bem reservados e superfície relativamente homogênea em relação as formulações contendo a farinha (FSF) e gel (GSF), que apresentaram uma superfície irregular, compactada, rugosa ou lisa que pode variar dependendo das concentrações de FSF e GSF adicionadas nos pães (21a a 21l).

A Figura (21a), que representa o pão controle observou-se uma estrutura organizada, com grânulos de amido relativamente íntegros, arredondados, de partículas esféricas e semi-esféricas. A morfologia revelou uma matriz proteica aparentemente mais contínua, indicando boa formação de rede de glúten e uma superfície relativamente homogênea. Essa observação assemelha-se aos relatos de Hayta e Ertop (2018) que observaram que as amostras de pão de trigo elaborado com diferentes tipos de fermentos continham grânulos de amido pequenos e grandes, de formato esférico e lenticular, distribuídos por toda a matriz proteica. E condiz com os resultados de Naumenko *et al.*, (2021) que visualizaram na amostra controle, grânulos de amido de tamanho mais fino e médio, na forma de grãos redondos ou elípticos.

A Figura (21b), correspondente ao pão com 5% de FSF e 1% de GSF, observa-se uma pequena desorganização estrutural devido a adição da farinha e do gel semente de flamboyant-mirim no pão, os grânulos de amidos apresentam parcialmente incorporado a regiões mais densas, com aglomerado irregulares e uma superfície relativamente rugosa. A morfologia revelou uma evidência de intervenção na matriz proteica (regiões rompidas), e uma estrutura mais porosa em comparação ao pão controle. Os buracos formados pela liberação de gás durante a fermentação são visíveis, indicando que, nessa concentração, a adição da FSF e GSF exerce apenas leve interferência na estrutura interna do pão.

Figura 21 - Micrografia eletrônica de varredura dos pães tipo forma controle (a) e adicionados de FSF e GSF (b-l) com uma lente de aumento de 1000 x.





Fonte: Dados da pesquisa, 2026. a – Pão controle; b – Pão com 5% de FSF e 1% de GSF; c – Pão com 5% de FSF e 5% de GSF; d – Pão com 10% de FSF e 1% de GSF; e – Pão com 10% de FSF e 5% de GSF; f – Pão com 3,964% de FSF e 3% de GSF; g – Pão com 11,035% de FSF e 3% de GSF; h – Pão com 7,5% de FSF e 0,171% de GSF; i – Pão com 7,5% de FSF e 5,828% de GSF; j, k e l – Pão com 7,5% de FSF e 3% de GSF.

A Figura (21c), que corresponde ao pão com 5% de FSF e 5% de GSF, as alterações microestruturais tornam-se mais evidentes. Observa-se uma estrutura compactada, os grânulos de amidos apresentam incorporado a regiões mais densas, com menor distinção de grânulos. A morfologia revelou uma superfície predominantemente lisa, sugerindo maior gelatinização, provavelmente devido ao aumento da concentração do GSF (5%). Além disso, foi observado uma estrutura menos porosa visível que provavelmente foi preenchida pelo GSF.

A Figura (21d), que corresponde ao pão com 10% de FSF e 1% de GSF, nota-se uma estrutura mais densa e com aglomeração evidente, os grânulos de amidos apresentam menos distinguíveis e com deformação. A morfologia revelou uma estrutura mais irregular e com um crescimento acentuado de partículas quebradas. Os poros apresentam visíveis em diferentes tamanhos.

A Figura (21e) que representa o pão com 10% de FSF e 5% de GSF, observou-se uma estrutura mais aglutinada, com regiões densas e compactadas e com poucos grânulos de amido preservados. A morfologia revelou a existência de domínios planos indicando maior gelatinização-amorfização.

A Figura (21f) que corresponde o pão com 3,964% FSF e 3% GSF, observou-se uma estrutura intermediária, parcialmente compactada. Os grânulos de amidos apresentaram moderadamente preservados e com menor fragmentação em comparação as formulações contendo 10% de FSF.

A Figura (21g) que corresponde o pão com 11,035% FSF e 3% GSF, observou-se uma estrutura relativamente mais rugosa e desorganizada, com grânulos de amido pouco reconhecível. A morfologia exibiu uma estrutura mais plana (presença de lâminas) e quebradiça (presença de fragmentos) indicando forte ruptura da matriz proteica. Foi observado a formação de espaços vazios (estrutura porosa) em maiores proporções em comparação com as demais formulações. Os espaços vazios, são essenciais para reter os gases produzidos durante a fermentação, permitindo o crescimento do pão, o que justifica o maior volume específico obtido nesse ensaio.

A Figura (21h) que representa o pão com 7,5% de FSF e 0,171% de GSF, observou-se uma matriz contínua, densa e relativamente compacta. A superfície é notavelmente rugosa e heterogênea, com predomínio de regiões colapsadas e compactadas e ausência de grandes alvéolos interconectados. Em relação a porosidade, verificou-se que a estrutura apresenta poros pequenos, irregulares, pouco numerosos e com predomínio de microporos fechados e distribuição não uniforme dos vazios.

A Figura (21i) que representa o pão com 7,5% de FSF e 5,828% de GSF, observou-se uma estrutura irregular com placas e formações onduladas. Os grânulos de amidos apresentam-se pouco nítidos. O GSF em maiores proporções promoveu coesão excessiva, com aparência de massa colapsada, gerando um sistema mais pegajoso e compacto.

As Figuras (21j, 21k e 21l) que representam os pães com 7,5% de FSF e 3% de GSF, verificou-se uma estrutura consistente, com boa coesão, menores danos e boa formação de rede de glúten. Os grânulos de amidos estão parcialmente preservados e interligados pela matriz proteica. A morfologia revelou uma superfície irregular, contínua, com regiões lisas, partículas amorfas, mas sem rupturas severas.

Quanto maior a adição de FSF, mais a matriz proteica se torna rugosa e fragmentada, com grânulos de amido deformados ou não visíveis. A FSF interfere na formação do glúten, reduzindo a continuidade estrutural e aumentando a desorganização. Enquanto que o GSF em baixas concentrações ocasiona pouca influência estrutural, já as concentrações moderadas melhoram a coesão e preenchem espaços, estabilizando a matriz e altas concentrações geram estruturas mais densas e compactas, gerando aparência “colapsada”, pois, o GSF age como agente hidratante e aglutinante, mas em excesso prejudica a aeração.

Combinando as imagens de MEV com os dados de umidade e perda por cocção deste estudo, fica claro que quanto mais rugosa a estrutura observada na amostra de pão com adição de FSF e GSF em diferentes concentrações, menor foi o teor de umidade e uma maior perda por cocção em comparação ao controle. Esses achados corroboram com Fu *et al.* (2018), que verificaram que, quanto mais rugosa a estrutura observada na amostra de pão com EGCG (epigalocatequina galato), menor foi o teor de umidade e a coesão nas amostras de pães.

Garcia (2025) observou em suas pesquisas que a a adição crescente de farinha de semente de flamboyant-mirim não germinada interfere progressivamente na microestrutura interna do pão. A partir de 4% de adição já se observa desorganização significativa, com colapsos estruturais, furos irregulares e interrupções na matriz proteica. Esses efeitos se intensificam com teores maiores, comprometendo a qualidade estrutural do produto final.

Ni *et al.*, (2020) observaram através das imagens de MEV que o pão controle apresentou grânulos de amidos intactos e uma superfície rugosa com mais filamentos de glúten em comparação ao pão com 21% de farinha de casca de semente de fava que tendeu a apresentar granulos de amidos expostos e uma camada mais contínua e lisa.

4 CONCLUSÃO

A farinha da semente de flamboyant-mirim (FSF) apresentou perfil composicional superior ao do gel da semente de flamboyant-mirim (GSF), destacando-se pelos maiores teores de proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos, fibra bruta, valor energético, compostos fenólicos, capacidade antioxidante e minerais, além de baixa umidade, características que favorecem sua aplicação em alimentos. Ambos mostraram pH elevado e baixa acidez, indicando estabilidade química adequada para produtos panificados.

A incorporação de FSF e GSF em pães tipo forma promoveu melhorias nas propriedades físico-químicas, tecnológicas e funcionais, com aumento nos valores de pH, proteínas, lipídios, cinzas, fibras, calorias, compostos fenólicos, atividade antioxidante, minerais, volume específico, perda por cocção, número e circularidade de alvéolos, bem como nos parâmetros a^* do miolo e b^* e C^* da crosta. Em contrapartida, houve reduções significativas nos teores de acidez, umidade, densidade e luminosidade (L^*) do miolo, em relação à formulação controle.

Os parâmetros carboidratos, atividade de água, índice de expansão, L^* e a^* da crosta, b^* e C^* do miolo permaneceram próximos aos valores da amostra controle, sugerindo que a adição de FSF e GSF não alterou de forma significativa esses atributos avaliados e as análises do MEV mostraram morfologia heterogênea, influenciando diretamente a integridade e a textura da superfície das amostras, afetando a formação e a qualidade da rede de glúten.

Dentre as formulações estudadas, destacaram-se as com melhor desempenho global nos atributos avaliados: Ensaio 6: 11,035% de FSF e 3% de GSF; Ensaio 4: 10% de FSF e 5% de GSF; Ensaio 3: 10% de FSF e 1% de GSF. Essas combinações proporcionaram pães com maior valor nutricional, propriedades tecnológicas aprimoradas e potencial funcional elevado, configurando alternativas promissoras para o desenvolvimento de produtos panificados com apelo *clean label* e enriquecimento natural.

REFERÊNCIAS

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of American Association of Cereal Chemists**. 10. ed. St. Paul: AAAC, 2000. v. 2.

ABDEL-GHANY, A. S.; ZAKI, D. A. Evaluation of technological and antihyperglycemic effects of pan bread enriched with okra pod waste on diabetic male rats. **Alexandria Science Exchange Journal**, v. 44, n. 202692, p. 691-708, 2023.

ADAMCZYK, G.; IVANIŠOVÁ, E.; KASZUBA, J.; BOBEL, I.; KHVOSTENKO, K.; CHMIEL, M.; FALENDYSH, N. Quality Assessment of Wheat Bread Incorporating Chia Seeds. **Foods**, v. 10, n. 2376, p. 1-10, 2021.

AGUIAR, L. M. S.; NASCIMENTO, D. K. D.; RAMOS, B. A.; MOURA, M. C.; COELHO, L. C. B. B.; NAPOLEÃO, T. H.; CORREIA, M. T. S.; FILHO, I. J. C.; MAIOR, A. M. S.; SILVA, T. D.; LIMA, C. S. A.; LORENA, V. M. B.; MELO, C. M. L. Antioxidant, antimicrobial and immunostimulant properties of saline extract from *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz (Fabaceae) leaves. **Indian Journal of Traditional Knowledge**, v. 18, n. 2, p. 281- 289, 2019.

ALASHI, A. M.; TAIWO, K. A.; OYEDELE, D.; ADEBOOYE, O. C.; ALUKO, R. E. Antihypertensive properties of aqueous extracts of vegetable leaf-fortified bread after oral administration to spontaneously hypertensive rats. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 53, p. 1705–1716, 2018.

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

ALJOB AIR, M. O. Enrichment of bread with green pumpkin, watermelon and cucumber peels: physicochemical, pasting, rheological, antioxidant and organoleptic properties. **Journal of Food Quality**, v. 6649325, n. 12, p. 1-12, 2024.

ALKANDARI, D.; SARFRAZ, H.; SIDHU, J. S. Development of a functional food (pan bread) using amla fruit poder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 4, p. 2287–2295, 2019.

ALTAMIRANO-FORTOUL, R.; ROSELL, C. M. Physico-chemical changes in breads from bake off technologies during storage. **Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie**, v. 44, n. 3, p. 631-636, 2011.

ALVAREZ-JUBETE, L.; AUTY, M.; ARENDT, E. K.; GALLAGHER, E. “Baking Properties and Microstructure of Pseudocereal Flours in Gluten-Free Bread Formulations.” **European Food Research and Technology**, v. 230, p. 437-45, 2010.

ALVES, M. J.; MOURA, A. K. S.; COSTA, L. M.; ARAÚJO, E. J. F.; SOUSA, G. M.; COSTA, N. D. J.; FERREIRA, M. P. M.; SILVA, J. N.; PESSOA, C.; LIMA, S. G.; CITÓ, A. M. G. L. Teor de fenóis e flavonoides, atividades antioxidante e citotóxica das folhas, frutos, cascas dos frutos e sementes de *Piptadenia moniliformis* Benth (Leguminosae -

Mimosoideae). **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, v. 13, n. 5, p. 466 – 476, 2014.

AMOA, I.; TAARJI, N.; JOHNSON, P. N. T.; BARRETT, J.; CAIRNCROSS, C.; RUSH, E. Plant-based food by-products: prospects for valorisation in functional bread development. **Sustainability**, v. 12, n. 7785, p. 1-31, 2020.

ANDRADE, B. A.; PERIUS, D. B.; MATTOS, N. V.; LUVIELMO, M. M.; MELLADO, M. S. Produção de farinha de banana verde (*Musa spp.*) para aplicação em pão de trigo integral. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, n. e2016055, p. 1-10, 2018.

AOAC, ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. 16. ed. Arlington: AOAC, 2005.

ATIENZA, A. A.; ARROLADO, E. C.; MANALO, R. A. M.; TOMAGAN, L. B.; DELA TORRE, G. L. Antioxidant Activity and Minimum Inhibitory Concentration of the Crude Methanolic Extract of *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz. **Der Pharma Chemica**, v. 8, n. 17, p. 99-104, 2016.

AZEEZ, S. O.; CHINMA, C. E.; BASSEY, S. O.; EZZE, U. R.; MAKINDE, A. F.; SAKARIYAH, A. A.; OKUBANJO, S. S.; DANBABA, N.; ADEBO, O. A. Impact of germination alone or in combination with solid-state fermentation on the physicochemical, antioxidant, in vitro digestibility, functional and thermal properties of brown finger Millet flours. **LWT - Food Science and Technology**, v. 154, n. 112734, p. 1-9, 2022.

BAIANO, A.; VIGGIANI, I.; TERRACONE, C.; ROMANIELLO, R.; DEL NOBILE, M. A. Physical and Sensory Properties of Bread Enriched with Phenolic Aqueous Extracts from Vegetable Wastes. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 33, n. 3, p. 247–253, 2015.

BAYRAMOV, E.; ALIYEV, S.; GASIMOVA, A.; GURBANOVA, S.; KAZIMOVA, I. Increasing the biological value of bread through the application of pumpkin puree. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, v. 116, p. 1-11, 2022.

BHARDWAJ, K.; NAJDA, A.; SHARMA, R.; NURZYŃSKA-WIERDAK, R.; DHANJAL, D. S.; SHARMA, R.; MANICKAM, S.; KABRA, A.; KUČA, K.; BHARDWAJ, P. “Fruit and Vegetable Peel-Enriched Functional Foods: Potential Avenues and Health Perspectives,” **Evidence-based Complementary and Alternative Medicine**, p. 1–14, 2022.

BRASIL. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – NEPA. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. 4. ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 161 p, 2011.

BENÍTEZ, V.; CANTERA, S.; AGUILERA, Y.; MOLLÁ, E.; ESTEBAN, R. M.; DÍAZ, M. F.; MARTÍN-CABREJAS, M. A. Impact of germination on starch, dietary fiber and physicochemical properties in non-conventional legumes. **Food Research International**, v. 50, p. 64–69, 2013.

BERWIG, K. P.; MARQUES, D. R.; MONTEIRO, A. R. G. Influência do tipo de farinha, da temperatura e do tempo de fermentação na qualidade de pães de forma. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 9 n. 4, p. 27-46, 2018.

BEZERRA, L. C. N. M.; SILVA, C. E. M.; NASCIMENTO, H. O.; CONSTANT, P. B. L. Produção e caracterização de pão de forma obtido por processo rápido. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, e297111133569, p. 1-27, 2022.

BEZERRA, J. M.; VIEIRA, M. M. S.; SANTOS, A. F.; FARIAS, E. T. R.; LOPES, M. F.; SOUZA, A. S. Composição química de oito cultivares de feijão-caupi. **Revista Verde**, v. 14, n. 1, p. 41-47, 2019.

BOTELHO, Fabiana de Souza. **Efeito das gomas xantana e/ou guar na textura de pães isentos de glúten elaborados com farinhas de arroz e de milho**. 2012. 102f. Dissertação (Mestre em Ciências Gastronômicas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 711, de 6 de julho de 2022. Dispõe sobre o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução normativa-IN nº 75, de 8 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 09 de outubro de 2020.

BRASIL. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – NEPA. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. 4. ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 161 p, 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução-RDC Nº 269, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais”. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 29 de agosto de 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução - RDC Nº 90, de 18 de outubro de 2000. Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de pão. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 out. 2000.

BUERA, M.P.; RETRIELLA, C.; LOZANO, R. D. Definition of color in the non-enzymatic browning. **Die Farbe**, v. 33, p. 316-326, 1985.

BURITI, F. C. A.; SANTOS, K. M. O.; SOMBRA, V. G.; MACIEL, J. S.; TEIXEIRA SÁ, D. M. A.; SALLES, H. O.; OLIVEIRA, G.; PAULA, R. C. M.; FEITOSA, J. P. A.; MOREIRA, A. C. O. M.; MOREIRA, R. A.; EGITO, A. S. Characterisation of partially hydrolysed galactomannan from *Caesalpinia pulcherrima* seeds as a potential dietary fibre. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 512-521, 2014.

BUSTILLOS-RODRÍGUEZ, J. C.; TIRADO-GALLEGOS, J. M.; ORDÓÑEZ-GARCÍA, M.;

ZAMUDIO -FLORES, P. B.; ORNELAS-PAZ, J. J.; ACOSTA-MUÑIZ, C. H.; GALLEGOSMORALES, G.; PÁRAMO-CALDERÓN, D. E.; RIOS-VELASCO, C. Physicochemical, thermal and rheological properties of three native corn starches. **Food Science and Technology**, v. 39, n. 1, p. 149-157, 2019.

CALIX-RIVERA, C. S.; RONDA, F. Suitability of flours and gels from crops affected by climate change in honduras: crystallinity, thermal, dynamic rheological and textural behavior. **Revista bionatura**, v. 8, n. 3:33, p. 1-11, 2023.

CAMPOS, L. **Entender a bioquímica**, 5th ed., 2008. 684p.

CASTIGLIONI, S. Editorial of Special Issue “Magnesium in Human Health and Disease”. **Nutrients**, v. 13, n. 2490, p. 1-4, 2021.

CAUVAIN, P. **Bread making: Improving quality**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited., 2003.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2.ed. Campinas: Unicamp, 207p. 2003.

CHAUDHARY, N.; DANGI, P.; KHATKAR, B. S. Relationship of molecular weight distribution profile of unreduced gluten protein extracts with quality characteristics of bread. **Food Chemistry**, v. 210, p. 325–331, 2016.

CHANDA, S.; PAREKH, J.; BARAVALIA, Y.; PAREKH, S. Antimicrobial and antioxidant efficacy of various solvent extracts of seeds and fruits rind of *Caesalpinia pulcherrima* Swartz, **Arch Clin Microbiol**, v. 1, n. 4:5, 2010.

CHEN, X. M.; LU, W.; ZHANG, Z. H.; ZHANG, J. J.; TUONG, T. M. L.; LIU, L. L.; KIM, Y. H.; LI, C. H.; GAO, J. M. Cassane diterpenoids from the aerial parts of *Caesalpinia pulcherrima* and their antibacterial and anti-glioblastoma activity. **Phytochemistry**, v. 196, n. 113082, p. 1-11, 2022.

CHEYNIER, V. Polyphenols in Foods Are More Complex than Often Thought. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 81, p. 223-229, 2005.

CHEW, Y. L.; GOH, J. K.; LIM, Y. Y. Assessment of in vitro antioxidant capacity and polyphenolic composition of selected medicinal herbs from Leguminosae family in Peninsular Malaysia. **Food Chemistry**, v. 116, p. 13–18, 2009.

CHINDHANAISELVAM, A. K.; ABRAHAM, A. P. J.; SUBRAMANIAN, N.; MAHENDRADAS, D. K. Bio-oil extraction and physicochemical characterization of *Caesalpinia pulcherrima* plant seed oil. **Energy Sources, Part A: Recovery, utilization, and environmental effects**, v. 38, n. 19, p. 2823–2829, 2016.

CONTO, L. C.; OLIVEIRA, R. S. P.; MARTIN, L. G. P.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Effects of the addition of microencapsulated omega-3 and rosemary extract on the technological and sensory quality of white pan bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 45, p. 103-109, 2012.

COSTA, P. I.; RIBEIRO, E. A.; BOÊNO, J. A. Avaliação da qualidade física, química e valor de mercado de pão francês comercializado em Morrinhos – GO. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 11, n. 3, p. 152-161, 2020.

CULETU, A.; DUTA, D. E.; PAPAGEORGIOU, M.; VARZAKAS, T. The role of hydrocolloids in gluten-free bread and pasta; rheology, characteristics, staling and glycemic index. **Foods**, v. 10, n. 3121, p. 1-19, 2021.

CUNHA, M. C.; LAGO, R. C.; MELO, R. S.; ALMEIDA, L. C.; PEREIRA, J.; ALVES, J. G. L. F.; CARVALHO, E. E. N.; VILAS BOAS, E. V. B. Using Response Surface Methodology to evaluate the effect of pequi flour, and pulp and by-product on sweet bread development. **Acta Scientiarum Technology**, v. 43, n. e51013, p. 1-11, 2021.

DAI, J.; MUMPER, R.J. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. **Molecules**, v. 15, p. 7313–7352, 2010.

DELA TORRE, G. L. T.; AROLLADO, E. C.; ATIENZA, A. A.; MANALO, R. A. M. Evaluation of Antioxidant Capacity and Identification of Bioactive Compounds of Crude Methanol Extracts of *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz. **Indian J Pharm Sci**, v. 79, n. 1, p. 113-123, 2017.

DIAS, T. A.; VICENZI, C. B.; WERLANG, S.; DURANTE, V. V. O.; SILVA, A. A. A.; BIDUSKI, B.; GUTKOSKI, L. C.; BERTOLIN, T. E. Aplicação tecnológica de fermentação natural adicionada de kombucha em pães como modelo experimental. **Brazilian Journal of Development**. 2020.

DRAKOS, A.; KYRIAKAKIS, G.; EVAGELIOU, V.; PROTONOTARIOU, S.; MANDALA, I.; RITZOULIS, C. Influence of jet milling and particle size on the composition, physicochemical and mechanical properties of barley and rye flours. **Food Chemistry**, v. 215, p. 326–332, 2017.

DU, S. K.; JIANG, H.; YU, X.; JANE, J. L. Physicochemical and functional properties of whole legume flour. **LWT - Food Science and Technology**, v. 55, p. 308-313, 2014.

DUNDAR, A. N.; AYDIN, E.; YILDIZ, E.; PARLAK, O. Effects of chia seed on chemical properties and quality characteristics of regular and low-fat crackers. **Food Science and Technology**, v. 41, n. 4, p. 919-927, 2021.

EBRAHIMI, M.; NOORI, S. M. A.; SADEGHI, A.; COBAN, O. E.; ZANGANEH, J.; GHODSMOFIDI, S. M.; MALVANDI, Z.; RAEISI, M. Application of cereal-bran sourdoughs to enhance technological functionality of white wheat bread supplemented with pumpkin (*Cucurbita pepo*) puree. **LWT - Food Science and Technology**, v. 158, n. 113079, 2022.

ERHARUYI1, O.; ADHIKARI, A.; FALODUN, A.; JABEEN, A.; IMAD, R.; AMMAD, M.; CHOUDHARY, M. I.; GÖREN, N. Cytotoxic, Anti-inflammatory, and Leishmanicidal Activities of Diterpenes Isolated from the Roots of *Caesalpinia pulcherrima*. **Planta Medica**, v. 83, p. 104–110, 2017.

ERTOP, M. H.; ŞEKER, I. T. Optimization of the amount of chickpea sourdough and dry yeast in wheat bread formulation: evaluation of physicochemical, sensory and antioxidant properties. **Food Science and Technology Research**, 24 (1), 45-53, 2018.

ESTELLER, M. S. **Modificações estruturais de produtos panificados por processos de tratamento térmico e bioquímico**. 2007. 170f. Tese (Doutorado em Tecnologia Bioquímica-farmacêutica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

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

EVDOKIMOVA, O. V.; IVANOVA, T. N.; POLYAKOVA, E. D.; PYANIKOVA, E. A.; KOVALEVA, A. E.; BYKOVSKAYA, E. I. Development of enriched grain bread. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 640, n. 022042, p. 1-8, 2021.

EZHILARASI, P. N.; INDRANI, D.; JENA, B. S.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. **Journal of Food Engineering**, v. 117, p. 513–520, 2013.

FAGUNDES, G. A.; ROCHA, M.; SALAS-MELLADO, M. M. Improvement of protein content and effect on technological properties of wheat bread with the addition by cobia (*Rachycentron canadum*). **Food Research**, v. 2, n. 3, p. 221 – 227, 2018.

FEITOSA, L. R. G. F.; MACIEL, J. F.; BARRETO, T. A.; MOREIRA, R. T. Avaliação de qualidade do pão tipo francês por métodos instrumentais e sensoriais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 693-704, 2013.

FELISBERTO, M.H.F.; WAHANIK, A.L.; GOMES-RUFFI, C.R.; CLERICI, M.T.P.S.; CHANG, Y.K.; STEEL, C.J. Use of chia (*Salvia hispanica L.*) mucilage gel to reduce fat in pound cakes. **LWT – Food Science and Technology**, v. 63, p. 1049–1055, 2015.

FERNANDES, S.S.; SALAS-MELLADO, M.D.L.M. Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. **Food Chemistry**, v. 227, p. 237–244, 2017.

FERREIRA, C. M.; LIMA, S. B.; ZAMBELLI, R. A.; AFONSO, M. R. A. Efeito da farinha mista de subprodutos vegetais em pães tipo forma. **Braz. J. of Develop.**, v. 6, n. 2, p. 8710-8724, 2020.

FRANCO, B.D.G.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004.

FU, Z.; YOO, M. J. Y.; ZHOU, W.; ZHANG, L.; CHEN, Y.; LU, J. Effect of (–)-epigallocatechin gallate (EGCG) extracted from green tea in reducing the formation of acrylamide during the bread baking process. **Food Chemistry**, v. 242, p. 162–168, 2018.

GARCIA, F. C. **Estudo do potencial da farinha de flamboyant-mirim (*Caesalpinia pulcherrima*) germinada e não germinada como ingrediente funcional em pães**. 2025. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025.

GEMEDE, H. F. Nutritional and antinutritional evaluation of complementary foods formulated from maize, pea, and anchote flours. **Food Science & Nutrition**, v. 8, n. 4, p. 2156–2164, 2020.

GERMANI, R. **Qualidade de farinha de trigo e panificação**. In: SEMANA ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS, 2003, Rio de Janeiro. UF Rural RJ, v. 74, p. 9., 2003.

GHENO, A. M.; GEADICKE, J. P.; MÜLLER, L.; STOFFEL, F.; BARBOSA, R. G. Avaliação de atributos tecnológicos de pão francês com adição de farinhas de vegetais. *Brazilian Journal of Food Technology*., v. 25, n. e2021113, p. 1-13, 2022.

GOMES, J. C.; OLIVEIRA, G. F. **Análises físico-químicas de alimentos**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2011.

GÓMEZ-GARCÍA, R.; CAMPOS, D. A.; OLIVEIRA, A.; AGUILAR, C. N.; MADUREIRA, A. R.; PINTADO, M. “A Chemical Valorisation of Melon Peels Towards Functional Food Ingredients: Bioactives Profile and Antioxidant Properties,” **Food Chemistry**, v. 335, n. 127579, 2021.

GONZALEZ, M.; REYES, I.; CARRERA-TALERA, Y.; VERNON-CARTER, E. J.; ALVAREZ-RAMIREZ, J. Charcoal bread: Physicochemical and textural properties, in vitro digestibility, and dough rheology. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 21, n. 100227, p. 1-8, 2020.

GONZALES-BARRÓN, U.; BLUTER, F. “A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumbs features by digital image analysis”, **Journal of Food Engineering**, v. 74, p. 268-278, 2006.

HAYTA, M.; ERTOP, M. H. Evaluation of microtextural properties of sourdough wheat bread obtained from optimized formulation using scanning electron microscopy and image analysis during shelf life. **Journal of Food Science and Technology**., v. 55, n. 1, p. 1–9, 2018.

HOLTEKJØLEN, A.K.; BAVRE, A.B.; RODBOTTEN, M.; BERG, H. AND KNUTSEN, S.H. Antioxidant Properties and Sensory Profiles of Breads Containing Barley Flour. **Food Chemistry**, v. 110, p. 414-421, 2008.

IBEABUCHI, J. C.; OKAFOR, D. C.; PETER-IKECHUKWU, A.; AGUNWA, I. M.; ELUCHIE, C. N.; OFOEDU, C. E.; NWATU, N. P. Comparative Study on the Proximate Composition, Functional and Sensory Properties of Three Varieties of Beans *Phaseolus lunatus*, *Phaseolus vulgaris* and *Vigna um-bellata*. **International Journal of Advancement in Engineering Technology**, Management and Applied Science (IJAETMAS), v. 5, n. 1, p. 1–23, 2017.

IBRAHIM, U. K.; RAHMAN, N. A. A.; SUZIHAQUE, M. U. H.; HASIB, S. A.; AZIZ, R. A. A. Effect of baking conditions on the physical properties of bread incorporated with green coffee beans (GCB). **Energy Security and Chemical Engineering Congress**. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, v. 736, n. 062019, p. 1-11, 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos Físico-Químicos para Análise de alimentos**. São Paulo. 4ª edição. 2008.

JOHANN, V. C. **O padrão de qualidade do pão francês na visão dos consumidores do Rio Grande do Sul**. 2018. 52f. Trabalho de conclusão do curso (Engenheiro de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

KASPRZAK, M.; RZEDZICKI, Z. Effect of pea seed coat admixture on physical properties and chemical composition of bread. **International Agrophysics**, v. 24, p. 149–156, 2010.

KAUR, M.; SANDHU, K. S.; ARORA, A.; SHARMA, A. Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: Physicochemical and sensory Properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, p. 628-632, 2015.

KAUR, M.; SANDHU, K. S.; SINGH, N. Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars. **Food Chemistry**, v. 104, p. 259-267, 2007.

KEDARE, S.B.; SINGH, R.P. Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, p. 412-22, 2011.

KHAN, F.; DASTAGIR, N.; LATEEF, M.; YOUSUF, M.; MIRANI, Z. A.; MESAİK, A.; FAIZI, S.; KAZMI, S. U. Immunomodulatory activities of extracts of *Caesalpinia pulcherrima*. **Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants.**, p. 1-13, 2018.

KUMAR, S.; ARORA, S.; KUMAR, V.; JOSHI, S.; NAIK, B.; BISHT, B.; TOMAR, M. S.; GURURANI, P. Physicochemical, nutritional, and sensory characteristics of *Chenopodium album*, ashwagandha, flaxseed, and Giloy fortified bun. **Journal of Food Processing and Preservation.**, v. 46, n. e17265, p. 1-10, 2022.

KUREK, M. A.; WYRWISZ, J. A.; BRZESKA, M.; MOCZKOWSKA, M.; KARP, S.; WIERZBICKA, A. Effect of different beta-glucan preparation pretreatments on fortified bread quality. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 4, p. 606-611, 2018.

KUSHWAHA, M. P. Nutrient digestibility of Broiler fed roasted pride of Barbados (*Caesalpinia pulcherrima*) seed meal. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, v. 1, n. 1, p. 43-45, 2013.

LAFARGA, T.; GALLAGHER, E.; ALUKO, R. E.; AUTY, M. A. E.; HAYES, M. Addition of an Enzymatic Hydrolysate of Bovine Globulins to Bread and Determination of Hypotensive Effects in Spontaneously Hypertensive Rats. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p. 1741–1750, 2016.

LI, Z.; LIU, Y.; WEI, R.; YONG, V.W.; XUE, M. The Important Role of Zinc in Neurological Diseases. **Biomolecules.**, v. 13, n. 28, 2023.

MARCEL, M. R.; CHACHA, J. S.; OFOEDU, C. E. Nutritional evaluation of complementary porridge formulated from orange-fleshed sweet potato, amaranth grain, pumpkin seed, and soybean flours. **Food Science & Nutrition**, v. 10, p. 536–553, 2022.

MARINHO, R. M. O.; AMARAL, S. M. B.; SILVA, F. S.; ALMEIDA, A. P. F.; SILVA, Y. Y. V.; OLIVEIRA, A. T. C.; SILVA, F. T. S.; AZEVEDO, R. C. T.; SILVA, G. D.; DANTAS, B. S.; MEDEIROS, M. M. L.; DAMASCENO, M. N. Elaboração e avaliação de pão integral enriquecido com farinha de banana verde. **Brazilian Journal of Development**, v.7 , n. 9, p. 89421-89434, 2021.

MARQUES, F. C. J.; PANTOJA, P. S.; MATOS, V. E. A. SILVA, R. O.; DAMASCENO, S. R. B.; FRANCO, A. X.; ALVES, R. C.; JUSTINO, P. F. C.; SOUZA, M. H. L. P.; FEITOSA, J. P. A.; CASTRO, R. R.; SOARES, P. M. G. Galactomannan from the seeds of *Caesalpinia pulcherrima* prevents indomethacin-induced gastrointestinal damage via neutrophil migration. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 141, p. 68–75, 2019.

MARTINS, N.; BARROS, L.; HENRIQUES, M.; SILVA, S.; FERREIRA, I. C. F. R. Activity of phenolic compounds from plant origin against *Candida* species. **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 648–670, 2015.

MARTINEZ ANAYA, M.A. Enzymes and bread flavor. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**., v. 44, p. 2470–2480, 1995.

MEDEIROS, S. R. A.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, A. M. C.; ARAUJO, M. L. H.; FEITOSA, J. P. A.; PAULA, R. C. M.; SOUSA, F. D.; MOREIRA, A. C. O. M.; BESERRA, F. J.; MOREIRA, R.A. *Caesalpinia pulcherrima* seed galactomannan on rheological properties of dairy desserts. **Ciência Rural**, v. 50, n. 6, 2020.

MENON, L.; MAJUMDAR, S. D.; RAVI, U. Development and analysis of composite flour bread. **Journal Food Science and Technology**., v. 52, n. 7, p. 4156–4165, 2015.

MERAL, R.; DOĞAN, I. S. Grape seed as a functional food ingredient in bread-making. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 64, n. 3, p. 372–379, 2013.

MIKOLÁŠOVÁ, L.; IVANIŠOVÁ, E.; TOKÁR, M.; ŠNIRC, M.; LIDIKOVÁ, J.; BALÁŽOVÁ, Z. The effect of the addition of various types of oils on the technological quality of wheat dough and bread. **Journal of microbiology, biotechnology and food sciences**., v. 12, n. 2, e5703, 2022.

NAJAFI, M. B. H.; POURFARZAD, A.; ZAHEDI, H.; AHMADIAN-KOUCHAKSARAIE, Z.; KHODAPARAST, M. H. H. Development of sourdough fermented date seed for improving the quality and shelf life of flat bread: study with univariate and multivariate analyses. **Journal of Food Science Technology**., v. 53, n. 1, p. 209–220, 2016.

NASCIMENTO, R. A. F.; SOUZA, D. M. C.; FERNANDES, L. K. S.; RODRIGUES, N.; OLIVEIRA, M. L. P.; Lima, J. P. Caracterização físico-química e tecnológica de pão de forma elaborado com farinha da torta de buriti (*Mauritia flexuosa* L.). 2023. p.624-637. In: V SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS. **Anais...** Disponível em: <repositorio.ufmg.br>. Acesso em: 29/05/2025.

NAUMENKO, O.; HETMAN, I.; CHYZH, V.; GUNKO, S.; BAL-PRYLYPKO, L.; BILKO, L.; TESENTYLO, L.; LYALIK, A.; IVANYTSKA, A.; LIASHENKO, S. Improving the quality of wheat bread by enriching teff flour. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, v. 3, n. 11:123, p. 33–41, 2023.

NAUMENKO, N.; POTOROKO, I.; KALININA, I.; FATKULLIN, R.; IVANISOVA, E. The influence of the use of whole grain flour from sprouted wheat grain on the rheological and microstructural properties of dough and bread. **International Journal of Food Science**, v. 1796, p. 1-9, 2021.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Lehninger Principles Of Biochemistry**, Third ed. Worth Publishers, Inc., New York, 2000.

NI, Q.; RANAWANA, V.; HAYES, H. E.; HAYWARD, N. J.; STEAD, D.; RAIKOS, V. Addition of broad bean hull to wheat flour for the development of high-fiber bread: effects on physical and nutritional properties. **Foods**, v. 9, n. 1192, p. 1-15, 2020.

NITZKE, J. A.; THYS, R. C. S. Avaliação da qualidade tecnológica/industrial da farinha de trigo. **Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (ICTA)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2000.

NOGUEIRA, A. M. **Desenvolvimento de pães de fermentação natural cultivado em meio adicionado de açaí em pó**. 2021. 114f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

NÖRNBERG, M. L.; BORTOLLOTTI, C. M.; MINELLA, E.; NÖRNBERG, J. L. Efeito da incorporação de farinha de cevada sobre a qualidade do pão de forma. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p.10313-10333, 2022.

ODERINDE, R. A.; ADEWUYI, A.; AJAYI, I. A. Determination of the mineral nutrients, characterization and analysis of the fat-soluble vitamins of *Caesalpinia pulcherrima* and *Albizia lebbek* seeds and seed oils. **Seed Science and Biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 74-78, 2008.

ODUNLADE, T. V.; FAMUWAGUN, A. A.; TAIWO, K. A.; GBADAMOSI, S. O.; OYEDELE, D. J.; ADEBOOYE, O. C. Chemical composition and quality characteristics of wheat bread supplemented with leafy vegetable powders. **Journal of Food Quality**, v. 9536716, p. 1-7, 2017.

OLIVEIRA, N. M. A. L.; MACIEL, J. F.; LIMA, A. S.; SALVINO, E. M.; MACIEL, C. E. P.; OLIVEIRA, D. P. M. N.; FARIAS, L. R. G. Características físico-químicas e sensoriais de pão de forma enriquecido com concentrado proteico de soro de leite e carbonato de cálcio. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 1, p. 16-22, 2011.

OMODE, A. A.; FATOKI, O. S.; OLAOGUN, K. A. Physicochemical properties of some underexploited and nonconventional oilseeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, p. 2850-2853, 1995.

PAGANI, T.; BULEGON, R.; LUTINSKI, A.; SEHN, G. A. R.; BAMPI, M.; DINON, A. Z. Características do pão de forma elaborado com diferentes concentrações de farinha de ervilha. **Revista Latino-americana de Ambiente e Saúde**, EIXO III – Ambiente, Sustentabilidades e Implicações na Saúde, v.5, n.3, p. 124-129, 2023.

- PASSOS, A. A. C.; TEIXEIRA-SÁ, D. M. A.; MORAIS, G. M. D.; CHACON, L. S. S.; BRAGA, R. C. Avaliação da incorporação de galactomanana de *Caesalpinia pulcherrima* em sorvetes e comparação com estabilizantes comerciais. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 2, p. 275-282, 2016.
- PASSOS, A. A. C.; LOVERA, M.; BASTOS, M. S. R.; MACIEL, J. S.; SOMBRA, V. G.; BRAGA, R. C.; MOREIRA, A. C. O. M.; MOREIRA, R. M. Low-viscosity dietary fiber production by enzymatic hydrolysis of galactomannan from *Caesalpinia pulcherrima* seeds: Optimization and physicochemical characterization. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. e15949, p. 1-12, 2021.
- PATHARE, P.B.; OPARA, U.L.; AL-SAID, F.A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, p. 36-60, 2013.
- PEREIRA, A. M.; KRUMREICH, F. D.; RAMOS, A. H.; KROLOW, A. C. R.; SANTOS, R. B.; GULARTE, M. A. Physicochemical characterization, carotenoid content and protein digestibility of pumpkin access flours for food application. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 2, p. 691-698, 2020.
- PIRES, P. S.; QUADROS, G. S. L.; GADELHA, P. G. G. Desenvolvimento e caracterização de pão sem glúten à base de farinha de vegetais. **Revista e-xacta**, Belo Horizonte, v. 11, n. 1, p. 85-95, 2018.
- PLESSAS, S.; ALEXOPOULOS, A.; MANTZOURANI, I.; KOUTINAS, A.; VOIDAROU, C.; STAVROPOULOU, E.; BEZIRTZOGLU, E. Application of novel starter cultures for sourdough bread production. **Anaerobe**, v. 17, n. 6, p. 486 – 489, 2011.
- PRIOR, R. L.; WU, X.; SCHAICH, K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity in phenolics in foods and dietary supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 4290–4302, 2005.
- PROENÇA DA CUNHA, A., SILVA, A.P., ROQUE, O.R. **Plantas e produtos vegetais em Fitoterapia**, 4th ed. Lisboa, 2012.
- PROETTO, I.; PESCE, F.; ARENA, E.; GRASSO, A.; PARAFATI, L.; FALLICO, B.; PALMERI, R. Use of vegetable flours obtained from artichoke by-products as a functional ingredient in gluten-free bread formulations. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 38, n. 101015, p. 1-8, 2024.
- PURLIS, E.; SALVADORI, V. O. Modelling the Browning of bread during baking. **Food Research International**, Amsterdam, v. 42, n. 9, p. 865-870, 2009.
- PURKIEWICZ, A.; GUL, F. H.; PIETRZAK-FIECKO, R. The Utilization of vegetable powders for bread enrichment - the effect on the content of selected minerals, total phenolic and flavonoid content, and the coverage of daily requirements in the human diet. **Appl. Sci.**, v. 14, n. 10022, p. 1-17, 2024.
- PYANIKOVA, E. A.; KOVALEVA, A. E. ZAIKINA, M. A. The influence of food additives on the production technology and quality indicators of bread. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 839, n. 022044, p. 1-8, 2021.

RIZZELLO, C. G.; VERNI, M.; BORDIGNON, S.; GRAMAGLIA, V.; GOBBETTI, M. Hydrolysate from a mixture of legume flours with antifungal activity as an ingredient for prolonging the shelf-life of wheat bread. **Food Microbiology**, v. 64, p. 72-82, 2017.

RIZZELLO, C. G.; NIONELLI, L.; CODA, R.; DI CAGNO, R.; GOBBETTI, M. Use of sourdough fermented wheat germ for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of the white bread. **European Food Research and Technology**, v. 230, n. 4, p. 645–654, 2010.

RODRIGUEZ FURLÁN, L.T.; PÉREZ PADILLA, A.; CAMPDERRÓS, M.E. Improvement of gluten-free bread properties by the incorporation of bovine plasma proteins and different saccharides into the matrix. **Food Chemistry**, v. 170, p. 257–264, 2015.

ROSELL, C. M.; GÓMEZ, M. Freezing in breadmaking performance: frozen dough and part-baked bread. **Food Reviews International**, v. 23, n. 2, p. 303-139, 2007.

ROUMY, V.; RUIZ, L.; MACEDO, J.C.R.; GUTIERREZ-CHOQUEVILCA, A. L.; SAMAILLIE, J.; ENCINAS, A. E.; MESIA, W. R.; COTRINA, H. E. R.; RIVIÈRE, C.; SAHPAZ, S.; BORDAGE, S.; GARÇON, G.; DUBUISSON, J. ANTHÉRIEU, S.; SERON, K.; HENNEBELLE, T. Viral hepatitis in the Peruvian Amazon: Ethnomedical context and phytomedical resource. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 255, n. 112735, p. 1-11, 2020.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chem.istry**, v. 121, p. 996 – 1002, 2010.

SAAD, S. M. I.; CRUZ, A. G.; FARIA, J. A. F. **Probióticos e prebióticos em alimentos: Fundamentos e aplicações tecnológicas**. São Paulo: Varela, 2011.

SACCOTELLI, M. A.; SPINELLI, S.; CONTE, A.; NOBILE, M. A. D.; Gluten-free bread enriched with vegetable flours. **Food and Nutrition Sciences**, v. 9, p. 356-368, 2018.

SAHU, P. K.; CERVERA-MATA, A.; CHAKRADHARI, S.; PATEL, K. S.; TOWETT, E. K.; QUESADA-GRANADOS, J. J.; MARTÍN-RAMOS, P.; RUFÍAN-HENARES, J. A. Seeds as Potential Sources of Phenolic Compounds and Minerals for the Indian Population. **Molecules**, v. 27, n. 3184, 2022.

SANTOS, P. L. F.; CASTILHO, R. M. M.; PINHEIRO, R. R. Seed position and influences on *Caesalpinia pulcherrima* germination and reserve proteins. **Ornamental Horticulture**, v. 25, n. 2, p. 119-125, 2019.

SANTOS, M. R.; ZIMMER, F. C.; SOUZA, A. H. P.; STEINMACHER, N. C.; DETONI, E. RODRIGUES, A. C. Adição de hidrocolóides em pães sem glúten seguido de enriquecimento com polpa de abacate (*persea americana mill*). **Braz. J. of Develop.**, v. 5, n. 7, p. 8018-8061, 2019.

SARICOBAN, C.; YILMAZ, M.T. Modelling the effects of processing factors on the changes in colour parameters of cooked meatballs using response surface methodology. **World Applied Sciences Journal**, v. 9, p. 14-22, 2010.

SELVI, R. S.; GOPALAKRISHNAN, S.; RAMAJAYAM, M.; SOMAN, R. Evaluation of mucilage of *Caesalpinia pulcherrima* as binder for tablets. **International Journal of ChemTech Research.**, v. 2, n. 1, p. 436-442, 2010.

SENARATHNA, S.; NAVARATNE, S.; WICKRAMASINGHE, I.; COOREY, R. Development and characterization of *Caesalpinia pulcherrima* seed gum-based films to determine their applicability in food packaging. **Journal of Consumer Protection and Food Safety**, v. 17, p. 65–72, 2022.

SHEWFELT, R.L.; THAI, C.M.; DAVIS, J.W. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 5, p. 1433-1437, 1988.

SHITTU, T.A.; RAJI, A.O.; SANNI, L.O. Bread from composite cassava-wheat flour: I. Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf. **Food Research International**, v. 20, n. 2, p. 280-290, 2007.

SHOBEIRI, M., ELHAMI, R. A. H.; SHEIKHOLESAMI, Z.; ZENOZIAN, M. S.; SAEEDI, A. M. R. The effects of quinoa and okra incorporation on the quality of diet cake. **Food Sci. Technol. Int.**, v. 29, n. 4, p. 417- 427, 2023.

SILVA, R. M.; ARAÚJO, K. T. A.; MELO, A. J.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Processamento e caracterização físico química da farinha do resíduo de sementes de Carolina. **Revista Brasileira de Agrotecnologia (Brasil)**, v. 7, n. 2, p. 22 – 26, 2017.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. de. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos** 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006.

SILVA, M. A.; NEVES, V. A.; LOURENÇO, E. J. Frações protéicas e globulina principal de grão-de-bico (*Cicerarietinum* L.), cv IAC-Marrocos. **Alimentos e Nutrição**, v.12, n.1, p.131–149, 2001.

SOUSA, L. M. C. **Incorporação e otimização de aditivos alimentares e auxiliares tecnológicos em produtos de panificação**. 2012. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Alimentar) – Universidade Católica Portuguesa, Porto, 2012.

SURYAWANSHI, S. R.; THAKARE, N. P.; MORE, D. P.; THOMBRE, N. A. Bioavailability enhancement of ondansetron after nasal administration of *Caesalpinia pulcherrima*-based microspheres. **Drug Deliv**, Early Online: p. 1–9, 2013.

SWAIN, T.; HILLS, W. E. The phenolic constituents of *Punhus domestica*. I- quantitative analysis of phenolics constituents. **Journal of the science of food and agriculture**, v. 19, p. 63-68, 1959.

THOMBRE, N. A.; GIDE, P. S. Determination of Sugar Composition of Polysaccharides in *Caesalpinia pulcherrima* Galactomannan Solution Using HPTLC. **Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences.**, v. 12 n. 1, p. 9-18, 2015.

THOMBRE, N. A.; GIDE, P. S. Rheological characterization of galactomannans extracted from seeds of *Caesalpinia pulcherrima*. **Carbohydrate Polymers**, v. 94, p. 547– 554, 2013.

VANNUCCI, L.; FOSSI, C.; QUATTRINI, S.; GUASTI, L.; PAMPALONI, B.; GRONCHI, G.; GIUSTI, F.; ROMAGNOLI, C.; CIANFEROTTI, L.; MACUCCI, G.; BRANDI, M. L. Calcium Intake in Bone Health: A Focus on Calcium-Rich Mineral Waters. **Nutrients**, v. 10, n. 1930, 2018,

VIEIRA, L. M.; SOUSA, M. S. B.; MANCINI-FILHO, J.; LIMA, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante *in vitro* de polpas de frutos tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 888-897, 2011.

VILHALVA, D. A. A.; SOARES JUNIOR, M. S.; MOURA, C. M. A.; CALIARI, M.; SOUZA, T. A. C.; SILVA, F. A. Aproveitamento da farinha de casca de mandioca na elaboração de pão de forma. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 4, p. 514-521, 2011.

VIVEK, M. N.; SACHIDANANDA, S. H. C.; MANASA, M.; PALLAVI, S.; KAMBAR, Y.; ASHA, M. M.; CHAITHRA, M.; PRASHITH, K. T. R.; MALLIKARJUN, N.; ONKARAPPA, R. Antimicrobial and Antioxidant activity of leaf and flower extract of *Caesalpinia pulcherrima*, *Delonix regia* and *Peltaphorum ferrugineum*. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 3, n. 08, p. 064-071, 2013.

WATANABE, E. **Influência das proteínas formadoras do glúten na qualidade tecnológica da farinha de trigo para panificação**. 2014. 82f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Londrina – PR, 2014.

WIRKIJOWSKA, A.; ZARZYCKI, P.; SOBOTA, A.; NAWROCKA, A.; Blicharz-KANIA, A.; ANDREJKO, D. The possibility of using by-products from the flaxseed industry for functional bread production. **LWT - Food Science and Technology**, v. 118, n. 108860, p. 1-7, 2020.

XU, B. J.; YUAN, S. H.; CHANG, S. K. Comparative analyses of composition, antioxidante capacity, and color of cool season legumes and Other selected food legumes. **Journal of Food Science**, v. 72, p. S167-S177, 2007.

YALCIN, S. K.; OZBAS, Y. Effects of ph and temperature on growth and glycerol production kinetics of two indigenous wine strains of *Saccharomyces cerevisiae* from Turkey. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 39, p. 325-332, 2008.

YOUSIF, E.; GADALLAH, M.; SOROUR, A. M. Physico-chemical and rheological properties of modified corn starches and its effect on noodle quality. **Annals of Agricultural Science**, v. 57, n. 1, p. 19-27, 2012.

YUSUF, A. A.; MOFIO, B. M.; AHMED, A. B. Nutrient contentes of Prides of Barbados (*Caesalpinia pulcherrima* Linn) seeds. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 6, n. 2, p. 117-121, 2007.

ZAMBELLI, R.A; PINTO, L. I. F.; SANTOS JUNIOR, E. C.; LIMA, A. C. V.; GOIANA, M. L.; MENDONÇA, L. G. Effect of black sesame (*Sesamum indicum*) and flaxseed flour

(*Linum usitatissimum*) on bread quality using surface response methodology. **Journal of Engineering & Processing Management.**, v. 10, n. 2, p. 32-40, 2018.

ZAMBELLI, R. A.; SOARES, A. W.; PINTO, L. I. F.; MELO, C. A. L.; MENDONÇA, L. G.; SILVA, A. C.; SANTOS, G. B. M.; SILVA, M. L.; FARIAS, M. M. Effect of açai powder and polydextrose on bread quality using surface response. **Journal of Food Science and Engineering**, v. 7, p. 373-382, 2017c.

ZAMBELLI, R.A.; GALVÃO, A. M. T.; PINTO, L. I. F.; SANTOS, G. B. M.; SILVA, A. C.; MELO, C. A. L.; FARIAS, M. M.; MENDONÇA, L. G. Effect of Vegetable Powders on the Bread Quality Made from Frozen Dough. **International Journal of Nutrition and Food Sciences**, v. 6, n. 6-1, p. 1-8, 2017b.

ZAMBELLI, R. A.; PONTES, B. C. V.; PONTES, E. R.; SILVA, M. L.; JUNIOR, E. C. S.; PINTO, L. I. F.; MELO, C. A. L.; FARIAS, M. M.; COSTA, C. S.; SILVA, A. C. Broccoli and carrot industrial solid waste characterization and application in the bread food matrix. **International Journal of Nutrition and Food Sciences**, v. 6, n. 6-1, p. 9-15, 2017a.

ZAMBELLI, R. A.; VIANA, J. D.; LIMA, C. A. R.; PINHEIRO, G. K.; BRASIL, D. L.; PONTES, D. F. Avaliação do efeito da temperatura e injeção de vapor durante o processo de fermentação das massas para a produção de pães tipo forma. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 1-8, 2015.

ZAMBELLI, R.A. **Desenvolvimento de massas congeladas de pães tipo forma contendo ingredientes funcionais**. 2015. 280f. Tese (Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

ZAMBIAZI, R.C. **Análise Físico Química de Alimentos**. Pelotas: Editora Universitária/UFPEL, 202p. 2010.

ZARDO, F. **Propriedades físico-químicas, tecnológicas e sensoriais de pães de longa fermentação produzidos com fermento comercial**. 2022. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Encantado, 2022.

ZHANG, Y., C. RUAN, Z. CHENG, Y. ZHOU AND J. LIANG. Mixolab behavior, quality attributes and antioxidant capacity of breads incorporated with *Agaricus bisporus*. **J. Food Science and Technology**, v. 56, n. 8, p. 3921- 3929, 2019.