

Otimização experimental para o desenvolvimento de muffin com alto valor tecnológico e nutricional utilizando farinhas integrais de arroz, sorgo vermelho e feijão carioca

Experimental optimization tool for the development of muffins with high technological and nutritional value using whole flours of rice, red sorghum and carioca bean

Optimización experimental para la elaboración de muffins de alto valor tecnológico y nutricional utilizando harinas integrales de arroz, sorgo rojo y frijol

Recebido: 24/07/2022 | Revisado: 02/08/2022 | Aceito: 04/08/2022 | Publicado: 14/08/2022

Cristiane Teles Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9878-1922>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: cristiane.lima@ufvjm.edu.br

Nicole Guimarães Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6322-5950>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: nicole.guimaraes@ufvjm.edu.br

Sander Moreira Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3506-0006>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: sandermoreira3@gmail.com

Nathália de Andrade Neves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6936-2171>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: nathalia.neves@ict.ufvjm.edu.br

Silvia Leticia Rivero Meza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8299-4701>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: silvialrmeza@gmail.com

Marcio Schmiele

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8830-1710>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: marcio.sc@ict.ufvjm.edu.br

Resumo

As enteropatias associadas ao glúten vem sendo pauta na atualidade. Com isso, a indústria alimentícia demonstra interesse em adaptar alimentos convencionalmente elaborados com farinha de trigo por farinhas isentas de glúten para atender a este nicho de mercado. Deste modo, este trabalho avaliou as características físico-químicas e centesimais da massa e do bolo tipo muffin com uso de farinhas integrais de arroz, sorgo vermelho e feijão carioca. O desempenho destas matérias-primas foi explorado através de um Planejamento de Misturas Simplex-Centroide de três variáveis independentes: farinha integral de arroz (x_1), farinha integral sorgo vermelho (x_2) e farinha integral de feijão carioca (x_3). As variáveis dependentes avaliadas foram as propriedades físico-químicas e tecnológicas da massa e dos bolos. Os resultados foram avaliados utilizando como estratégia experimental a Metodologia de Superfície de Resposta ($R^2 > 0,80$ e p-valor $< 0,10$). Observando os parâmetros que foram significativos e avaliando a desejabilidade dos parâmetros no bolo, o ponto otimizado foi obtido em uma formulação composta por 91 % farinha integral de sorgo vermelho e 9 % farinha integral de feijão carioca, sendo 75 % dos modelos matemáticos validados diretamente, com um grau de desejabilidade de 0,8784. O muffin otimizado apresentou alto teor de fibras alimentares, proteína e cinzas, sugerindo um produto com adequadas características nutricionais e potencialmente aplicável ao mercado consumidor.

Palavras-chave: Bolo; Desejabilidade; Enteropatias; Fibras alimentares; Leguminosas; Planejamento de misturas simplex-centroide; Proteínas.

Abstract

Gluten-associated enteropathies have been on the agenda today. With this, the food industry shows interest in adapting conventional foods made with wheat flour to gluten-free flour to meet this market niche. Thus, this work evaluated the physicochemical and proximate characteristics of the dough and muffin-type cake using wholemeal rice, red sorghum

and carioca bean flours. The performance of the flours was investigated through a Simplex-Centroid Mixture Design of three independent variables: whole rice flour (x_1), whole red sorghum flour (x_2) and whole carioca bean flour (x_3). The dependent variables evaluated were the physicochemical and technological properties of the batters and cakes. The results were assessed using the Response Surface Methodology as an experimental strategy ($R^2 > 0.80$ and $p\text{-value} < 0.10$). Observing the parameters that were significant and evaluating the desirability of the parameters in the cake, an optimal point was set by a formulation composed of 91 % whole red sorghum flour and 9 % whole carioca bean flour, with 75 % of the mathematical models validated directly, and a desirability degree of 0.8784. The optimized muffin had a high content of dietary fibers, proteins and ashes, suggesting a product with good nutritional characteristics and potentially applicable to the consumer market.

Keywords: Cake; Desirability; Enteropathies; Dietary fibers; Legumes; Simplex-centroid mixture planning; Proteins.

Resumen

Las enteropatías asociadas al gluten han estado hoy en la agenda. Con ello, la industria alimentaria muestra interés en adaptar alimentos elaborados convencionalmente con harina de trigo a harinas sin gluten para atender este nicho de mercado. Así, este trabajo evaluó las características fisicoquímicas y centesimal de la masa y torta tipo muffin utilizando harinas integrales de arroz, sorgo rojo y frijol carioca. El comportamiento de estas materias primas se exploró mediante un Diseño de Mezcla Simplex-Centroid de tres variables independientes: harina integral de arroz (x_1), harina integral de sorgo rojo (x_2) y harina integral de frijol carioca (x_3). Las variables dependientes evaluadas fueron las propiedades fisicoquímicas y tecnológicas de la masa y muffins. Los resultados se evaluaron utilizando la Metodología de Superficie de Respuesta como estrategia experimental ($R^2 > 0.80$ y $p\text{-valor} < 0.10$). Observando los parámetros que resultaron significativos y evaluando la conveniencia de los parámetros en la torta, se obtuvo un punto optimizado en una formulación compuesta por 91 % harina integral de sorgo rojo y 9 % harina integral de frijol carioca, con el 75 % de los modelos matemáticos validados directamente y un grado de deseabilidad de 0,8784. El muffin optimizado presentó un alto contenido de fibra dietética, proteína y ceniza, sugiriendo un producto con características nutricionales adecuadas y potencialmente aplicable al mercado consumidor.

Palabras clave: Torta; Deseabilidad; Enteropatías; Fibras dietéticas; Legumbres; Planificación de mezcla simplex-centroide; Proteínas.

1. Introdução

Entre os produtos de panificação, o bolo ocupa a segunda posição de consumo, antecedido pelo famoso pão francês. A categoria dos bolos alcançou o maior faturamento histórico em 2021, atingindo a cifra de R\$ 1,36 bilhões e com perspectiva de crescimento para os próximos anos. O consumo per capita de bolo industrializado no Brasil foi de 0,206 kg/ano em 2020, ocupando a 11ª posição no ranking mundial de vendas (ABIMAPI, 2022).

O aumento da comercialização de bolos é favorecido por ser um produto que possui versatilidade, com oferta de diferentes tipos, formatos, recheios e sabores. Dentre as variedades de bolo, o tipo muffin é comercializado geralmente em porções individuais e vem aumentando significativamente a popularidade, tendo sido denominados de “os queridinhos da quarentena” durante a pandemia causada pela Sars-Cov-2. O muffin ocupou o terceiro lugar entre os produtos de panificação consumidos na pandemia, um alimento de conveniência caracterizado de tamanho pequeno, mas que se revelou talentoso na pandemia, com crescimento de consumo de 72 %, atraindo uma ampla gama de consumidores (ABIMAPI, 2021).

A definição para bolo é feita com base na literatura. De acordo a (ABIMAPI, 2022), denomina-se o bolo de produto assado, preparado à base de farinha, açúcar e fermento, podendo conter outros ingredientes como ovos, um lipídeo e leite. Estes ingredientes são para uma formulação convencional. Entretanto, não há regulação específica para os bolos. Desta forma, este produto enquadra-se na Resolução Diretoria Colegiada, RDC nº 719, de 01 de julho de 2022, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde, nos traz a definição para os alimentos semiprontos ou prontos para o consumo, onde os bolos são enquadrados como “alimentos preparados, cujos requisitos sanitários não se encontram definidos em outras normas, e que não precisam da adição de outros ingredientes para o seu consumo, podendo ser pré-cozidos ou cozidos, ou requerer aquecimento ou cozimento complementar”.

Dentre os ingredientes presentes para a elaboração dos produtos convencionais de panificação, a farinha de trigo é a mais utilizada, proporcionando as características desejáveis em um produto de qualidade, atribuído principalmente as proteínas presentes no trigo que dão origem a uma rede viscoelástica conhecida comumente de glúten (Tedrus et al., 2001). Recentemente,

tem-se contemplado na literatura vários estudos com uma atenção maior para as enteropatias relacionadas ao glúten, uma vez que o glúten não é completamente digerido no trato gastrointestinal dos humanos e assim, ocorre um aumento na concentração de polipeptídeos resistentes à hidrólise enzimática no lúmen intestinal resultando em respostas inflamatórias consideradas de enteropatias relacionadas ao glúten.

A doença celíaca é caracterizada pela enteropatia que causa inflamações nas microvilosidades da parede do intestino delgado. De acordo com a Associação dos Celíacos do Brasil (ACELBRA), a doença celíaca é uma desordem sistêmica autoimune, desencadeada pela intolerância permanente ao glúten em pessoas geneticamente predispostas (ACELBRA, 2022). A sensibilidade ao glúten não celíaco (SGNC) pode ser definida como uma combinação de sintomas intestinais e extraintestinais, as quais são causadas pela ingestão de alimentos que contém glúten e as respostas imunológicas podem ocorrer entre horas a dias após a ingestão (Hill et al., 2016). Além disso, há a alergia ao trigo, definida como uma resposta imunológica imediata após ingestão de glúten ou pelo contato com a farinha do trigo que, por sua vez, apresenta acometimento gastrointestinal e repercussão respiratória e/ou cutânea (Ferreira & Inácio, 2018; Teotônio et al., 2021; Teotônio et al., 2021; Silva et al., 2021; Lima, et al., 2022).

Contudo, os indivíduos que vivem com restrições relacionadas ao glúten por razões de saúde, encontram dificuldades decorrente da escassez de produtos sem glúten, pois o único tratamento consiste em uma dieta isenta do glúten. Além disso, ainda é necessário considerar os consumidores que aderem à uma dieta livre de glúten como estilo de vida, razões filosóficas e culturais, ou por muitas vezes acompanharem a restrição de algum indivíduo de relacionamento próximo. Desta forma, a procura por alimentos com qualidade sensorial satisfatória e com valor nutricional adequado é notória. Portanto, faz-se necessário o desenvolvimento de produtos que atendam esses indivíduos e nichos de mercado.

Visando a segurança alimentar dos indivíduos com restrições ao glúten, a busca por farinhas alternativas é recorrente, destacando-se as farinhas integrais de arroz (*Oryza sativa* L.), sorgo vermelho (*Sorghum bicolor* L. Moench) e feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) (Figura 1). Dentre as diversas farinhas isentas de glúten, a farinha de arroz é a mais comumente usada por apresentar inúmeros benefícios como o sabor suave, a cor branca, as propriedades hipoalergênicas e os baixos teores de sódio (Nadal et al., 2021). Além disso, estão emergindo farinhas pouco exploradas como a farinha de sorgo, uma cultura de fácil adaptação e que, além de apta ao consumo humano, é considerada um substituto parcial ou total para a farinha de trigo para aplicação na panificação por ser isenta de glúten (Correia et al., 2020). Seguindo a mesma linha de inovação nas farinhas alternativas tem-se a farinha de feijão, a qual se destaca pelo apelo nutricional que a mesma pode oferecer quando aplicado no desenvolvimento de novos produtos alimentícios (Faggian et al., 2020). De acordo com Los et al., (2018), o feijão comum é conhecido por apresentar um alto teor de proteína e fibra alimentar, aproximadamente o dobro dos encontrados nos cereais, outros componentes encontrados no feijão são: amido resistente e fitoquímicos bioativos que torna o feijão adequado para aplicação em uma ampla gama de produtos alimentícios saudáveis. Também é importante destacar a presença de rafinose, a estaquiose e a verbascose que são os principais compostos dos oligossacarídeos da família das rafinoses, na qual apresentam atividades prebióticas, que estimulam a atividade de bifidobactérias e lactobacilos no cólon, deste modo, indicando benefício ao consumi-lo. (Chen et al., 2016). Além disso, os cereais e leguminosas atuando juntas se complementam, pois as leguminosas apresentam deficiência em aminoácidos sulfurados e os cereais apresentam deficiência em lisina, e uma encontra no outro a manutenção da sua deficiência (Iqbal, et al., 2003).

Sabendo que todas as farinhas utilizadas no estudo são integrais, o muffin (produto final), pode ser intitulado como tal, pois de acordo com a Resolução Diretoria Colegiada, RDC nº 712, de 01 de julho de 2022, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde, os alimentos contendo cereais que sejam classificados como integral podem apresentar na sua denominação de venda a expressão "integral", quando contém no mínimo 30% de ingredientes integrais ou quando a quantidade dos ingredientes integrais for superior à quantidade dos ingredientes refinados. Produtos integrais consequentemente apresentam

alto teor de fibras pois as matérias primas integrais não sofrem modificações em sua estrutura no processo de industrialização, conservando minerais, vitaminas e os fitoquímicos presentes no pericarpo (De Lima et al., 2020). O consumo de alimentos com baixo índice glicêmico e ricos em fibras alimentares, induzem menor aumento nos níveis séricos de glicose e insulina, pois as fibras alimentares regulam a velocidade de absorção de glicose (Carvalho et al., 2012).

Figura 1. Grãos e farinhas integrais respectivamente de arroz, sorgo vermelho e feijão carioca.



(1) Grãos de arroz (*Oryza sativa* L.); (2) Farinha integral de arroz; (3) Grãos de sorgo vermelho (*Sorghum bicolor* L. Moench); (4) Farinha integral de sorgo vermelho; (5) Grãos de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) e (6) Farinha integral de feijão carioca. Fonte: Autores (2022).

No entanto, farinhas isentas de glúten possuem algumas limitações tecnológicas e sensoriais ao produto final, apresentando como dificuldade a combinação ideal entre as proteínas e os hidrocolóides que favoreçam uma alta hidratação para estruturação da massa, garantindo uma boa retenção de CO₂ como consequência da viscosidade formada (Lima et al., 2022). No grupo dos hidrocolóides destacam-se o HPMC (hidroxipropilmetilcelulose) e o CMC (carboximetilcelulose), sendo o HPMC um dos melhores substitutos em fórmulas feitas com farinha de arroz devido à alta capacidade de retenção de água e formação de gel, o que dá origem a um aumento na viscosidade da massa e uma melhoria na estrutura (Quirce, 2014). De acordo com a Food Ingredients Brasil (2017), o CMC atua como auxiliar de dispersão e colóide protetor, favorecendo a viscosidade do meio e diminuindo a coalescência das bolhas de ar incorporadas na massa dos bolos. Além disso, para garantir a estruturação e assamento correto dos muffins, adota-se o uso de amidos com diferentes temperaturas de gelatinização, destacando-se o amido de milho (70 °C) (Souza & Andrade, 2000) e o amido de mandioca (67,4 °C) (Srichuwong, et al., 2005).

Deste modo, o objetivo deste estudo foi de investigar o comportamento das farinhas integrais de arroz, sorgo vermelho e feijão carioca na elaboração de muffins livres de glúten através de análise estatística multivariada. As respostas avaliadas foram as propriedades físico-químicas e tecnológicas da massa e do muffin e a composição centesimal do ponto otimizado.

2. Metodologia

A pesquisa foi realizada em etapas a partir de um estudo literário, laboratorial e experimental, sendo que este último apresenta resultados de análises quantitativas. Com base em Pereira, et al.. (2018) a visão geral para a metodologia adotada é apresentada na Figura 2.

Figura 2. Esquema representativo da metodologia.



(1) Planejamento de Mistura Simplex-Centroide; (2) Preparação das massas (fase creme 3 minutos e fase massa 3 minutos) e dos muffins; (3) Análises físico-químicas das massas; (4) Forneamento (180 ± 2 °C por 25 minutos); (5) Análises físico-químicas dos muffins; (6) Análise estatística, otimização numérica e validação de modelos matemáticos; (7) Análise centesimal e valor calórico (formulação otimizada). Fonte: Autores (2022).

2.1 Materiais

Os ingredientes utilizados foram três farinhas integrais (arroz, sorgo vermelho e de feijão carioca), sacarose, ovo integral in natura, leite UHT integral, gordura vegetal hidrogenada, impulsionador de massa (amido de milho como veículo, bicarbonato de sódio, fosfato monocalcico e carbonato de cálcio), emulsificante comercial (monoglicéridos destilados, estearato de potássio, monoestearato de sorbitano e monoestearato de polioxietileno sorbitano) e os hidrocoloides hidroxipropilmetilcelulose e carboximetilcelulose. Todos os ingredientes foram adquiridos em comércio local ou comprados em sítio eletrônico.

2.2 Delineamento experimental

O estudo foi realizado por meio da Metodologia de Superfície de Resposta usando um Planejamento de Mistura Simplex-Centroide (Tabela 1) (Rodrigues & Iemma, 2014). A quantidade das farinhas integrais de arroz, sorgo vermelho e feijão-carioca foram utilizadas como variáveis independentes.

Tabela 1. Níveis codificados e reais de farinha de arroz, farinha de sorgo vermelho e feijão-carioca para a matriz do planejamento de mistura simplex-centroide para a formulação dos muffins.

Ensaio	Níveis codificados			Níveis reais (%)		
	x1	x2	x3	X1	X2	X3
1	1,000	0,000	0,000	100,0	0,000	0,000
2	0,000	1,000	0,000	0,000	100,0	0,000
3	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	100,0
4	0,500	0,500	0,000	50,00	50,00	0,000
5	0,500	0,000	0,500	50,00	0,000	50,00
6	0,000	0,500	0,500	0,000	50,00	50,00
7	0,667	0,167	0,167	66,70	16,70	16,70
8	0,167	0,667	0,167	16,70	66,70	16,70
9	0,167	0,167	0,667	16,70	16,70	66,70
10	0,333	0,333	0,333	33,30	33,00	33,30
11	0,333	0,333	0,333	33,30	33,30	33,30
12	0,333	0,333	0,333	33,30	33,30	33,30

Onde: x₁ e X₁ – farinha integral de arroz; x₂ e X₂ – farinha integral de sorgo vermelho; x₃ e X₃ – farinha integral de feijão-carioca. Fonte: Autores (2022).

2.3 Preparação da massa e dos muffins

A massa dos muffins foi preparada em 2 etapas utilizando a batedeira doméstica BCSA (Arno, São Paulo, BRA) com potência de 200 W, misturando os ingredientes de acordo com as formulações do delineamento experimental (Tabela 1). A primeira etapa, definida como a fase creme, consistiu na mistura da gordura vegetal hidrogenada, da sacarose e do emulsificante na velocidade máxima por três minutos e o uso do batedor tipo arame. Em seguida, acrescentou-se os ovos in natura, previamente homogeneizados com auxílio de um garfo, os quais foram incorporados na mesma velocidade e tempo da fase creme. Na segunda etapa, conhecida como fase de massa, realizou-se a mistura dos ingredientes secos, ou seja, as três farinhas integrais, os hidrocolóides (HPMC e CMC), exceto o impulsionador de massa. Vale ressaltar que, por se tratar de farinhas não convencionais a incorporação do líquido o leite integral UHT procedeu gradativamente para melhor homogeneização da massa. Para essa etapa foram adotados velocidade 1 até que os ingredientes fossem homogeneizados (observados visualmente), utilizando-se o batedor tipo raquete. Nesta etapa foram separadas alíquotas de 50 g para proceder a determinação de pH e textura instrumental da massa.

Por fim, o impulsionador de massa foi adicionado à mistura com velocidade 1 por 20 segundos. A massa foi particionada em porções de 60 ± 1 g em papel régência e colocadas em forminhas de alumínio. Em seguida, as massas foram assadas em forno ConventionLine Forno (Venâncio, Venâncio Aires, BRA) a 180 ± 2 °C por 25 minutos, resfriados em temperatura ambiente por 2 horas e armazenados em embalagens de polietileno de alta densidade à temperatura ambiente até o dia seguinte para análise para quantificação de variáveis dependentes. Os muffins foram fatiados mecanicamente em fatiador FPV12 (Venâncio, Venâncio Aires, BRA) obtendo fatias com aproximadamente 12 mm de espessura.

2.4 Aspectos tecnológicos e físico-químicos das massas

2.4.1 Gravidade específica

A análise de gravidade específica da massa foi realizada em triplicata com base na *American Association of Cereal Chemists International* (AACCI) pelo método 55-50.01 (AACCI, 2010) e os resultados obtidos foram expressos em ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

2.4.2 pH

Para a determinação do pH foi usado o método 981.12 da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2019) através de um potenciômetro de bancada mPA210 (Tecnopon, Piracicaba, BRA). A análise foi realizada em triplicada.

2.4.3 Análise do perfil de textura da massa

A determinação da textura instrumental do miolo dos muffins foi realizada através do método 74-09.01 (AACCI, 2010), utilizando o texturômetro TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Godalming, GBR). As configurações do equipamento foram: *probe* P/0.5S, diâmetro da *probe* 10 mm, plataforma HDP/90 no modo compressão, velocidade pré-teste, teste e pós-teste respectivamente $1,0\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, $1,0\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ e $5,0\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, tempo entre os ciclos 1s, distância de penetração de 40 % e limiar de força de 0,049 N. A análise foi realizada com a massa crua disposta em um recipiente de 50 mL e efetuado três repetições para cada ensaio. As variáveis dependentes obtidas nesta análise foram: dureza (N), adesividade (N), área da força da massa (N.s) e área da adesividade da massa (N.s).

2.5 Aspectos tecnológicos e físico-químicos dos muffins

2.5.1 pH e acidez total titulável

As determinações foram realizadas em triplicatas cada uma das análises, sendo que o pH (método 981.12) e a acidez total titulável (método 942.15) foram determinados de acordo com o AOAC metodologia (AOAC, 2019). A acidez total titulável foi expressa em meq de $\text{KOH}\cdot\text{g}^{-1}$ por g de amostra.

2.5.2 Volume específico

O volume específico foi avaliado pela técnica do deslocamento de sementes de painço, conforme estabelecido pelo método 10-05.01 (AACCI, 2010). A análise foi realizada em triplicata e os resultados foram expressos em ($\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$).

2.5.3 Cor instrumental

A determinação da cor instrumental das farinhas integrais (de arroz, sorgo vermelho e feijão carioca) e do miolo dos muffins foi realizada em espectrofotômetro CM-5 Konica (Minolta, Chiyoda, JAP), sendo realizado quatro repetições para cada ensaio e obtido os resultados pelo sistema $\text{CIE-L}^*\text{a}^*\text{b}^*$. As condições de teste foram: iluminante D65, ângulo de observação de 10° , modo de calibração em RSIN (*Reflectance Specular Included*).

2.5.4 Análise de perfil de textura do muffin

A análise do perfil de textura do muffin foi realizada no mesmo equipamento e parâmetros que foram descritas no item 2.4.3, com exceção que a *probe* usada foi a P36 com 28mm de altura nesta análise. A análise foi realizada com duas fatias do muffin sobrepostas (12 mm de espessura para cada fatia), sendo que as fatiadas foram obtidas em fatiadora FVP12 (Venâncio, Venâncio Aires, BRA). As determinações foram realizadas com dez repetições para cada ensaio e as variáveis dependentes de interesse foram: firmeza (N), dureza (N), elasticidade, coesividade, gomosidade (N), mastigabilidade (N) e resiliência.

2.5.5 Análise centesimal e valor calórico total do ponto otimizado

A análise centesimal foi realizada somente no muffin otimizado, sendo quantificado os teores de proteínas (método 46-13.01; N = 6,25), umidade (método 44-15.02), cinzas (método 08-01.01) e lipídeos (método 30-25.01) (AACCI, 2010). Os teores de carboidratos digeríveis (açúcares e amido) e fibras alimentares totais foram quantificados pelos métodos 982.14 e 978.10 (AOAC, 2019). Todas as análises foram realizadas em triplicatas e os resultados expressos em porcentagem.

2.6 Análise estatística

Os dados obtidos pelo Planejamento de Misturas Simplex-Centroides foram avaliados através de Metodologia de Superfície de Resposta. Para os cálculos dos coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) foi utilizado um nível de significância de 10 % e coeficiente mínimo de regressão (R^2) de 0,80, conforme modelo geral expresso pela Equação 2 (Rodrigues & Iemma, 2014).

$$Y = \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3 + \beta_{123}x_1x_2x_3 + \varepsilon$$

onde: Y = a variável resposta em estudo; β_i e β_{ij} = os coeficientes de regressão dos pseudocomponentes e dos componentes binários e ternários, respectivamente; x_i e x_j = os valores codificados das variáveis independentes; e ε é o erro experimental. O ponto otimizado foi determinado através de metodologia proposta por Derringer e Suich (1980).

3. Resultados e discussão

3.1 Aspectos tecnológicos da massa

3.1.1 Gravidade específica

Os dados obtidos para a gravidade específica apresentaram valores entre $0,97 \pm 0,02$ e $0,76 \pm 0,01 \text{ g.cm}^{-3}$ para os diferentes ensaios (Tabela 2). De acordo com a ANOVA, 91,21 % dos dados experimentais foram explicados pelo modelo matemático, o qual foi considerado preditivo, pois a razão $F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}(3;8;0,10)$ foi de 9,47 ($p < 0,001$). Os componentes binários entre as farinhas integrais de arroz e de sorgo vermelho proporcionaram melhor efeito na incorporação de ar na massa, com coeficiente de determinação de ($R^2 = 0,9121$), em maior proporção pela interação ($\beta_{12} = 0,16$; $p = 0,091$), seguido pelo pseudocomponente da farinha integral de sorgo vermelho ($\beta_2 = 0,77$; $p < 0,001$). Tal influência pode ser explicada pela composição química da farinha integral de arroz e da farinha integral de sorgo vermelho, em função das propriedades hidrodinâmicas e de superfície das proteínas. O grão de sorgo apresenta em torno de 11 % de proteínas, podendo variar de 7 a 15 %. Alguns dos aminoácidos abundantes encontrados no sorgo são a arginina e ácido glutâmico (aminoácidos polares) e leucina (aminoácido apolar). No entanto, existe uma deficiência dos aminoácidos essenciais lisina, treonina e triptofano no sorgo (Eburuche et al., 2019). A presença de aminoácidos polares favorece o aprisionamento de ar na massa, sendo que quanto mais ar é incorporado à massa, menor será a gravidade específica.

Em relação a farinha integral de feijão carioca, observou-se que a massa ficou menos aerada ($\beta_3 = 0,93$; $p < 0,001$). Com base na literatura científica, sabe-se que o feijão é rico em lisina e triptofano, aminoácidos encontrados nas proteínas globulares das leguminosas. As proteínas globulares são excelentes fontes proteicas com propriedades tecnológicas de emulsificação da massa e a aeração (Chen et al., 2020). O uso das farinhas de forma integral beneficiou a gravidade específica da massa, pois as fibras alimentares provavelmente resultaram em um impedimento físico de aproximação entre as partículas presentes na massa. Desta forma, ocorreu a formação de maiores espaços livres para a retenção do ar incorporado. Além disso, as fibras alimentares são menos densas quando comparadas aos outros carboidratos e às proteínas, o que favoreceu a menor gravidade específica da massa (Barbhai et al., 2021). Por outro lado, os valores elevados de gravidade específica são desfavoráveis ao volume específico

do produto acabado, resultando em aspectos sensoriais indesejáveis, como o miolo fechado, irregular e massudo. A partir das curvas de contorno (Figura 3), observou-se que maiores concentrações da farinha integral de arroz e da farinha integral de sorgo vermelho, dentro da faixa estudada, resultaram na maior incorporação de ar na massa. O uso de farinhas integrais favoreceu a incorporação de ar na massa dos muffins em decorrência da menor densidade das fibras quando comparadas às proteínas e aos carboidratos. Além disso, a presença das fibras alimentares aumentou a viscosidade da massa em função da formação de ligações de hidrogênio dos carboidratos não digeríveis com a água, resultando em maior aprisionamento do ar e melhor retenção das bolhas de gás incorporados (Souza et al., 2018; Souza & Schmiele, 2021).

Tabela 2. Gravidade específica ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) e pH das massas elaboradas com farinhas integrais de arroz, sorgo vermelho e feijão carioca para a produção dos muffins utilizando o Planejamento de Misturas Simplex-Centroide.

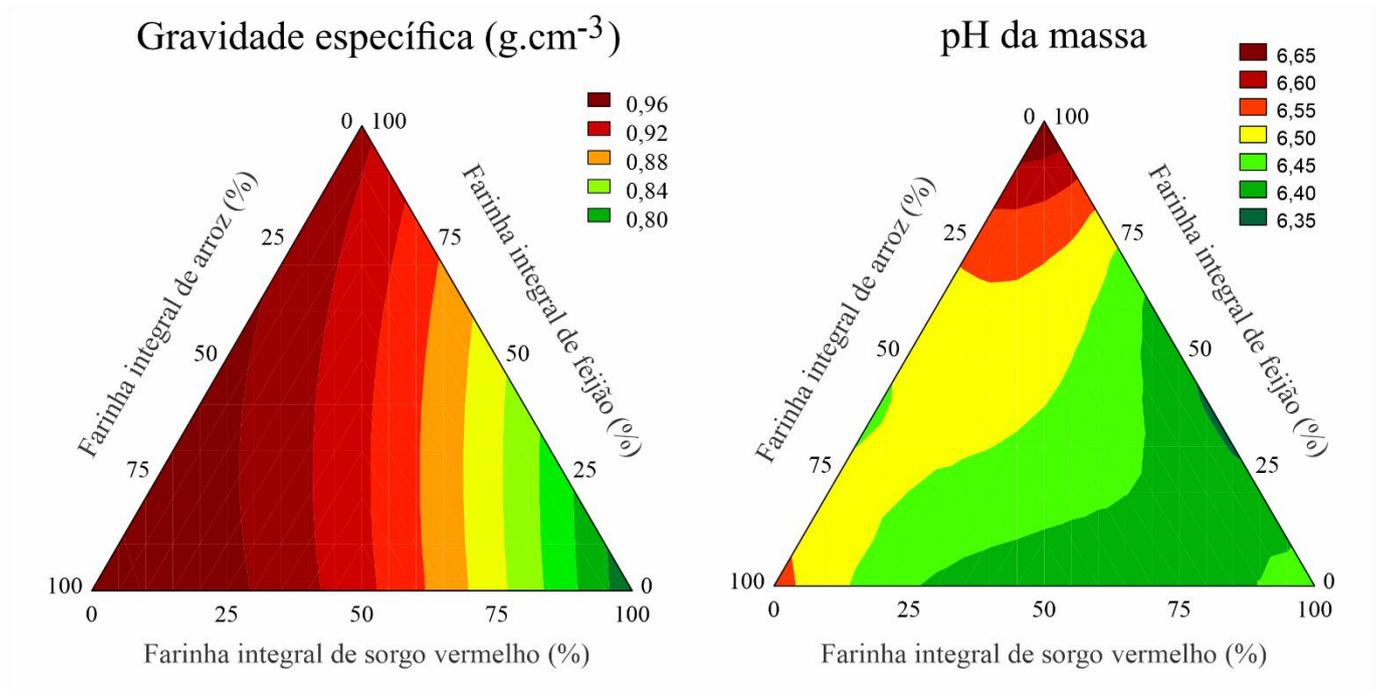
Ensaio	Gravidade específica ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	pH
1	$0,97 \pm 0,02$	$6,52 \pm 0,07$
2	$0,76 \pm 0,01$	$6,46 \pm 0,04$
3	$0,92 \pm 0,02$	$6,66 \pm 0,03$
4	$0,91 \pm 0,01$	$6,37 \pm 0,07$
5	$0,94 \pm 0,01$	$6,45 \pm 0,02$
6	$0,87 \pm 0,02$	$6,38 \pm 0,05$
7	$0,93 \pm <0,01$	$6,45 \pm 0,01$
8	$0,82 \pm 0,02$	$6,31 \pm 0,03$
9	$0,91 \pm 0,03$	$6,49 \pm 0,08$
10	$0,93 \pm 0,02$	$6,51 \pm 0,03$
11	$0,92 \pm <0,01$	$6,38 \pm 0,01$
12	$0,89 \pm 0,03$	$6,47 \pm 0,06$

Valores correspondentes à média aritmética de três repetições \pm desvio padrão. Fonte: Autores (2022).

3.1.2 pH

Nas características físico-químicas das formulações constatou-se que o pH das massas variou entre $6,31 \pm 0,03$ e $6,66 \pm 0,03$ (Tabela 2), sendo influenciado por todas as variáveis independentes ($R^2 = 0,8260$). O melhor efeito foi observado com a interação entre a farinha integral de sorgo vermelho e farinha integral de feijão carioca ($\beta_{23} = -0,76$; $p = 0,036$). Embora significativo, a predição dos resultados pelo modelo matemático precisa ser validada na otimização numérica, uma vez que a razão $F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}(6;5;0,10)$ foi de 1,16 ($p = 0,076$). Os menores valores de pH foram obtidos com o uso de farinha integral de sorgo vermelho entre 50 e 75 % e farinha integral de feijão carioca entre 25 e 50 % (Figura 3). A análise da variação de pH é extremamente importante, pois sabe-se que a velocidade de liberação do CO_2 pelo impulsor de massa é dependente do pH (Souza & Schmiele, 2021), sendo que valores de pH em torno de 6,0–6,5 favorecem a decomposição do bicarbonato de sódio (Cauvain, 2015) (Figura 3). Portanto, a quantidade de íons hidrogênio ionizáveis na massa tem influência no poder de liberação dos gases e no crescimento do muffin durante a etapa de cozimento (Souza et al., 2022).

Figura 3. Superfícies de respostas para gravidade específica ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) e pH da massa para os ensaios do Projeto de Mistura Simplex-Centroide.



Fonte: Autores (2022).

3.1.3 Análise da textura da massa

As características de textura da massa foram influenciadas pelas variáveis independentes farinha integral de arroz e farinha integral de feijão carioca. A viscosidade da massa possui impacto direto na capacidade de aeração e na manutenção das bolhas de ar incorporadas. Quando a massa não apresenta a viscosidade adequada, ocorre o favorecimento da coalescência das bolhas de ar, resultando em defeitos na estrutura alveolar do miolo dos bolos (Bennion & Bamford, 1997). Neste sentido, objetiva-se que a massa apresente uma baixa força de penetração, de maneira que possa ocorrer a dissipação do CO_2 liberado pelo impulsor de massa. Ao mesmo tempo, esta massa deve apresentar uma maior adesividade para que as moléculas de CO_2 dispersas na massa fiquem aprisionadas, com a mínima perda durante o estágio inicial do forneamento.

A força da massa para a produção dos muffins foi favorecida pela farinha integral de feijão carioca ($\beta_3 = 1,16$; $p < 0,001$), seguida pela farinha de arroz integral ($\beta_1 = 1,81$; $p < 0,001$). Os valores para a força da massa variaram entre $0,10 \pm <0,01$ e $1,87 \pm 0,02$ N (Tabela 3). A análise de variância demonstrou que 92,05 % dos resultados foram explicados pelo modelo matemático, o qual foi considerado preditivo pois o valor de F_{calc} foi 10,57 vezes superior a $F_{\text{tab (3;8;0,10)}}$ ($p < 0,001$).

Além da força da massa, a avaliação da área abaixo da curva até a obtenção da força de penetração indica a resistência do sistema coloidal complexo formado por meio de interações físico-químicas entre os macrocomponentes da formulação. Os valores para a área da força da massa variaram entre $2,35 \pm 0,13$ e $53,05 \pm 0,71$ N.s para os ensaios (Tabela 3). Os dados experimentais foram preditos ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab (3;8;0,10)}} = 7,80$; $P < 0,001$) em 89,52 % pelo modelo matemático. A área da força da massa foi influenciada pelos pseudocomponentes farinha integral de feijão carioca ($\beta_3 = 33,67$; $p < 0,001$) e farinha integral de arroz ($\beta_2 = 51,79$; $p < 0,001$). De acordo com a Figura 4, observou-se que as menores concentrações de farinhas integrais de arroz e feijão carioca e maiores teores de farinha integral de sorgo vermelho apresentaram as menores áreas da força da massa.

Embora não tenha apresentado efeitos estatisticamente significativos, as menores resistências da massa, tanto para a força como para a área da força, foram favorecidas com o uso da farinha integral de sorgo vermelho. Observou-se que o ensaio 2 e 8, com uso de 100 e 66,67 % de farinha integral de sorgo vermelho, respectivamente, apresentaram os menores valores para

a força e área da força da massa. Segundo et al., (2022), a farinha de sorgo vermelho possui 14,09% de fibra insolúvel, sendo capaz de aumentar a viscosidade da massa pela alta capacidade de hidratação, influenciando as variáveis força e área da força da massa.

Tabela 3. Dados para a textura da massa do delineamento experimental avaliando-se as características de força, área da força, adesividade e área da adesividade das massas para elaboração dos muffins.

Ensaio	Força da massa (N)	Área da força da massa (N.s)	Adesividade da massa (N)	Área da adesividade da massa (N.s)
1	1,87 ± 0,02	53,05 ± 0,71	-0,977 ± 0,055	-24,04 ± 0,50
2	0,10 ± <0,01	2,35 ± 0,13	-0,048 ± 0,002	-1,36 ± 0,10
3	1,21 ± 0,10	36,14 ± 2,30	-0,564 ± 0,020	-13,83 ± 1,44
4	0,76 ± 0,04	21,91 ± 1,54	-0,438 ± 0,029	-15,94 ± 0,47
5	1,31 ± 0,06	38,76 ± 2,87	-0,722 ± 0,042	-19,90 ± 2,06
6	0,59 ± 0,08	15,62 ± 1,38	-0,303 ± 0,025	-10,35 ± 0,87
7	1,31 ± 0,02	38,30 ± 1,03	-0,751 ± 0,032	-21,68 ± 1,01
8	0,48 ± 0,01	13,71 ± 0,50	-0,270 ± 0,016	-9,58 ± 0,44
9	0,87 ± 0,05	24,05 ± 1,47	-0,484 ± 0,016	-15,63 ± 0,69
10	1,26 ± <0,01	38,56 ± 0,66	-0,643 ± 0,012	-21,44 ± 1,14
11	0,82 ± <0,01	24,36 ± 0,32	-0,458 ± 0,012	-15,22 ± 1,29
12	0,82 ± 0,11	22,25 ± 1,10	-0,419 ± 0,035	-13,21 ± 0,37

Valores correspondentes à média aritmética de três repetições ± desvio padrão. Fonte: Autores (2022).

Ao mesmo tempo em que objetivamos uma textura macia da massa para a produção de bolos, a mesma precisa apresentar característica coesa, mas com baixa adesividade, favorecendo o aprisionamento do ar incorporado, evitando a coalescência das bolhas de ar e proporcionando uma melhor retenção do CO₂ liberado pelo impulsionador de massa durante a etapa do assamento.

A característica de adesividade da massa apresentou valores de $-0,977 \pm 0,055$ a $-0,048 \pm 0,002$, sendo que os dados experimentais foram explicados em 94,99 % pelo modelo matemático, o qual foi considerado preditivo por apresentar F_{calc} de 17,32 vezes superior ao $F_{\text{tab}} (3;8;0,10)$ ($p < 0,001$) de acordo com a ANOVA. O maior efeito proporcionado sobre a adesividade da massa foi promovido pelo uso da farinha integral de arroz ($\beta_1 = -0,971$; $p < 0,001$), seguido pela farinha integral de feijão carioca ($\beta_3 = -0,539$; $p < 0,001$). As menores adesividades da massa foram observadas com o uso de maiores níveis de farinha integral de sorgo vermelho e menores concentrações de farinhas integrais de arroz e feijão carioca.

Corroborando com a adesividade da massa, o trabalho mecânico necessário para medir a área da adesividade da massa variou entre $-24,04 \pm 0,50$ e $-1,36 \pm 0,10$ N.s. O modelo matemático foi considerado preditivo por apresentar uma razão de $F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}} (3;8;0,10)$ de 17,32 ($p < 0,001$). Os principais efeitos foram proporcionados pelos pseudocomponentes. De acordo com a Figura 4, observou-se que as menores áreas para a adesividade da massa foram quantificadas com níveis máximos de farinha integral de sorgo vermelho e mínimos de farinhas integrais de arroz e feijão carioca.

A melhor performance nas características de adesividade e área da adesividade das massas foram observados nos ensaios 2 e 8, os quais contêm maiores proporções de farinha integral de sorgo vermelho. Estes resultados corroboram com a força e área da força da massa, indicando um potencial uso da farinha integral de sorgo vermelho em bolos.

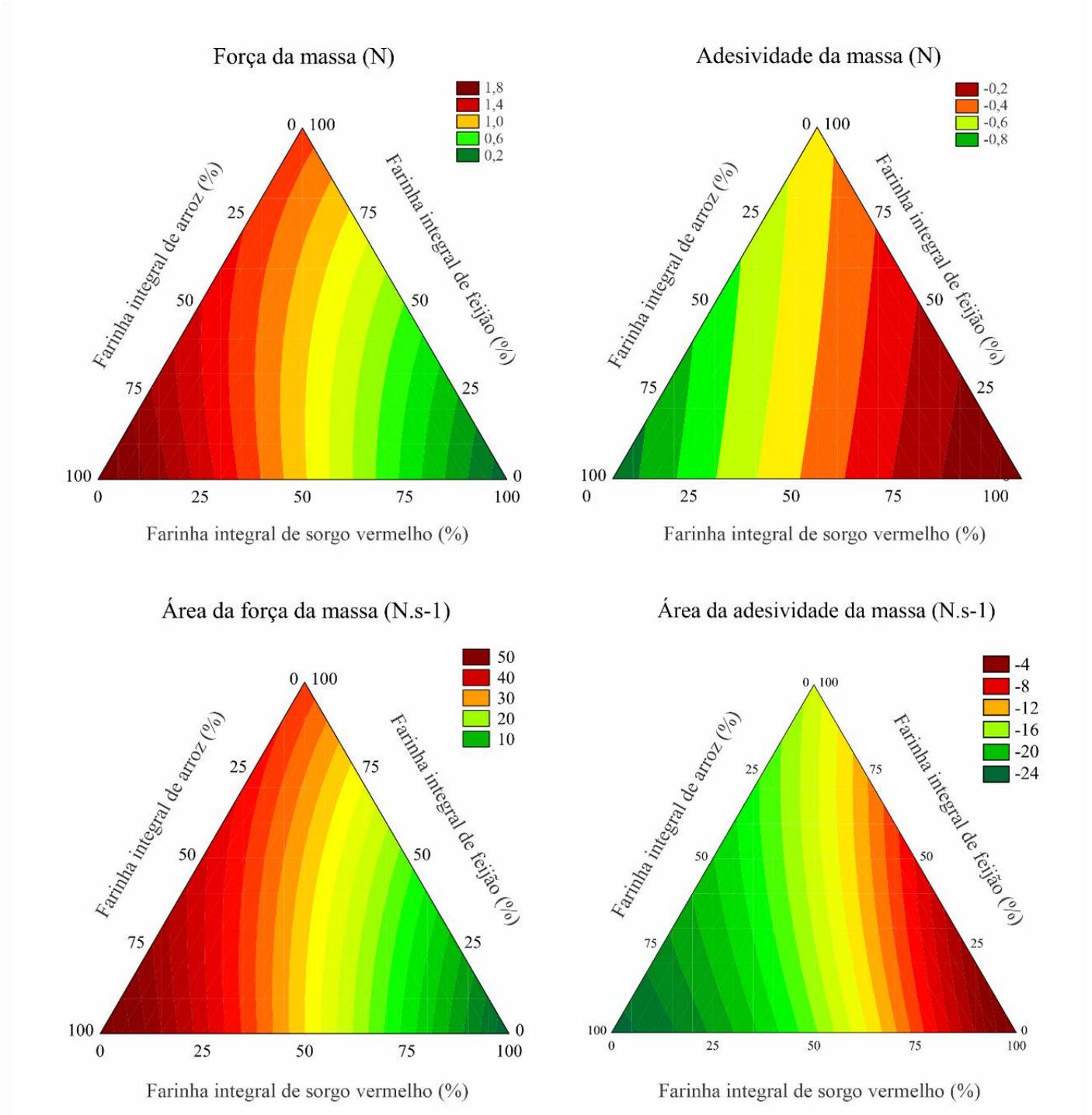
A densidade está diretamente relacionada à textura instrumental avaliada na massa e demonstra como a incorporação de ar durante a mistura é afetada pela tensão superficial, viscosidade e tipo e velocidade dos misturadores (Bozdogan, et al., 2022). A menor densidade implica em maior incorporação de ar em massas pois as altas viscosidades requerem maior energia

mecânica para a incorporação de ar na massa. Segundo Chompoorat et al., (2018), uma massa ideal para bolos deve apresentar um gel fraco e com baixa força e baixa deformação quando crua. Assim, ao ser cozido, ocorre o favorecimento da elasticidade da massa e da estrutura alveolar do miolo em função da gelatinização do amido e da desnaturação proteica.

Além disso, o efeito do envelhecimento do miolo é retardado por favorecer a formação das ligações de hidrogênio entre os polissacarídeos e as proteínas do bolo com a água remanescente após o assamento. Com isto, ocorre uma menor velocidade de migração da umidade do interior do muffin para a crosta, favorecendo a textura e a aparência de frescor. Estes efeitos alteram a estabilidades da massa e dos bolos durante o processamento, a textura, o volume específico, a porosidade, a microestrutura e a estocagem do produto final (Bozdogan et al., 2022). No caso da farinha integral de feijão carioca, o maior teor de proteínas classificadas como gluteninas (Montoya, et al., 2010) favorecem a elasticidade da massa em função da propriedade tixotrópica da fonte nitrogenada (Föste et al., 2014), apresentando impactos negativos na qualidade do produto final.

Desta forma, é de interesse que todas as variáveis acima sejam baixas para a força e área da força da massa e maiores (por serem forças negativas) para a adesividade e área da adesividade da massa, sendo simbolizadas pelas áreas verdes para as propriedades de força e vermelhas para as características de adesividade observadas nas curvas de contorno. Estes resultados foram obtidos, em geral, com menores concentrações de farinhas integrais de arroz e feijão carioca e maiores níveis de farinha integral de sorgo vermelho.

Figura 4. Curvas de contorno para os parâmetros de força da massa (N), área da força da massa (N.s), adesividade da massa (N) e área da adesividade da massa para os ensaios do Planejamento de Mistura Simplex-Centroide.



Fonte: Autores (2022).

3.2 Aspectos tecnológicos do muffin

3.2.1 pH e acidez total titulável

Com a aplicação das farinhas integrais foram quantificados valores entre $6,52 \pm 0,08$ e $7,21 \pm 0,15$ para o pH e entre $0,37 \pm 0,06$ e $1,58 \pm 0,11$ meq de KOH.g⁻¹ para a acidez titulável. Ambos os resultados foram influenciados estatisticamente pelas variáveis independentes, sendo que o pH apresentou menores valores em função da aplicação da farinha integral de feijão carioca ($\beta_3 = 6,76$; $p < 0,001$) e potencializado pela interação entre farinha integral de arroz e farinha integral de feijão carioca ($\beta_{13} = -1,76$; $p < 0,001$) e pela combinação ternária entre as três variáveis independentes ($\beta_{123} = 3,49$; $p = 0,012$). Os valores de pH foram explicados em 94,63 % pelo modelo matemático preditivo ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 4;7;0,10} = 10,41$; $p < 0,001$). O pH dos bolos tendem a apresentar valores próximos a neutralidade de acordo com Souza et al. (2022) ou de baixa acidez (Silva et al., 2022). Conforme visualizado na (Figura 5), valores próximos aos encontrados pela literatura foram obtidos com concentrações próximas ao ponto central, considerando o delineamento estatístico apresentado, o que tem favorecido a velocidade de ação do impulsionador de massa.

No caso da acidez titulável total, os maiores valores foram obtidos com a aplicação isolada da farinha integral de feijão carioca ($\beta_3 = 1,59$; $p < 0,001$) e balanceados pelo componente binário entre as farinhas integrais de arroz e feijão carioca ($\beta_{23} = -1,36$; $p < 0,001$) uma vez que o pseudocomponente formado pela farinha integral de arroz apresentou valor menor para a acidez titulável total ($\beta_1 = 0,34$; $p < 0,001$) quando comparados à farinha integral de sorgo vermelho e à farinha integral de feijão carioca.

Tabela 4. pH, acidez total titulável e volume específico dos muffins elaborados com farinhas integrais de arroz, sorgo vermelho e feijão-carioca para produção dos muffins por meio do Planejamento de Misturas Simplex-Centroide.

Ensaio	pH	Acidez titulável total (meq KOH.g ⁻¹)	Volume específico (cm ³ .g ⁻¹)
1	7,21±0,15	0,37±0,06	1,10±0,07
2	6,90±0,14	0,98±0,11	1,69±0,09
3	6,74±0,09	1,58±0,11	1,22±0,10
4	7,02±0,15	0,59±0,04	1,47±0,07
5	6,52±0,08	1,01±0,03	1,04±0,04
6	6,84±0,14	0,98±0,00	1,71±0,04
7	7,00±0,11	0,64±0,03	1,19±0,12
8	6,88±0,10	0,77±0,07	1,81±0,04
9	6,74±0,17	1,12±0,13	1,41±0,03
10	6,95±0,13	0,70±0,09	1,45±0,05
11	6,85±0,05	0,79±0,13	1,48±0,14
12	6,83±0,06	0,83±0,03	1,47±0,05

Valores correspondentes à média aritmética de três repetições ± desvio padrão. Fonte: Autores (2022).

Os dados da acidez titulável total dos bolos foram elucidados pelo modelo matemático ($R^2 = 0,9794$), o qual pode ser considerado satisfatório e preditivo por ter apresentado F_{calc} em 43,53 vezes superior ao $F_{\text{tab } (3;8;0,10)}$ ($p < 0,001$). Embora inversamente proporcionais, os valores entre o pH e a acidez titulável total corroboram e convergem para o ponto central das variáveis dependentes em estudo, conforme observado pela (Figura 5). Os ácidos orgânicos, incluindo os ácidos fenólicos como os ácidos hidroxibenzoicos e hidroxicinâmicos presentes nos cereais (Miafo et al, 2022; Paucar-Menacho et al., 2022; Wu et al., 2022; Yu et al., 2021) e leguminosas (Luthria & Pastor-Corrales, 2006; Xu & Chang, 2009) contribuíram para a redução do pH e aumento da acidez titulável total dos muffins.

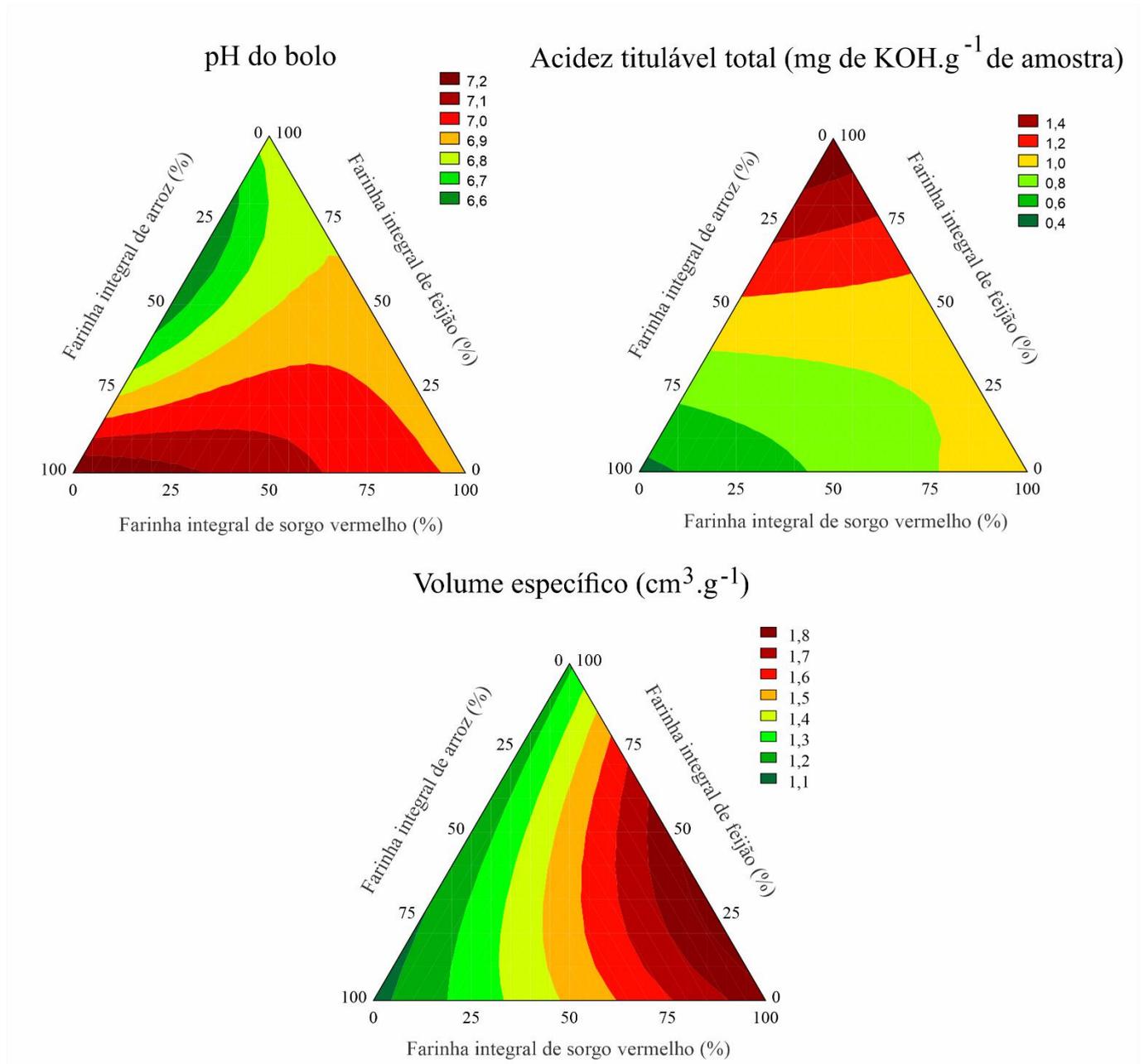
3.2.2 Volume específico

Os valores para o volume específico dos muffins variaram de $1,81 \pm 0,04$ a $1,04 \pm 0,04$ cm^3g^{-1} para os ensaios do delineamento experimental (Tabela 4). Apresentando um coeficiente de determinação de 93,53 %, os maiores volumes específicos dos muffins foram favorecidos pelos teores de farinha integral de sorgo vermelho ($\beta_2 = 1,76$; $p < 0,001$) e pela interação entre farinha integral de sorgo vermelho e farinha integral de feijão carioca ($\beta_{23} = 1,19$; $p = 0,005$). Esse efeito pode ser explicado pelas fibras alimentares presentes nestas farinhas, pois as fibras alimentares apresentam uma menor densidade específica quando comparadas ao amido e às proteínas (aproximadamente 1,299, 1,588 e $1,312\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, respectivamente) (Singh, et al., 2016). Esta menor densidade específica, aliado ao aumento da viscosidade dada pela alta capacidade de hidratação em função das ligações de hidrogênio com a água (Damodaram & Parkin, 2017; Wong, 2018), favoreceu a incorporação de ar na massa e a distribuição uniforme das bolhas de ar, permitindo a manutenção das bolhas de ar e a expansão do produto durante o assamento (Jia et al., 2014; Khorasani et al., 2020).

Itthivadhanapong, et al., (2016) complementa que a retenção de bolhas de ar na massa e a estrutura correspondente do bolo são determinadas pelo comportamento viscoelástico da massa. Este comportamento viscoelástico é oriundo do efeito sinérgico entre a propriedade elástica dos macrocomponentes compostos pelas proteínas e pelas fibras alimentares e da propriedade viscosa dos líquidos presentes na formulação (Pathaw, et al., 2021). A característica viscoelástica da massa é uma propriedade reológica amplamente usada para controlar as condições de processamento, design de sistemas de fluxo, manuseio de materiais e controle de qualidade (Das & Bhattacharya, 2019).

Os dados de volume específico dos bolos estão de acordo com a gravidade específica da massa, uma vez que são duas grandezas inversamente proporcionais, mas que refletem diretamente na qualidade do produto final (Gularte, et al., 2012). O volume é considerado um parâmetro de qualidade tanto para indústria, quanto da parte sensorial avaliada pelos consumidores. Assim, objetivamos um produto final com valores altos para o quesito volume específico, o que foi proporcionado por teores altos de farinha integral de sorgo vermelho ($\beta_3 = 1,73$; $p < 0,001$), seguido pela interação binária entre as farinhas integrais de sorgo vermelho e de feijão carioca ($\beta_{23} = 1,19$; $p < 0,001$). O modelo matemático foi considerado preditivo por ter apresentado um valor de 13,21 para a razão $F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}(3;8.0,10)}$ ($p < 0,001$). De acordo com a curva de contorno (Figura 5) para a resposta analisada, observou-se que os maiores valores de volume específico para os muffins foram obtidos com uso de menores teores de farinha integral de arroz, maiores níveis de farinha integral de sorgo vermelho e concentrações entre zero e 50 % de farinha integral de feijão carioca.

Figura 5. Curvas de contorno para o pH, acidez total titulável e volume específico (VE) ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) de muffins do Planejamento de Mistura Simplex-Centroide.



Fonte: Autores (2022).

3.2.3 Cor instrumental

A Tabela 6 apresenta os valores para a cor instrumental dos ensaios do planejamento experimental, bem como para as farinhas integrais utilizadas como variáveis independentes. Notou-se que os valores para os ensaios do delineamento variaram entre $44,18 \pm 0,21$ e $65,21 \pm 0,91$ para a luminosidade (L^*), entre $5,11 \pm 0,17$ e $8,98 \pm 0,16$ para a tonalidade avermelhada ($+a^*$) e entre $12,78 \pm 0,51$ e $26,36 \pm 0,54$ para a tonalidade amarelada ($+b^*$). A luminosidade do miolo dos bolos apresentou os menores valores proporcionados pela interação da farinha integral de arroz com a farinha integral de feijão carioca ($\beta_{13} = -12,51$; $p = 0,018$). Com o uso da farinha integral de arroz de forma isolada observou-se que o miolo do muffin apresentou tonalidades mais claras ($\beta_1 = 64,92$; $p < 0,001$). Em bolos com formulações tradicionais, a base de farinha de trigo refinada, os valores de L^* tendem

a ser maiores (~75) conforme Souza e Schmiele (2021). O coeficiente de determinação de 0,9808 e a razão $F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}} (4;7;0,10)$ de 30,20 indicam o ajuste do modelo matemático e garantem a validade das predições efetuadas. A curva de contorno (Figura 7) indicou que a luminosidade da amostra é menor com o uso de maiores concentrações de farinha integral de sorgo vermelho, seguido de menores concentrações de farinha integral de arroz, sendo que a farinha integral de feijão carioca apresentou menor influência neste parâmetro. Este comportamento é influência da presença do pericarpo dos grãos aplicados, pois as farinhas integrais possuem altos teores de fibras alimentares, minerais e pigmentos, o que resultou em miolos com tonalidade mais escura (Schmiele et al., 2011; Nurzyńska-Wierdak, et al., 2019). A presença dos compostos fenólicos são os principais componentes presentes nas fibras alimentares que proporcionam a alteração da luminosidade, destacando-se o ácido fítico e os fitatos, os flavonoides e as proantocianidinas no caso do arroz (Yu et al., 2021), os taninos no sorgo (Oliveira et al., 2022) e os ácidos *p*-coumárico, ferulico e cinâmico no feijão carioca (Madrera, et al., 2021).

Tabela 5. Cor instrumental dos muffins apresentando os parâmetros: L^* (intensidade), a^* (eixo verde-vermelho) e b^* (eixo azul-amarelo) para os ensaios do delineamento e das farinhas.

Muffins			
Ensaio	L^*	a^*	b^*
1	65,21±0,91	5,11±0,17	26,36±0,54
2	44,18±0,21	8,98±0,16	15,23±0,36
3	51,03±0,43	5,29±0,30	12,78±0,51
4	48,86±0,68	7,12±0,22	14,69±0,66
5	55,43±3,50	5,22±0,23	15,79±0,80
6	46,34±0,86	6,81±0,19	12,81±0,24
7	53,94±0,93	6,14±0,14	17,21±0,59
8	47,15±0,12	7,63±0,26	13,82±0,43
9	50,19±0,45	6,11±0,21	13,70±0,59
10	49,23±0,27	6,30±0,22	13,97±0,70
11	48,60±0,34	6,32±0,20	13,86±0,26
12	48,41±0,35	6,35±0,19	13,88±0,56
Farinhas			
Matérias-primas	L^*	a^*	b^*
FIA	87,06±0,15	0,59±0,02	12,12±0,09
FISV	69,27±0,42	6,33±0,12	11,90±0,06
FIFC	71,73±0,59	4,01±0,20	17,60±0,92

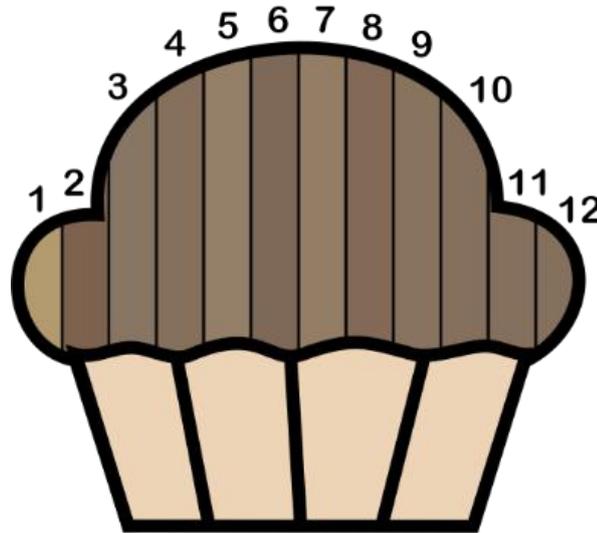
FIA= Farinha Integral de Arroz; FISV= Farinha Integral de Sorgo Vermelho e FIFC= Farinha Integral de Feijão Carioca. Foram realizadas 4 repetições em cada ensaio. Fonte: Autores (2022).

A tonalidade avermelhada observada no miolo dos muffins foi influenciada principalmente pela presença da farinha integral de sorgo vermelho ($\beta_2 = 8,98$; $p < 0,001$). A ANOVA indicou que 98,31 % dos valores experimentais foram explicados pelo modelo matemático preditivo ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}} (3;8;0,10) = 53,11$; $p < 0,001$). A influência da farinha integral de sorgo vermelho sobre a tonalidade avermelhada dos muffins pode ser observada na curva de contorno (Figura 7). Os taninos presentes no sorgo são responsáveis pela tonalidade vermelha, sendo que estes taninos podem estar na forma livre e ligada. Além disso, os taninos têm por habilidade intrínseca formar complexos que apresentam alta estabilidade térmica (Espitia-Hernández et al., 2022; Jiang, et al., 2020; Paucar-Menacho et al., 2022).

Os valores do parâmetro b^* da cor instrumental do miolo dos muffins foram maiores com o uso da farinha integral de arroz ($\beta_1 = 26,07$; $p < 0,001$). Ao combinar a farinha integral de arroz com farinha integral de sorgo vermelho ($\beta_{12} = -23,19$; $p < 0,001$) e farinha integral de feijão carioca ($\beta_{13} = -13,71$; $p = 0,001$) houve uma redução na tonalidade amarelada do miolo dos muffins. O modelo matemático explicou 98,56 % dos resultados obtidos nos ensaios experimentais, sendo que o mesmo foi considerado preditivo e satisfatório por ter apresentado valor de F_{calc} em 41,07 vezes superior a $F_{\text{tab (4;7;0,10)}}$ ($p < 0,001$). Nos conjuntos dos ensaios 1, 2 e 3 (os quais possuem os pseudocomponentes na composição), nos ensaios 4, 5 e 6 (os quais possuem a interação entre os componentes binários) e nos ensaios 7, 8 e 9 (os quais correspondem ao componente ternário), observou-se dados coerentes para as variáveis L^* e a^* da cor instrumental quando comparados à coloração das matérias-primas. Contudo, para a variável b^* , os valores se tornaram inversamente proporcionais. Esta tonalidade amarelada pode ter sido afetada pela decomposição térmica dos carotenoides do arroz e do feijão carioca (Los et al., 2018) durante a exposição às altas temperaturas no forno (Liang, et al., 2021) ou pelo recobrimento dos pigmentos pelo amido ou outro componente do muffin. Isso não ocorreu no parâmetro a^* , pois o pigmento responsável pela cor avermelhada são os taninos presentes na farinha integral de sorgo vermelho. Como este pigmento se apresenta majoritariamente como taninos complexos, estes são mais estáveis ao tratamento térmico.

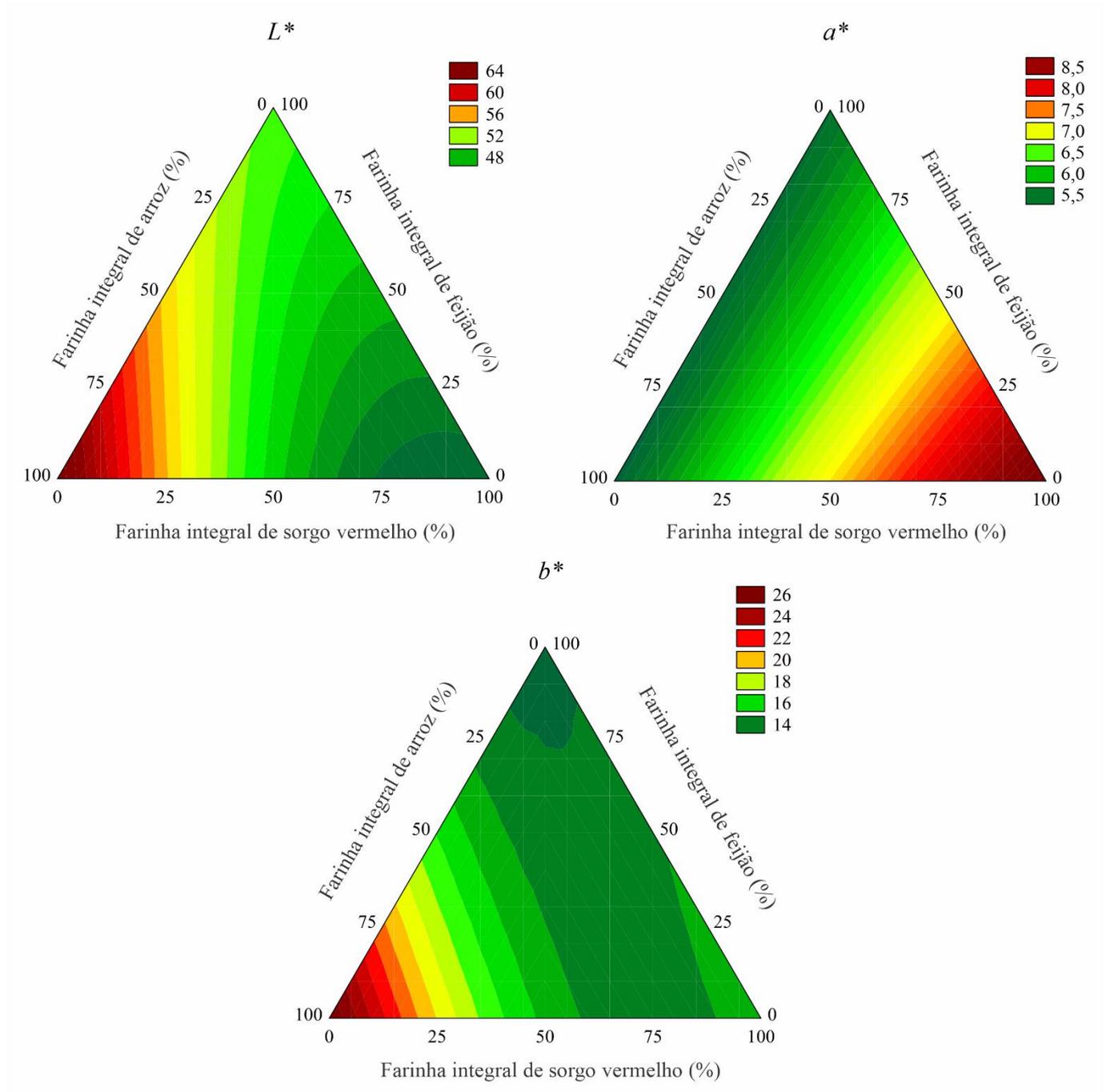
A Figura 6 apresenta uma observação visual da coloração do miolo dos muffins. Observou-se que o muffin mais claro é o ensaio 1, o qual possui somente farinha integral de arroz na composição, o que é coerente pois, das três farinhas utilizadas neste estudo, a farinha integral de arroz é a mais clara.

Figura 6. Representação gráfica das cores dos muffins pelo sistema CIE- $L^*a^*b^*$.



Os valores de 1 a 12 correspondem as cores obtidas nos ensaios dos muffins. Fonte: Autores (2022).

Figura 7. Curvas de contorno para os parâmetros L^* , a^* e b^* da cor instrumental dos muffins elaborados para o Planejamento de Mistura Simplex-Centroide.



Fonte: Autores (2022).

3.2.4 Análise do perfil de textura dos muffins

Conforme descrito por Teotônio et al. (2021), a textura instrumental avalia as características mecânicas do produto, sendo definidas por parâmetros primários e secundários. Os parâmetros primários são a firmeza, a dureza, a coesividade, a viscosidade, a elasticidade e a adesividade. Os parâmetros secundários são compostos pela fraturabilidade, pela mastigabilidade e pela gomosidade. Estes parâmetros de textura são muito semelhantes ao comportamento humano ao consumir o produto e amplamente aplicados para produtos de panificação (Jyotsna, et al., 2016; Pauter et al., 2018; Tóth, et al., 2022). As características geométricas são definidas pelo arranjo dos constituintes físicos de um alimento, como tamanho, forma, presença de fibras e,

partículas macias ou rígidas, classificando-os assim como fibroso, cristalino ou granuloso. As demais características estão relacionadas com o conteúdo de gordura e umidade do alimento, classificando-os como oleoso ou succulento. A Tabela 6 apresenta os dados experimentais para os parâmetros de firmeza, dureza, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência do miolo dos muffins.

Tabela 6. Textura dos muffins para do delineamento através da firmeza, dureza, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência.

Ensaio	Firmeza (N)	Dureza (N)	Elasticidade	Coesividade
1	17,11± 2,03	23,47±2,31	0,84±0,03	0,44±0,03
2	8,68±0,62	8,68±0,62	0,77±0,01	0,39±0,02
3	9,30±1,01	16,69±2,71	0,55±0,03	0,19±0,02
4	11,17±1,10	14,15±1,29	0,82±0,01	0,45±0,03
5	21,16±1,61	30,10±2,44	0,75±0,03	0,33±0,03
6	9,07±1,07	12,57±1,38	0,69±0,02	0,31±0,03
7	13,90±1,43	18,69±1,81	0,81±0,02	0,42±0,02
8	8,74±0,74	11,23±0,99	0,78±0,02	0,40±0,03
9	10,41±0,97	14,80±1,07	0,65±0,03	0,29±0,02
10	11,72±1,14	17,18±1,93	0,70±0,02	0,28±0,03
11	12,00±1,35	16,38±1,65	0,71±0,02	0,34±0,02
12	10,79±1,09	15,01±1,35	0,73±0,03	0,33±0,03
Ensaio	Gomosidade (N)	Mastigabilidade (N)	Resiliência	
1	9,88±0,92	8,65±1,15	0,22±0,01	
2	4,32±0,42	3,32±0,33	0,16±0,01	
3	2,99±0,38	1,62±0,24	0,08±0,01	
4	6,26±0,62	5,11±0,53	0,21±0,01	
5	9,72±0,96	7,23±0,91	0,14±0,02	
6	4,20±0,56	3,04±0,45	0,12±0,01	
7	7,86±0,82	6,33±0,67	0,20±0,01	
8	4,46±0,45	3,47±0,39	0,17±0,01	
9	4,23±0,48	2,80±0,33	0,11±0,01	
10	5,28±0,52	3,72±0,37	0,12±0,01	
11	5,57±0,83	3,97±0,61	0,14±0,01	
12	5,15±0,68	3,75±0,50	0,14±0,01	

Foram feitas 10 repetições para cada ensaio do ponto ótimo. Fonte: Autores (2022).

A variabilidade em cada uma das características de textura foram: firmeza ($8,68 \pm 0,62$ a $21,16 \pm 1,61$ N), dureza ($8,68 \pm 0,62$ a $30,10 \pm 2,44$ N), elasticidade ($0,55 \pm 0,03$ a $0,84 \pm 0,03$), coesividade ($0,19 \pm 0,02$ a $0,45 \pm 0,03$), gomosidade ($2,99 \pm 0,38$ a $9,88 \pm 0,92$ N), mastigabilidade ($1,62 \pm 0,24$ a $8,65 \pm 1,15$ N) e resiliência ($0,08 \pm 0,01$ a $0,22 \pm 0,01$). Para as características de firmeza e dureza, o ensaio que apresentou melhor desempenho foi o 2 (100 % farinha integral de sorgo vermelho). Para a gomosidade e a mastigabilidade, a melhor performance foi apresentada pelo ensaio 3 (100 % farinha integral de feijão carioca) e para a resiliência foi o ensaio 1 (100 % farinha integral de arroz). Desta forma, pode-se observar que as formulações com farinhas isoladas tiveram seus destaques. Isso fundamenta de forma assertiva a escolha das farinhas como

variáveis independentes neste estudo, na qual cada uma tem um potencial de contribuição interessante para a formulação do muffin a ser otimizado.

A variáveis firmeza, dureza, gomosidade, mastigabilidade são de interesse quando apresentam valores menos expressivos, enquanto as variáveis elasticidade, coesividade e resiliência são favorecidas quando apresentam valores maiores. Deste modo, a menor firmeza foi obtida pela interação ternária das variáveis independentes ($\beta_{123} = -99,34$; $p = 0,003$), seguida pelo pseudocomponente da farinha integral de sorgo vermelho ($\beta_2 = 8,31$; $p < 0,001$). Os dados experimentais foram satisfatórios e explicados por um coeficiente de determinação de 0,9466, sendo o modelo matemático considerado preditivo ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}(4;7;0,10) = 10,62$; $p < 0,001$).

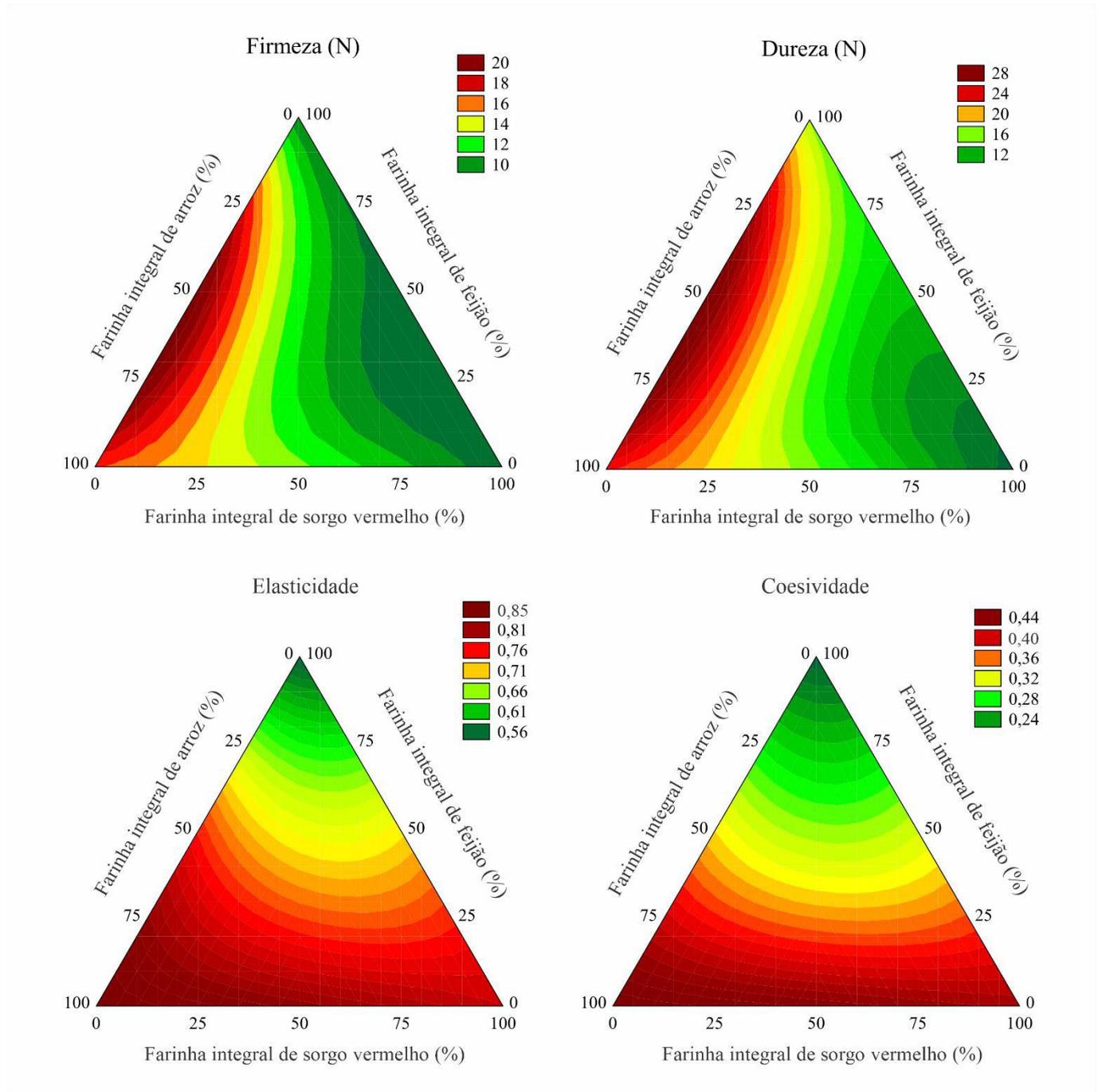
Para a dureza, os menores valores foram influenciados pela interação entre as três farinhas ($\beta_{123} = -122,21$; $p = 0,016$), seguida pela farinha integral de sorgo vermelho ($\beta_2 = 8,45$; $p = 0,001$). O modelo matemático foi considerado ajustado por ter apresentado um valor de 8,15 para a razão $F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}(4;7;0,10) = 10,62$ ($p < 0,001$), explicando 93,15 % dos dados experimentais. Ao analisar as curvas de contorno (Figura 8.1) observou-se que os menores valores para firmeza e dureza foram obtidos com aplicação de maiores concentrações da farinha integral de sorgo vermelho. Para a exploração da farinha integral de feijão carioca, as melhores faixas foram obtidas com uso de 0 a 75 % para a firmeza e de 0 a 25 % para a dureza.

O parâmetro de firmeza é considerado o mais importante, pois reflete ao principal atributo sensorial da textura observado pelos consumidores. A avaliação da análise de perfil de textura ocorre através da compressão de 40 % da amostra, em dois ciclos, sendo que a dureza é dada pela resistência máxima à deformação e a firmeza é a dada pela forma necessária para comprimir 24% das fatias, durante o primeiro ciclo (Teotônio et al., 2021; Silva et al., 2022).

A elasticidade do miolo dos muffins foi influenciado pelas três variáveis independentes em estudos, destacando-se as maiores elasticidades proporcionadas pela farinha integral de arroz ($\beta_1 = 0,85$; $p < 0,001$), sendo reduzidas pela interação ternária das farinhas integrais ($\beta_{123} = -1,13$; $p = 0,017$). Os dados obtidos apresentaram valores mínimos de $0,55 \pm 0,03$ e máximos de $0,84 \pm 0,03$, sendo explicados em 98,17 % pelo modelo matemático preditivo ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}(5;6;0,10) = 20,74$; $p < 0,001$). De acordo com a Figura 8.1, as maiores elasticidades foram obtidas com maiores níveis de farinha integral de arroz, menores teores de farinha integral de feijão carioca e com concentrações entre zero a 50 % de farinha integral de sorgo vermelho.

Miols mais elásticos são mais coesos, sendo que a coesividade da textura interna dos muffins corroboram com a elasticidade. Os valores de coesividade variaram entre $0,19 \pm 0,02$ e $0,45 \pm 0,03$, sendo que o modelo matemático foi capaz de prever 91,18 % dos dados experimentais. A predição foi considerada satisfatória uma vez que a razão entre o $F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}(3;8;0,10)$ foi de 9,44 ($p < 0,001$). A coesividade foi favorecida pelo uso das três farinhas integrais, sendo em maior proporção pela farinha integral de arroz ($\beta_1 = 0,46$; $p < 0,001$), seguida pela farinha integral de sorgo vermelho ($\beta_2 = 0,42$; $p < 0,001$) como intermediária e pela farinha integral de feijão carioca ($\beta_3 = 0,20$; $p < 0,001$) em menor intensidade. Desta forma, observou-se que as maiores coesividades do miolo dos muffins foram alcançados com as formulações contendo maiores níveis de farinha integral de arroz e menores teores de farinha integral de feijão carioca, sendo que a farinha integral de sorgo vermelho apresentou melhor desempenho quando combinada com a farinha integral de arroz (Figura 8.1).

Figura 8.1. Curvas de contorno para os parâmetros de textura do miolo dos muffins, considerando a firmeza, a dureza, a elasticidade e a coesividade para os ensaios do Planejamento de Mistura Simplex-Centroide.



Fonte: Autores (2022).

A gomosidade refere-se a energia requerida para desintegrar o alimento durante a mastigação, até que se atinja o ponto da deglutição em função da pegajosidade e alta viscosidade. Associado a isso, temos que a mastigabilidade é a energia requerida para atingir a consistência adequada para deglutição do mesmo alimento sólido, considerando-se tanto a geometria quanto as propriedades mecânicas do produto a ser consumido (Nishinari et al., 2013; Peleg, 2019). Neste sentido, para os muffins objetivava-se valores reduzidos de gomosidade e mastigabilidade.

Os dados para a gomosidade e para a mastigabilidade dos ensaios experimentais variaram entre $2,99 \pm 0,38$ e $9,88 \pm 0,92$ N e $1,62 \pm 0,24$ e $8,65 \pm 1,15$ N, respectivamente. Ambas as variáveis dependentes apresentaram maior influência

pela interação ternária das variáveis independentes, sendo $\beta_{123} = -42,32$ ($p = 0,003$) para a gomosidade e $\beta_{123} = -35,82$ ($p = 0,003$) para a mastigabilidade. No entanto, para a gomosidade, o pseudocomponente composto pela farinha integral de feijão carioca apresentou o melhor efeito isolado ($\beta_3 = 2,97$; $p < 0,001$) e a interação entre as farinhas integrais de arroz e sorgo vermelho também favorecerem a mastigabilidade ($\beta_{12} = -3,70$ ($p = 0,047$)). Os modelos matemáticos foram preditivos, com razão $F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}(5;6;0,10)$ de 22,88 ($p < 0,001$) para a gomosidade e $F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}(5;6;0,10)$ de 30,09 ($p < 0,001$) para a mastigabilidade. Os dados experimentais foram explicados em 98,34 % para a gomosidade e em 98,73% para a mastigabilidade.

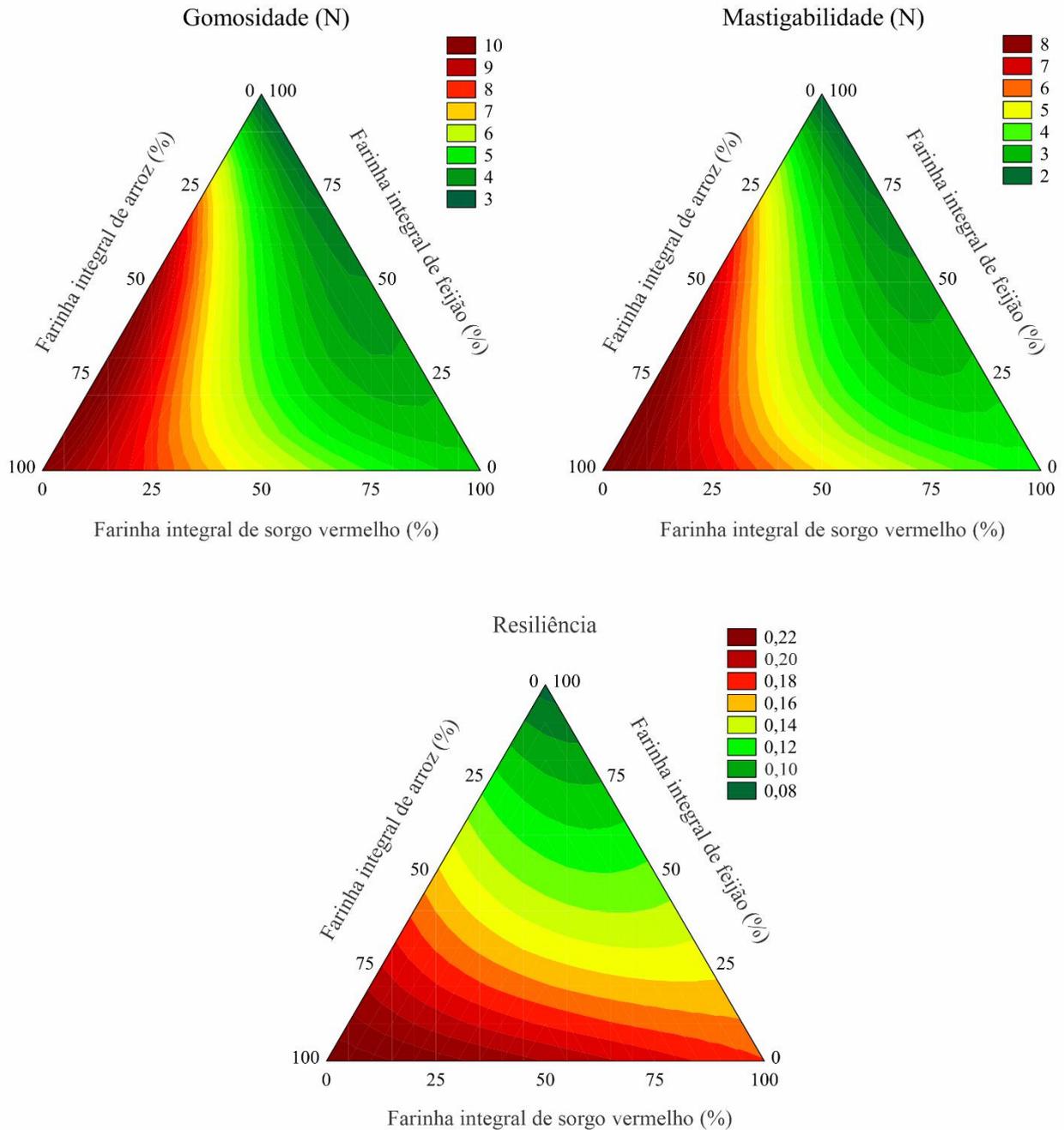
Os menores valores de gomosidade e mastigabilidade foram observados com menores concentração de farinha integral de arroz, maiores teores de farinha integral de sorgo vermelho e níveis acima de 50 % para a farinha integral de feijão carioca (Figura 8.2).

A resiliência das amostras apresentou valores que variaram entre $0,08 \pm 0,01$ e $0,22 \pm 0,01$, sendo que 94,00 % destes dados foram explicados pelo modelo matemático preditivo ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}(3;8;0,10) = 14,31$ ($p < 0,001$)). As maiores resiliências foram proporcionadas pela farinha integral de arroz ($\beta_1 = 0,23$; $p < 0,001$) e pela farinha integral de sorgo vermelho ($\beta_2 = 0,17$; $p < 0,001$). A interação entre as três farinhas integrais resultou em uma diminuição da resiliência do miolo das fatias ($\beta_{23} = -0,44$; $p = 0,090$). De acordo com a Figura 8.2, a melhor região da curva de contorno para a resiliência foi observada com teores de farinha integral de arroz acima de 50 % e menores teores de farinhas integrais de sorgo vermelho e feijão carioca, sendo que a leguminosa apresentou menor efeito negativo sobre a resposta em estudo.

Em geral, o uso de farinhas integrais resulta em um aumento da firmeza, dureza, gomosidade e mastigabilidade de muffins (Kaur, et al., 2022). A presença das fibras alimentares, principalmente as insolúveis, apresentam maior tamanho de partícula quando comparadas às farinhas refinadas. A maior granulometria e a desuniformidade na distribuição do tamanho das partículas resultam em alterações na velocidade de hidratação, o que influencia diretamente na viscosidade da massa e nas características do produto final. Quando a formulação tem uma distribuição regular, a massa absorve a água de maneira uniforme e o cozimento da massa também é uniforme. Este assamento uniforme reflete em melhor gelatinização do amido e, com isso, o miolo do bolo possui melhor habilidade a retornar ao seu formato original após deformado. Este fenômeno é chamado de resiliência, e tem relação direta com a elasticidade do material (López-Alarcón et al., 2019; Contini et al., 2022). Massas densas apresentam um menor número de células de gás incorporadas e favorecem valores de resiliência mais baixos, implicando que o miolo necessitará de mais tempo para a estrutura dos muffins se recuperar após a compressão (Martínez-Cervera et al., 2011).

As proteínas de leguminosas possuem comportamento semelhante, resultando no aumento da firmeza e dureza dos bolos. As frações proteicas das leguminosas formam ligações cruzadas com as proteínas dos cereais, principalmente entre aminoácidos sulfurados e entre a lisina e o ácido glutâmico ou aspártico. As interações hidrofóbicas entre os radicais dos aminoácidos apolares favorecem a aeração da massa e o desenvolvimento do volume específico dos muffins. No entanto, com o tratamento térmico durante o forneamento ocorre a desnaturação das proteínas, promovendo o enrijecimento da rede proteica durante a fixação da estrutura dos bolos no forno (El Sohaimy, et al., 2021). As proteínas oriundas da clara do ovo também afetam a estrutura do miolo dos bolos em função da interação com as proteínas das farinhas. A ovalbumina da clara do ovo desempenha um papel fundamental na formação da rede de proteínas. O tempo de desnaturação e interação da ovalbumina com outras proteínas afetam a elasticidade e a coesividade da estrutura alveolar do miolo do bolo (Deleu et al., 2017).

Figura 8.2. Curvas de contorno para os parâmetros de textura do miolo dos muffins, considerando a gomosidade, mastigabilidade e resiliência para os ensaios do Planejamento de Mistura Simplex-Centroide.



Fonte: Autores (2022).

A fabricação de produtos de panificação sem glúten resulta em grandes problemas tecnológicos para a área. De fato, muitos produtos isentos de glúten disponíveis no mercado são muitas vezes de baixa qualidade tecnológica, apresentando baixo volume, pouco desenvolvimento de cor e miolo esfarelado, além de grande variação na composição de nutrientes, com baixo teor de proteína e alto teor de gordura, principalmente quando comparado com o trigo. O uso de farinhas de alta hidratação, ricas em fibras alimentares e proteínas, e a aplicação de hidrocoloides contorna parcialmente este efeito, mas afeta a textura do produto (Matos, et al., 2014).

3.3 Otimização numérica e validação de modelos matemáticos

Com base nos modelos matemáticos obtidos e analisando as curvas de contorno e as características inerentes ao processamento dos muffins foi definido a formulação otimizada. A melhor condição foi direcionada para que se obtivesse: (i) variáveis independentes – os maiores teores de farinha integral de sorgo vermelho e farinha integral de feijão carioca, sendo que a concentração de farinha integral de arroz foi colocada dentro da faixa estudada por ter apresentado a menor influência num parâmetro geral das respostas analisada; (ii) variáveis dependentes: maiores valores para a adesividade e a área de adesividade da massa, para a altura, o volume específico, o parâmetro a^* da cor instrumental e a resiliência dos muffins; valores dentro da faixa encontrada para o pH do muffin, a acidez titulável total, a elasticidade e a coesividade dos muffins; e menores valores para o pH da massa, a gravidade específica e a força e a área da força da massa e para os parâmetros L^* e b^* , a firmeza, a dureza, a gomosidade e a mastigabilidade dos muffins.

Para as variáveis dependentes estatisticamente significativas ($R^2 > 0,80$; $F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}} > 1,0$; e p-valor $< 0,10$), a importância foi designada entre 1 e 5, sendo 1 a condição de menor importância e 5 a de maior importância (Tabela 7). A formulação otimizada foi obtida com aplicação de 91 % de farinha integral de sorgo vermelho integral e 9 % de farinha integral de feijão carioca. Esta formulação foi processada em triplicata verdadeira e as variáveis dependentes estatisticamente significativas ($p < 0,10$) foram avaliadas para verificar a validade dos modelos matemáticos (Tabela 8).

Em relação as variáveis dependentes da textura da massa e do muffin, os dados foram satisfatórios quando comparados com os valores preditos (Tabela 7), uma vez que os desvios relativos foram de até $\pm 10,00$ %, com exceção para a adesividade da massa e a área de adesividade, as quais apresentaram um desvio relativo de $-15,42$ % e $-10,28$ % respectivamente. Porém, vale ressaltar que os valores preditos e experimentais são extremamente baixos, sendo que qualquer pequena variação absoluta nos dados resulta em porcentagens de variação elevadas. Desta forma, todos os modelos matemáticos (Tabela 8) para a textura foram considerados válidos e capazes de prever os valores experimentais, dentro da faixa estudada.

O pH da massa, a gravidade específica e o pH e a altura do muffin apresentaram um desvio relativo dentro da faixa estipulada $|\pm 10,00$ %|, demonstrando ser um resultado oportuno e validando os modelos matemáticos.

A cor instrumental para os parâmetros L^* e b^* apresentaram um desvio relativo na faixa de $\pm 10,00$ %, sendo que o parâmetro a^* apresentou um desvio relativo de $10,82$ %. Na teoria, o modelo matemático desta variável não foi validado. Contudo, o valor excedente é razoavelmente pequeno, o que nos leva a considerar que essa diferença provavelmente não seja percebida na prática.

Os desvios relativos para acidez titulável total e do volume específico correspondem a $27,56$ % e $15,56$ %, respectivamente, fazendo com que estes parâmetros não sejam validados. Porém, os valores da solução e os resultados experimentais são pequenos, justificando-se a provável estimativa de predição, assim como descrito para as variáveis de textura da massa (adesividade da massa e a área de adesividade da massa).

Tabela 7. Otimização numérica para determinação da formulação otimizada, valores experimentais e preditos e desvio relativo para a validação dos modelos matemáticos

Parâmetro	Alvo	Importância	Solução		
			Valores Codificados	Valor experimental	Desvio relativo (%)
Variáveis independentes					
Farinha integral de arroz	Na faixa	3	0,00		0 %
Farinha integral sorgo vermelho	Máximo	5	0,91		91 %
Farinha integral de feijão carioca	Máximo	1	0,09		9 %
Parâmetro	Alvo	Importância	Solução	Valor experimental	Desvio relativo (%)
Variáveis dependentes					
Força de massa (N)	Mínimo	5	0,13	0,13 ± <0,01	-1,37
Adesividade massa (N)	Máximo	5	-0,09	-0,08 ± <0,01	-15,42
Área da força da massa (N.s)	Mínimo	5	3,12	3,36 ± 0,11	7,17
Área da adesividade (N.s)	Máximo	5	-3,38	-3,06 ± 0,12	-10,28
Firmeza (N)	Mínimo	5	8,38	8,60 ± 0,75	2,60
Dureza (N)	Mínimo	5	9,09	9,50 ± 0,55	4,31
Elasticidade	Na faixa	1	0,77	0,75 ± 0,09	-3,22
Coabilidade	Na faixa	1	0,40	0,39 ± 0,02	-2,17
Gomosidade (N)	Mínimo	2	4,43	4,28 ± 0,42	-3,49
Mastigabilidade (N)	Mínimo	2	3,43	3,31 ± 0,29	-3,52
Resiliência	Máximo	2	0,16	0,16 ± 0,01	1,32
pH da massa	Mínimo	2	6,40	6,37 ± 0,02	-0,45
Gravidade específica da massa (g.cm ⁻³)	Mínimo	5	0,78	0,79 ± 0,01	1,08
pH do bolo	Na faixa	3	6,87	6,82 ± 0,05	-0,72
Acidez titulável total (meq de KOH.g ⁻¹ de amostra)	Na faixa	3	0,88	1,22 ± 0,06	27,56
<i>L</i> *	Mínimo	2	44,77	41,54 ± 0,64	-7,77
<i>a</i> *	Máximo	2	8,57	9,61 ± 0,56	10,82
<i>b</i> *	Mínimo	2	14,80	16,00 ± 0,81	7,51
Altura do bolo (mm)	Máximo	5	41,63	40,09 ± 1,54	-3,85
Volume específico (cm ³ .g ⁻¹)	Máximo	5	1,81	2,14 ± 0,07	15,56

Fonte: Autores (2022).

Tabela 8. Modelos matemáticos para as variáveis dependentes da massa e do muffin com significância ($P < 0,10$).

Variáveis dependentes	Modelo Matemático	R ²
Força de massa (N)	$1,81x_1 + 1,16x_3$	0,9205
Adesividade massa (N)	$-0,97x_1 - 0,54x_3$	0,9499
Área da força da massa (N.s)	$51,79x_1 + 33,67x_3$	0,8952
Área da adesividade (N.s)	$25,28x_1 - 2,95x_2 - 14,59x_3 - 65,43x_1x_2x_3$	0,8899
Firmeza (N)	$16,17x_1 + 8,31x_2 + 9,09x_3 + 31,59x_1x_3 - 99,34x_1x_2x_3$	0,9466
Dureza (N)	$22,31x_1 + 8,45x_2 + 15,97x_3 + 38,89x_1x_3 - 122,21x_1x_2x_3$	0,9315
Elasticidade	$0,85x_1 + 0,78x_2 + 0,54x_3 + 0,20x_1x_3 + 0,14x_2x_3 - 1,13x_1x_2x_3$	0,9665
Coesividade	$0,46x_1 + 0,42x_2 + 0,20x_3$	0,9118
Gomosidade (N)	$9,86x_1 + 4,56x_2 + 2,97x_3 + 12,40x_1x_3 - 42,31x_1x_2x_3$	0,9834
Mastigabilidade (N)	$8,64x_1 + 3,60x_2 + 1,67x_3 - 3,70x_1x_2 + 7,72x_1x_3 - 35,82x_1x_2x_3$	0,9873
Resiliencia	$0,23x_1 + 0,17x_2 + 0,08x_3 - 0,44x_1x_2x_3$	0,9400
pH da massa	$6,52x_1 + 6,44x_2 + 6,66x_3 - 0,54x_1x_3 - 0,76x_2x_3$	0,8260
Gravidade específica da massa (g.cm ⁻³)	$0,96x_1 + 0,77x_2 + 0,93x_3 + 0,16x_1x_2$	0,9121
pH do bolo	$7,21x_1 + 6,88x_2 + 6,76x_3 - 1,76x_1x_3 - 3,49x_1x_2x_3$	0,9463
Acidez titulável total (mg de KOH.g ⁻¹ de amostra)	$0,34x_1 + 0,93x_2 + 1,59x_3 - 1,36x_2x_3$	0,9794
<i>L</i> *	$64,92x_1 + 44,21x_2 + 50,68x_3 - 24,34x_1x_2 - 12,51x_1x_3$	0,9808
<i>a</i> *	$5,24x_1 + 8,98x_2 + 5,38x_3$	0,9868
<i>b</i> *	$26,07x_1 + 15,00x_2 + 12,64x_3 - 23,19x_1x_2$	0,9774
Volume específico (cm ³ .g ⁻¹)	$1,07x_1 + 1,76x_2 + 1,18x_3 + 1,19x_2x_3$	0,9353

Fonte: Autores (2022).

3.4 Análise centesimal da formulação otimizada e valor calórico total

O muffin otimizado foi caracterizado em relação à composição centesimal avaliando-se os teores de umidade, proteínas, lipídeos, cinzas, amido, açúcares totais e do muffin para a formulação otimizada. Para melhor compreensão sobre os efeitos das farinhas integrais sobre os componentes presentes neste tipo de produto, uma comparação com muffin padrão da literatura foi realizada. Ressaltamos que a formulação da literatura é relativamente próxima à utilizada neste experimento e foi desenvolvido pelo nosso grupo de pesquisa do Laboratório Integrado de Cereais e Lipídeos (LICEL).

De acordo com o descrito por Souza et al. (2022), a formulação do muffin padrão difere no tipo da farinha aplicada e na quantidade de água adicionada na formulação. Sendo que, o muffin otimizado neste trabalho possui farinha integral de sorgo vermelho com farinha integral de feijão carioca e o muffin padrão possui farinha de trigo refinada. Além disso, a quantidade de líquidos a ser utilizada em uma formulação de muffin sem glúten precisa ser maior quando comparada às formulações convencionais (com glúten), em função da alta hidratação requerida.

Avaliando-se os resultados da Tabela 9, pode-se destacar que a formulação otimizada se apresentou superior em 61 % para as fibras alimentares totais, 53 % para as cinzas e 32 % para a umidade. Outro fator benéfico foram os níveis inferiores evidentes para os açúcares totais em 37 % e para os lipídeos em 30 %, podendo ser justificado pelo balanço de massa da formulação em função da alta hidratação e dos maiores teores de água livre e entremeada no muffin otimizado. O teor de proteína apresentou uma pequena redução entre os muffins (otimizado e padrão), pois apesar da farinha de feijão ser rica em proteína

(Frota et al., 2009) conforme também é observado na Tabela 10, a contribuição desta leguminosa na composição do muffin otimizado foi de apenas 9 %.

Tabela 9. Composição centesimal e valor calórico total do muffin otimizado e padrão da literatura.

Componentes	Muffin otimizado*	Muffin padrão
Lipídeos (%)	12,49 ± 0,01	17,96 ± 0,10
Cinzas (%)	1,40 ± <0,01	0,91 ± 0,01
Amido (%)	24,36 ± <0,01	22,77 ± 2,77
Açúcares totais (%)	12,49 ± <0,01	19,94 ± 0,65
Fibra alimentar total (%)	9,48 ± 0,46	5,87 ± 2,92
Umidade (%)	33,35 ± 0,46	25,18 ± 0,33
Proteínas (%)	6,44 ± 0,06	7,38 ± 0,53
Valor total de calorias (kcal por porção de 60 g)	172	217
Imagem		
Fonte	Autores (2022)	Souza et al. (2022)

Valores correspondentes à média aritmética de três repetições ± desvio padrão.

Além disso, ao compararmos as formulações em base seca, o muffin otimizado apresenta um teor proteico de 9,66 % e o muffin padrão possui um teor total de proteínas de 9,82 %. Contudo, o teor de proteínas foi suficiente para o muffin otimizado ser considerado fonte de proteínas (> 6 g por 100 g) de acordo com a Resolução Diretoria Colegiada nº 54, de 12 de novembro de 2012, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (Brasil, 2012). Os teores de açúcares totais apresentaram um decréscimo, sendo justificado pelo balanço de massa e por reações químicas como a caramelização e a reação de Maillard. Além disso, a interação carboidrato-proteína e carboidrato-carboidrato (Damodaram & Parkin, 2017) dos açúcares com outros componentes podem ter dificultado a total solubilização para a quantificação. O alto teor de cinzas foi resultado do uso de farinhas 100 % integrais na formulação. Por fim, o alto teor de fibras alimentares totais foi advindo da farinha integral de sorgo vermelho, com valores próximos a 14,41 % (considerando dados da literatura) (Tabela 10).

O perfil nutricional do muffin otimizado é promissor por ter um alto teor de fibras alimentares, cinzas e proteínas. De acordo com a Resolução Diretoria Colegiada, RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde, alimentos que apresentem no mínimo 2,5 g de fibra alimentar por porção pode ser caracterizado como alto conteúdo de fibras. O mesmo se aplica às proteínas (>6 g/100 g), caracterizando o alimento como fonte de proteína. E em relação às cinzas, esta mesma resolução afirma que se ocorrer um aumento de no mínimo 10 % de minerais, o alimento é considerado aumentado em minerais, o que pode ser aplicado a este trabalho que visto que ocorreu um aumento de 53 % no teor de cinzas quando comparado à formulação padrão da literatura.

Tabela 10. Composição centesimal da farinha de trigo refinada, da farinha integral de sorgo vermelho e do grão cru de feijão carioca, via literatura.

Farinha de trigo de grão inteiro			
Composição	Teor (%)	Fonte	
Umidade	10,08		
Carboidratos digeríveis	75,65		
Proteínas	11,26		
Lipídeos	1,00	Jaekel, Schmiele & Chang (2020)	
Fibra alimentar	1,36		
Amido resistente	1,16		
Cinzas	0,45		
Farinha integral de sorgo vermelho			
Composição	Teor (%)	Fonte	
Umidade	13,69		
Cinzas	1,41		
Proteínas	11,06		
Lipídeos	3,60		
	Fibras insolúveis	14,09	Oliveira et al. (2022)
	Fibras solúveis	0,32	
Carboidratos	Amido resistente	1,01	
	Amido solúvel	68,31	
Feijão carioca (base seca)			
Composição	Teor (%)	Fonte	
Umidade	12,32		
Cinzas	3,94		
Lipídeos	3,76	Silva et al. (2021)	
Proteínas	20,33		
Carboidratos digeríveis	36,42		
Fibras alimentares	35,91		

Fonte: Autores (2022).

4. Conclusão

Por fim, pode-se concluir que as farinhas isentas de glúten utilizadas no estudo, farinha integral de arroz, sorgo vermelho e feijão carioca promoveram mudanças significativas em todos os parâmetros avaliados, através da superfície de resposta. A Metodologia de Superfície de Resposta apresentou-se como uma estratégia experimental satisfatória para o desenvolvimento de muffins com uso de farinhas alternativas. Os resultados do ponto otimizado foram satisfatórios, pois 75% dos modelos matemáticos preditivos foram validados. Os demais 25%, embora não validados matematicamente, devem ser avaliados sob outros aspectos, principalmente de processo e de bom senso, pois os valores preditos e experimentais apresentaram valores absolutos muito pequenos, influenciando diretamente nas elevadas variações. A formulação otimizada foi obtida com o uso de 91% farinha integral de sorgo vermelho e 9 % de farinha integral de feijão carioca, considerando um grau de desejabilidade de 87,84%. Esta formulação apresentou alto teor de fibras alimentares, proteína e cinzas, sugerindo que o muffin desenvolvido tem

excelentes características nutricionais. Validando o produto desenvolvido como uma alternativa positiva de consumo, apresenta-se aqui um muffin que atende os indivíduos portadores de enteropatias associadas ao glúten e pessoas adeptas a uma dieta isenta de glúten por razões ideológicas, filosóficas, culturais, nutricionais ou sensoriais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e ao Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) pelo suporte institucional. Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro, protocolo 424938/2016-2, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo auxílio financeiro (código de financiamento 001) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pela bolsa de estudos de S.R. Moreira (identificador 7624).

Referências

- AACCI. (2010). Associação Americana de Químicos de Cereais Internacional. Métodos Aprovados da Associação Americana de Químicos de Cereais. (11ª ed.) AACCI, São Paulo.
- ABIMAPI. Associação Brasileira de Indústrias de Biscoitos, Massa alimentícias, Pães & Bolos Industrializados. (2022). Anuário BB editora. https://abimapi.com.br/anuario/Anuario_2022_Digital.pdf.
- ABIMAPI. Associação Brasileira de Indústrias de Biscoitos, Massa alimentícias, Pães & Bolos Industrializados. (2021). Anuário BB editora. https://abimapi.com.br/cloud/ABIMAPI_Anu%c3%a1rio_2021.pdf.
- ACELBRA. Associação dos Celíacos do Brasil (2022). O que é a doença celíaca. <https://acelbramg.com.br/index.php/o-que-e-a-doenca-celiaca/>.
- AOAC. (2019). Official Methods of Analysis of AOAC International. 21ª ed. Association of Official Analysis Chemists International, Gaithersburg.
- Barbhai, M. D., Hymavathi, T. V., Kuna, A., Mulinti, S., & Voliveru, S. R. (2021). Quality assessment of nutri-cereal bran rich fraction enriched buns and muffins. *Journal of Food Science and Technology*, 59, 2231–2242. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-021-05236-9>.
- Bennion, E. B., & Bamford, G. S. T. (1997). The technology of cake making. *Springer Science & Business Media*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-6690-5>.
- Bozdogan, N., Ormanli, E., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2022). Pear pomace powder added quinoa-based gluten-free cake formulations: effect on pasting properties, rheology, and product quality. *Food Science and Technology*, 42. e39121 <https://doi.org/10.1590/fst.39121>.
- Brasil. (2012) Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 54 de 12 de novembro de 2012. Dispõe sobre o regulamento técnico sobre informação nutricional complementar. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF.
- Brasil. (2022) Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 719 de 01 de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários das misturas para o preparo de alimentos e dos alimentos prontos para o consumo. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF.
- Brasil. (2022) Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 712 de 01 de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos de composição e rotulagem dos alimentos contendo cereais e pseudocereais para classificação e identificação como integral e para destaque da presença de ingredientes integrais. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF.
- Cauvain, S. P. (2015). Technology of Breadmaking. 20(3), 408. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14687-4>.
- Chen, C., Sun-Waterhouse, D., Zhang, Y., Zhao, M., & Sun, W. (2020). The chemistry behind the antioxidant actions of soy protein isolate hydrolysates in a liposomal system: Their performance in aqueous solutions and liposomes. *Food Chemistry*, 11, 323-126789. <https://doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126789>.
- Chen, Y., McGee, R., Vandemark, G., Brick, M., & Thompson, H. J. (2016). Dietary fiber analysis of four pulses using AOAC 2011.25: implications for human health. *Nutrients*. 8(12), 829. <https://doi.org/10.3390/nu8120829>.
- Chompoorat, P., Rayas-Duarte, P., Hernández-Estrada, Z. J., Phetcharat, C., & Khamsee, Y. (2018). Effect of heat treatment on rheological properties of red kidney bean gluten free cake batter and its relationship with cupcake quality. *Journal of food science and technology*, 55(12), 4937-4944. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3428-z>.
- Contini, G. K., Simões, D. R. S., Los, P. R., Kotovicz, V., Bedin, A. C., Martins, A., & Demiate, I. M. (2022). High nutritional value muffins produced with wholemeal rye (*Secale cereale* L.) and wholemeal bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour mix. *Food Science and Technology*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.30022>.
- Correia, V. T. V., D'Angelis, D. F., Rodrigues, C. G., Amante, P. R., Queiroz, V. A. V., Ferreira, A. A., & Fante, C. A. (2020). Caracterização físico-química e tecnológica da farinha extrusada de sorgo do genótipo BRS 305. *Research, Society and Development*, 9(8). e115984963. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.4963>.
- Damodaram, S., & Parkin, K. L. (2017). Fennema's Food Chemistry. 1107. 978-1482208122.
- Das, A. B., & Bhattacharya, S. (2019). Characterisation of the batter and gluten-free cake from extruded red rice flour. *LWT—Food Science and Technology*, 102, 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.026>.

- Deleu, L. J., Wilderjans, E., Van Haesendonck, I., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2017). 15N-labeling of egg proteins for studying protein network formation during pound cake making. *Cereal Chemistry*, 94(3), 485-490. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-07-16-0183-R>.
- Derringer, G., & Suich, R. 1980. Simultaneous optimization of several response variables. 12(4), 214-219.
- Eburuche, O. B. Attaugwu, R. N., Ufondu, H. E., & Uvere, P. O. (2019). Composition and hardness of malting red and white kaffir sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] dried under the sun. *Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3513–3523. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03843-1>.
- El Sohaimy, S. A., Brennan, M. A., Darwish, A. M., & Brennan, C. S. (2021). Chickpea protein isolation, characterization and application in muffin enrichment. *International Journal of Food Studies*, 10. <https://doi.org/10.7455/ijfs/10.SI.2021.a5>.
- Espitia-Hernández, P., Chavez Gonzalez, M. L., Ascacio-Valdés, J. A., Dávila-Medina, D., Flores-Naveda, A., Silva, T., Chácon, X. R., & Sepúlveda, L. (2022). Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) as a potential source of bioactive substances and their biological properties. *Critical Food Science and Nutrition*, 62(8), 2269-2280. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1852389>.
- Faggian, L., de Aguiar, E. V., da Silveira Araujo, M. B., de Araujo, V. A., & Capriles, V. D. (2020). Potencial da farinha de feijão no desenvolvimento de pão sem glúten com valor nutricional agregado. *Research, Society and Development*, 9(11), e98991110929-e98991110929. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10929>.
- Ferreira, F., & Inácio, F. Patologia associada ao trigo: Alergia IgE e não IgE mediada, doença celíaca (2018). *Revista Portuguesa de Imunoalergologia*. 26 (3), 171-187.
- Food Ingredients Brasil. (2017). Dossiê dos espessantes. *Food Ingredients Brasil*, nº 40. https://revista-fi.com/upload_arquivos/201703/2017030190080001489666223.pdf.
- Föste, M., Nordlohne, S. D., Elgeti, D., Linden, M. H., Heinz, V., Jekle, M., & Becker, T. (2014). Impact of quinoa bran on gluten-free dough and bread characteristics. *European Food Research and Technology*, 239(5), 767-775. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2269-x>.
- Frota, K. M. G., et al. (2009). Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na elaboração de produtos de panificação. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 30(1), 44-50. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009005000003>.
- Gularte, M. A., Hera, E. D. L., Gomez, M., & Rosell, C. M. (2012). Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT - Food Science and Technology*, 48, 209–214. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.015>.
- Hill, I. D., et al. (2016). NASPGHAN clinical report on the diagnosis and treatment of gluten-related disorders. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 63(1), 156-65. <https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000001216>.
- Iqbal, A., Khalil, I. A., & Shah, H. (2003). Nutritional yield and amino acid profile of rice protein as influenced by nitrogen fertilizer. *Sarhad Journal of Agriculture* (Pakistan).
- Ithivadhanapong, P., Jantathai, S., & Schleining, G. (2016). Improvement of physical properties of gluten-free steamed cake based on black waxy rice flour using different hydrocolloids. *Journal of Food Science and Technology*, 53(6), 2733–2741. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2245-5>.
- Jaekel, L. Z., Schmiel, M., & Chang, Y. K. (2020). Impacts of resistant starch and the enzyme transglutaminase on the technological characteristics of spaghetti. *Research, Society and Development*. 9(8), e891986219. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6219>.
- Jia, C., Huang, W., Ji, L., Zhang, L., Li, N., & Li, Y. (2014). Improvement of hydrocolloid characteristics added to angel food cake by modifying the thermal and physical properties of frozen bater. *Food Hydrocolloids*, 41, 227-232. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.03.033>.
- Jiang, Y., Zhang, H., Qi, X., & Wu, G. (2020). Structural characterization and antioxidant activity of condensed tannins fractionated from sorghum grain. *Journal of Cereal Science*, 92, e102918. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102918>.
- Jyotsna, R., Soumya, C., Swati, S., & Prabhasankar, P. (2016). Rheology, texture, quality characteristics and immunochemical validation of millet based gluten free muffins. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(4), 762-772. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9361-9>.
- Kaur, M., Kaur, M., & Kaur, H. (2022). Apple peel as a source of dietary fiber and antioxidants: effect on batter rheology and nutritional composition, textural and sensory quality attributes of muffins. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(3), 2411-2421. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01329-x>.
- Khorasani, S. M., Alami, M., Kashanineghad, M., & Tabarestani, H. S. (2020). Comparison of the effect of microwave treatment of millet grain and the addition of xanthan gum on the characteristics of the batter and the physicochemical and sensorial properties of gluten-free cake. *Journal of Food Research*, 30(3), 169-187.
- Liang, M. H., He, Y. J., Liu, D. M., & Jiang, J. G. (2021). Regulation of carotenoid degradation and production of apocarotenoids in natural and engineered organisms. *Crit Rev Biotechnol*, 41(4), 513-534. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873242>.
- Lima, C. T., Lima, N. G., Rodrigues, S. M., & Schmiele, M. (2022). Enteropatias e perspectivas de um mundo sem glúten como alternativa: uma revisão. *I Simpósio de Ciência e Tecnologia de Alimentos – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri*.
- López-Alarcón, C. A., Cerdán-Leal, M. A., Beristain, C. I., Pascual-Pineda, L. A., Azuara, E., & Jiménez-Fernández, M. (2019). The potential use of modified quinoa protein isolates in cupcakes: physicochemical properties, structure and stability of cupcakes. *Food & function*, 10(7), 4432-4439. <https://doi.org/10.1039/C9FO00852G>.
- Los, F. G. B., Zielinski, A. A. F., Wojciechowski, J. P., Nogueira, A., & Demiate, I. M. (2018). Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. *Current Opinion in Food Science*, 19, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.010>.

- Luthria, D. L., & Pastor-Corrales, M. A. (2006). Phenolic acids content of fifteen dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 205-211. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.09.003>.
- Madrera, R. R., Campa Negrillo, A., Suárez Valles, B., & Ferreira Fernández, J. J. (2021). Phenolic content and antioxidant activity in seeds of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Foods*, 10(4), 864. <https://doi.org/10.3390/foods10040864>.
- Martínez-Cervera, S., Salvador, A., Muguerza, B., Moulay, L., & Fiszman, S. M. (2011). Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 729-736. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.035>.
- Matos, M. E., Sanz, T., & Rosell, C. M. (2014). Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins. *Food Hydrocolloids*, 35, 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.05.007>.
- Miafo, A. P. T., Koubala, B. B., Muralikrishna, G., Kansci, G., & Fokou, E. (2022). Non-starch polysaccharides derived from sorghum grains, bran, spent grain and evaluation of their antioxidant properties with respect to their bound phenolic acids. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 28, 100314. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2022.100314>.
- Montoya, C. A., Lallès, J. P., Beebe, S., & Leterme, P. (2010). Phaseolin diversity as a possible strategy to improve the nutritional value of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *Food Research International*, 43(2), 443-449. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.040>.
- Nadal, J., Ávila, S., Boing, L., Pereira, M. M., de Quadros, D. A., Gibbert, L., & Ferreira, S. M. R. (2021). Influence of binary mixtures of cassava starch and rice flour on the chemical and sensory characteristics of gluten-free bread. *Research, Society and Development*, 10(3), e13910313120-e13910313120. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13120>.
- Nishinari, K., Kohyama, K., Kumagai, H., Funami, T., & Bourne, M. C. (2013). Parameters of texture profile analysis. *Food Science and Technology Research*, 19(3), 519-521. <https://doi.org/10.3136/fstr.19.519>.
- Nurzyńska-Wierdak, R., Łabuda, H., Buczkowska, H., & Sałata, A. (2019). Pericarp of colored-seeded common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties a potential source of polyphenolic compounds. *Agronomy Research*, 17(5), 2005-2015. <https://doi.org/10.15159/ar.19.187>.
- Oliveira Teotônio, D., Rodrigues, S. M., Leoro, M. G. V., Pereira, P. A. P., & Schmiele, M. (2021). Potentialities of using cryoprotectants in gluten-free frozen dough and microwave baking as an emerging technology. *Research, Society and Development*, 10(6), e12410615674. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15674>.
- Oliveira, L. D. L., Oliveira, G. T., de Alencar, E. R., Queiroz, V. A. V., & de Alencar Figueiredo, L. F. (2022). Physical, chemical, and antioxidant analysis of sorghum grain and flour from five hybrids to determine the drivers of liking of gluten-free sorghum breads. *LWT*, 153, e112407. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112407>.
- Pathaw, P. M. S., Mahanta, C. L., & Bhattacharya, S. (2021). Characteristics of gluten-free rice batter and baked cake made from the flour of heat-moisture-treated paddy of pigmented rice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3), e15206. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15206>.
- Paucar-Menacho, L., et al. (2022). Performance of Thermoplastic Extrusion, Germination, Fermentation, and Hydrolysis Techniques on Phenolic Compounds in Cereals and Pseudocereals. *Foods*, 11(13), 233. <https://doi.org/10.3390/foods11131957>.
- Pauter, P., Róžańska, M., Wiza, P., Dworzak, S., Grobelna, N., Sarbak, P., & Kowalczewski, P. (2018). Effects of the replacement of wheat flour with cricket powder on the characteristics of muffins. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 17(3), 227-233. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.0570>.
- Peleg, M. (2019). The instrumental texture profile analysis revisited. *Journal of Texture Studies*, 50(5), 362-368. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12392>.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Pereira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. UFSM.
- Quirce, S. P. (2014). Efecto de la fuerza de gel del Hidroxi-Propil-Metil Celulosa (HPMC) sobre la calidad del pan sin gluten. *Dissertação* - Universidad de Valladolid.
- Rodrigues, M. I., & Iemma, A. F. (2014). Projeto experimental e otimização de processos. Imprensa CRC.
- Schmiele, M., Da Silva, L. H., Da Costa, P. F. P., Rodrigues, R. D. S., & Chang, Y. K. (2011). Influência da adição de farinha integral de aveia, flocos de aveia e isolado proteico de soja na qualidade tecnológica de bolo inglês. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 29(1). <http://dx.doi.org/10.5380/cep.v29i1.22751>.
- Silva, J. D. R., Rosa, G. C., de Andrade Neves, N., Leoro, M. G. V., & Schmiele, M. (2021). Production of sourdough and gluten-free bread with brown rice and carioca and cowpea beans flours: biochemical, nutritional and structural characteristics. *Research, Society and Development*, 10(16), e303101623992. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10n16.23992>.
- Silva, J. D. R., Rosa, G. C., Nathália d. A. N., Leoro, M. G. V., & Schmiele, M. (2021). Production of sourdough and gluten-free bread with brown rice and carioca and cowpea beans flours: biochemical, nutritional and structural characteristics. *Research, Society and Development*, 10(16), e303101623992. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23992>.
- Silva, K. A. da. (2017). Análises reológicas e físico-químicas da farinha de trigo de seis diferentes cultivares recomendadas para o estado do Paraná (safra 2016). *Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Silva, P. A., Melo, W. D. S., Cunha, R. L., Cunha, E. F. M., Lopes, A. S., & Pena, R. D. S. (2016). Caracterização das raízes e féculas de três variedades de mandioca produzidas no estado do Pará. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 18(2), 147-154.
- Silva, S. J. M., et al. (2022). Optimization and physicochemical characterization of muffins added with coffee derivatives. *Research, Society and Development*, 11(9), e32011931793. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31793>.

- Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2016). Development of eggless gluten-free rice muffins utilizing black carrot dietary fibre concentrate and xanthan gum. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 1269–1278. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2103-x>.
- Souza, A. R., & Schmiele M. (2021). Custard apple puree, fructooligosaccharide and soy protein hydrolysate as alternative ingredients in low carb pound cake. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 3632–3644. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-021-05155-9>.
- Souza, E. C. de., et al. (2022). Desenvolvimento de muffin com incorporação de farinha de bagaço de azeitona, azeite extra virgem e proteína de soja hidrolisada. *Research, Society and Development*, 11(2), e58511226012. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.26012>.
- Souza, N. C., et al. (2018). Textural, physical and sensory impacts of the use of green banana puree to replace fat in reduced sugar pound cakes. *LWT - Food Science and Technology*, 89, 617-623. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.050>.
- Souza, R. C., & Andrade, C. T. (2000). Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 10(1), 24-30. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282000000100006>.
- Srichuwong, S., Sunarti, T. C., Mishima, T., Isono, N., & Hisamatsu, M. (2005). Starches from different botanical sources II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. *Carbohydrate polymers*, 62(1), 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.003>.
- Tedrus, G. D. A. S., et al. (2001). Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 21(1), 20-25. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612001000100006>.
- Teotônio, D. d. O., et al. (2021). Fructo-oligosaccharides, hydrolyzed soy protein and yeast (*Saccharomyces* sp.) extract as potential cryoprotectants in gluten-free frozen dough and bread quality. *Research, Society and Development*, 10(3), e44510313556. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13556>.
- Teotônio, D. d. O. Rodrigues., S. M., Leoro, M. G. V., Pereira, P. A. P., & Schmiele, M. (2021). Potentialities of using cryoprotectants in gluten-free frozen dough and microwave baking as an emerging technology. *Research, Society and Development*, 10(6), e12410615674. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15674>.
- Tóth, M., Kaszab, T., & Meretei, A. (2022). Texture profile analysis and sensory evaluation of commercially available gluten-free bread samples. *European Food Research and Technology*, 248(6), 1447-1455. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03944-2>.
- Wong, D. W. S. (2018). Mechanism and Theory in Food Chemistry, Second Edition. (2), 450. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50766-8>.
- Wu. N. N., Li, R., Li, Z.-J., & Tan, B. (2022). Effect of germination in the form of paddy rice and brown rice on their phytic acid, GABA, γ -oryzanol, phenolics, flavonoids and antioxidant capacity. *Food Research International*, 159, 111603. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111603>.
- Xu, B., & Chang, S. K. C. (2009). Total Phenolic, Phenolic Acid, Anthocyanin, Flavan-3-ol, and Flavonol Profiles and Antioxidant Properties of Pinto and Black Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as Affected by Thermal Processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(11), 4754–4764. <https://doi.org/10.1021/jf900695s>.
- Yu, X., Yang, T., Qi, Q., Du, Y., Shi, J., Liu, X., Liu, Y., Zhang, H., Zhang, Z., & Yan, N. (2021). Comparison of the contents of phenolic compounds including flavonoids and antioxidant activity of rice (*Oryza sativa*) and Chinese wild rice (*Zizania latifolia*). *Food Chemistry*, 344, e128600. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128600>.
- Yu, C., et al. (2021). Effect of cooking pressure on phenolic compounds, gamma-aminobutyric acid, antioxidant activity and volatile compounds of brown rice. *Journal of Cereal Science*, 97, 103127. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103127>.