

Otimização e caracterização físico-química de bolo tipo muffin adicionado de derivados de café (*Coffea arabica* L.)

Optimization and physicochemical characterization of muffinst added with coffee derivatives (*Coffea arabica* L.)

Optimización y caracterización fisicoquímica de pastel tipo muffin adicionada con derivados del café (*Coffea arabica* L.)

Recebido: 15/06/2022 | Revisado: 30/06/2022 | Aceito: 01/07/2022 | Publicado: 10/07/2022

Sandra Júnia Monteiro Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5222-8734>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: sajumonteiro@yahoo.com.br

Adrielle Reis de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1102-1902>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: adrielle.reis@ufvjm.edu.br

Renata Cristina Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6459-8553>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: rodrigues.renata@ufvjm.edu.br

Maíra Valquielly Fernandes Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8561-0187>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: mairafernandesca@hotmial.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

Nísia Andrade Villela Dessimoni Pinto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7485-3757>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: nisiavillela@yahoo.com.br

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

O consumo de bolo cresce anualmente e uma forma de ampliar a oferta destes produtos é através do uso de ingredientes que conferem sabores específicos, como por exemplo o café. O presente estudo visou incorporar café torrado moído, extrato e óleo de café torrado em bolo tipo muffin. Tais ingredientes foram incorporados à massa do bolo por meio de 18 formulações geradas pelo Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), sendo realizadas as análises de pH e gravidade específica (GE) na massa e volume específico, textura (firmeza e dureza), umidade, cor instrumental (do miolo e da crosta) e atividade de água, no bolo. Observou-se que as principais respostas afetadas foram a GE na massa, a firmeza e a cor. A partir dos resultados do delineamento foram otimizadas duas formulações. Para as formulações otimizadas e a padrão foram realizadas as análises anteriores mais a composição centesimal, de cafeína e das características alveolares do miolo. As formulações otimizadas obtiveram menores valores de GE, firmeza e dureza em relação à padrão, resultando em melhores características físicas desejáveis para o bolo. Houve aumento significativo no teor de cinzas, lipídeos, umidade e fibras alimentares das formulações otimizadas em relação a padrão. O aumento no teor de fibras proporcionou uma redução no teor de carboidratos digeríveis. Com o uso dos derivados de café foi possível manter a estrutura alveolar do miolo das fatias em relação à mostra padrão. Os resultados demonstraram que o café é um interessante ingrediente alimentar com potencial para ser incorporado a massa dos bolos.

Palavras-chave: Alvéolos; Cafeína; Desejabilidade; Firmeza; Gravidade específica.

Abstract

The consumption of cake grows annually and one way to expand the offer of these products is through the use of ingredients with specific flavors, such as coffee. The present study aimed to incorporate ground roasted coffee, extract and roasted coffee oil in muffin. Such ingredients were incorporated into the cake mass by 18 formulations generated by the Central Rotational Composite Design (DCCR). Subsequently, pH and specific gravity (GE) analyzes were carried out on the mass and analyzes of specific volume, texture (firmness and hardness), humidity, instrumental color (of the crumb and crust) and water activity, in the cake. It was observed that the main affected responses were the GE in the mass the firmness and the color. From the results of the design, two formulations were optimized. For the optimized formulations and the standard, analyzes were performed that had significance, centesimal composition, caffeine and the alveolar characteristics of the kernel. The optimized formulations obtained lower values of GE, firmness and hardness in relation to the standard. Regarding centesimal composition, there was a significant increase in the ash, lipids, moisture and fibers in formulations optimized in relation to standard. The presence of coffee fibers provided a reduction in the content of digestible carbohydrates. With the use of coffee derivatives it was possible to maintain the honeycomb structure of the slices in relation to the standard sample. The data showed that coffee is an interesting food ingredient with potential to be incorporated into the cake dough.

Keywords: Alveoli; Caffeine; Desirability; Firmness; Specific gravity.

Resumen

El consumo de pasteles crece anualmente y una manera de ampliar la oferta de estos productos es a través del uso de ingredientes que otorgan sabores específicos, como el café. El presente estudio tuvo como objetivo incorporar café tostado molido, extracto y aceite de café tostado en un pastel tipo muffin. Los ingredientes se incorporaron a la masa de pastel en 18 formulaciones generadas por el Diseño Rotacional Compuesto Central (DCCR). Posteriormente, se realizaron análisis de pH y gravedad específica (GE) a la masa y análisis de volumen específico, textura (firmeza y dureza), humedad, color instrumental (de la miga y corteza) y actividad de agua, en el pastel. Se observó que las principales respuestas afectadas fueron GE en la masa, firmeza y color. A partir de los resultados del diseño se optimizaron dos formulaciones. Para las formulaciones optimizadas y el estándar se realizaron los análisis que tuvieron significancia, además de composición próxima, de cafeína y de las características alveolares de la miga. Las formulaciones optimizadas obtuvieron menores valores de GE, firmeza y dureza en relación con el estándar. En cuanto a la composición próxima, hubo un aumento significativo en el contenido de cenizas, lípidos, humedad y fibra dietética de las formulaciones optimizadas con relación al estándar. La presencia de fibras de café proporcionó una reducción en el contenido de carbohidratos digeribles. Los resultados mostraron que el café es un ingrediente alimentario interesante con el potencial de incorporarse a la masa para pasteles.

Palabras clave: Alvéolos; Cafeína; Deseabilidad; Firmeza; Gravedad específica.

1. Introdução

Os bolos industrializados ocupam o quarto lugar em vendas no comércio brasileiro dentre os produtos de panificação. Somente no ano de 2021 foram vendidos 1,368 bilhão de reais em bolos, em um volume de 45 mil toneladas (ABIMAPI (Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, 2022)). Dentre as variedades de bolo, o tipo muffin, bolos pequenos, vendidos em embalagens individuais, têm aumentado significativamente a popularidade (Souza et al., 2022). O produto ocupa o terceiro lugar entre os produtos no café da manhã e espera-se que o mercado cresça a uma taxa de 3% ao ano no período de 2021-2025, impulsionada pela crescente demanda por lanches porcionados (Rodríguez et al., 2022).

Os muffins, assim como outros bolos, são ricos em açúcar e gordura, mas pobre em fibras, antioxidantes e minerais. Recentes pesquisas visam a incorporação de ingredientes não convencionais na sua formulação, tais como fontes de fibras, frutas e vegetais, aumentando assim o apelo do produto para alimentação mais saudável, motivo de grande interesse por parte dos consumidores (Grasso et al., 2021). No entanto, a qualidade dos bolos está relacionada à maciez na textura, a qual não deve ser alterada durante a vida de prateleira do produto. O bolo deve ter um miolo homogêneo, superfície uniforme, volume adequado, palatabilidade e sabor agradável, e deve ser de fácil processamento, sendo um desafio para a indústria conciliar os fatores tecnológicos ao valor nutricional (Esteller et al., 2006).

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo, com consumo estimado em 3,5 bilhões de xícaras ao dia e uma das principais commodities comercializadas. É uma bebida conhecida como estimulante, característica atribuída principalmente à presença da cafeína. Além disso, possui sabor e aromas únicos, consequência da composição química complexa no grão cru e torrado. Além da cafeína, outros 2000 compostos tais como trigonelina, ácidos clorogênicos,

vitaminas, compostos voláteis são responsáveis pela complexidade do aroma da bebida e seus efeitos bioativos, tais como atividade antioxidante, anti-inflamatória, antimicrobiana, antiviral, anticarcinogênica, dentre outras (Santos et al., 2021).

Os grãos de café torrado possuem elevada atividade antioxidante devido a liberação de compostos fenólicos ligados e a geração de novos compostos, como os fenilindanos. A interação entre compostos fenólicos, fibras e proteínas presentes no grão influenciam a biodisponibilidade e a bioatividade de compostos bioativos e contribuem para o valor nutritivo da bebida (Wu et al., 2022).

Os lipídios estão entre os componentes mais abundantes do café, respondendo por 3,2 a 11% do total de grãos verdes e 8,6 a 17% do café torrado, contém a maior parte dos compostos voláteis responsáveis pelo aroma e contribuem para a viscosidade do café. Os triacilgliceróis são os principais componentes do óleo de café (cerca de 75%), que também apresenta de 15 a 18% da matéria insaponificável, composta por hidrocarbonetos, esteróides e tocoferóis. O óleo de café contém também cafeína, diterpenos e ácidos clorogênicos. Os dois últimos, somados aos tocoferóis, conferem a essa fração do café torrado, elevada capacidade antioxidante (Böger et al., 2021), além de efeito antimicrobiano, com capacidade de reduzir o crescimento micelial e a esporulação dos fungos *Penicillium roqueforti* e *Rhizopus stolonifer* e atividade antibacteriana frente as bactérias *Escherichia coli* e *E. faecalis* (Silva et al., 2020).

Como o café é um produto natural, rico em compostos bioativos, de sabor único e característico, com grande aceitação mundial e diante da popularidade significativamente crescente do bolo tipo muffin, este estudo visou otimizar a formulação de muffins com adição de derivados do café. Para isso, foi incorporada à massa do bolo, o café torrado moído, o extrato de café e o óleo de café torrado, utilizando-se a Metodologia de Superfície de Resposta através de um Delineamento Composto Central Rotacional, a partir de uma formulação padrão. Posteriormente foram verificados os parâmetros de qualidade tecnológica e propriedade nutricional do produto.

2. Metodologia

Os ingredientes para preparo dos bolos tipo muffins foram farinha de trigo tipo 1, sacarose, gordura vegetal hidrogenada, ovos *in natura*, café torrado moído extraforte, óleo de café torrado, emulsificante (mistura de monoglicerídeos destilados, estearato de potássio, monoestearato de sorbitana e monoestearato de polioxietileno sorbitano) e fermento químico, os quais foram adquiridos no comércio local da cidade de Diamantina – MG.

2.1 Delineamento experimental

Para se obter as formulações do bolo tipo muffin foi realizado um planejamento experimental utilizando o delineamento composto central rotacional (DCCR) de segunda ordem (Rodrigues & Iemma, 2005). Desta forma, foram avaliados o desempenho das diferentes proporções das variáveis independentes: X_1 = café torrado moído, X_2 = extrato de café e X_3 = óleo de café torrado sobre a massa e o bolo. Para realizar este delineamento foram utilizados 5 níveis codificados: $-\alpha$, -1 , 0 , $+1$, $+\alpha$. O valor de α foi determinado em função do número de variáveis independentes ($n = 3$), sendo definido pela Equação 1:

$$\alpha = (2^n)^{1/4} = (2^3)^{1/4} = 1,68 \quad (\text{Equação 1})$$

Os valores entre os limites inferior e superior de cada variável independente foram instituídos a partir de dados da literatura e/ou de testes preliminares realizados. As proporções do café torrado moído foram calculadas em relação à substituição da farinha de trigo. As proporções do extrato de café foram calculadas em relação à substituição da água. As proporções do óleo de café torrado foram calculadas em base da farinha.

O extrato de café foi preparado com o mesmo café torrado moído utilizado para adição da formulação do bolo. A proporção de café torrado moído e água filtrada em ebulição utilizado para a obtenção do extrato foi de 10:90, respectivamente, o qual foi obtido pelo método de filtração. Em seguida, o extrato foi resfriado à temperatura ambiente para adição à massa.

O planejamento experimental foi constituído por 18 ensaios (Tabela 1), contendo diferentes proporções das variáveis independentes, que variaram de 0 a 25 g para o café torrado moído, 0 a 45 g de extrato de café e de 0 a 0,6 mL de óleo de café torrado, em valores reais. A partir da análise das respostas obtidas para as 18 formulações de bolos, foi realizada a análise de Superfície de Resposta que serviu de base para a proposição de duas formulações otimizadas.

Tabela 1. Delineamento composto central rotacional com 3 variáveis independentes para a elaboração dos bolos tipo muffin.

Ensaio	Níveis codificados			Níveis reais		
	x ₁	x ₂	x ₃	X ₁ (m/m)	X ₂ (m/m)	X ₃ (v/m)
1	-1	-1	-1	5,06	9,10	0,012
2	1	-1	-1	19,90	9,10	0,012
3	-1	1	-1	5,06	35,90	0,012
4	1	1	-1	19,90	35,90	0,012
5	-1	-1	1	5,06	9,10	0,048
6	1	-1	1	19,90	9,10	0,048
7	-1	1	1	5,06	35,90	0,048
8	1	1	1	19,90	35,90	0,048
9	-1,68	0	0	0,00	22,50	0,030
10	1,68	0	0	25,00	22,50	0,030
11	0	-1,68	0	12,50	0,00	0,030
12	0	1,68	0	12,50	45,00	0,030
13	0	0	-1,68	12,50	22,50	0,000
14	0	0	1,68	12,50	22,50	0,060
15	0	0	0	12,50	22,50	0,030
16	0	0	0	12,50	22,50	0,030
17	0	0	0	12,50	22,50	0,030
18	0	0	0	12,50	22,50	0,030
Padrão	-	-	-	0,00	0,00	0,00

Legenda: x₁ e X₁ = café torrado moído; x₂ e X₂ = extrato de café; x₃ e X₃ = óleo de café torrado. Fonte: Autores (2022).

2.2 Preparação da massa dos bolos

Os bolos foram preparados de acordo com a delineamento apresentado, sendo ainda adicionados a farinha de trigo (de acordo com cada ensaio) e gordura vegetal hidrogenada (134,0 g), sacarose (198,8 g), fermento químico (8,4 g) e emulsificante (1,7 g), em quantidades fixas para todas as formulações.

Para o preparo dos bolos foi utilizada a metodologia de dois estágios, fase creme e fase massa, adaptada de Bennion & Bamford (2013). Na primeira fase foram homogeneizadas a gordura vegetal hidrogenada, a sacarose, o emulsificante e o ovo em uma batedeira planetária (Orbit Kitchen 600, Cadence®) na velocidade 6 por 3 minutos. Posteriormente, na segunda fase, foram adicionados os demais ingredientes, exceto o fermento químico, e realizada a bateção na velocidade 3 por mais 2 minutos. Após, o fermento químico foi adicionado e a incorporação ocorreu velocidade 1 por mais 20 segundos. Porções de 50

g de massa do bolo tipo muffin foram distribuídas em formas de papel e inseridas dentro de recipientes de alumínio e levadas ao forno a 185 °C por 35 minutos, alíquotas da massa (sem fornecer) foram separadas para análises.

2.3 Análises físico-químicas das massas dos bolos

Foram realizadas as análises de pH e gravidade específica na massa, de acordo com os métodos 02-52.01 e 55-50.01 (AACCI, 2010), respectivamente. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.4 Análises físico-químicas dos bolos

Nos bolos foram realizadas as análises de textura instrumental (firmeza e dureza), cor instrumental (da crosta e do miolo), atividade de água, volume específico (VE) e umidade. Todas as análises foram realizadas em triplicata, exceto a para textura, para a qual foram realizadas nove repetições.

A textura instrumental, avaliando-se os parâmetros firmeza e dureza, foi determinada conforme o método 74-09.01 (AACCI, 2010), utilizando-se o texturômetro TA.XT Plus. A análise foi realizada no dia seguinte a fabricação do bolo. Inicialmente os bolos foram fatiados em um fatiador FPV129 (Venâncio), em fatias com 12 mm de espessura. Duas fatias foram submetidas à compressão. Os parâmetros utilizados foram: plataforma Heavy Duty Platform (HDP/90), probe cilíndrica P36, velocidade de pré-teste de 1,0 mm/s, velocidade de teste de 1,0 mm/s, velocidade de pós-teste de 10,0 mm/s, distância de compressão de 40 % e limiar de detecção de 0,049 N.

A análise de cor instrumental nos bolos foi determinada conforme o método descrito por Schmiele et al. (2011), através do colorímetro espectrofotométrico CM5 (Konica Minolta) previamente calibrado, utilizando D₆₅ luz do dia e o sistema de escala de cor $L^* a^* b^*$ (CIE Lab). As medidas foram realizadas na crosta (parte externa) dos bolos tipo muffin e após, foi feito um corte horizontal nesse produto para avaliar a cor do miolo (parte interna). A diferença de cor (ΔE^*) foi obtida pela equação 2:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad \text{Equação (2)}$$

A atividade de água foi determinada utilizando o equipamento medidor de atividade de água, Aqualab, na temperatura constante de 25 ± 1 °C. O volume específico e a umidade dos bolos foram conduzidos pelos métodos 10-05.01 e 44-15.02 (AACCI, 2010), respectivamente.

2.5 Composição centesimal, cafeína e análise de imagem dos bolos

A formulação padrão e as formulações otimizadas foram avaliadas quanto à composição centesimal por meio da avaliação do teor de umidade, proteína, lipídios e cinzas, seguindo os respectivos métodos 44-15.02, 46-13.01, 30-25.01 e 08-01.01 (AACCI 2010). Os carboidratos digeríveis e o conteúdo de fibra alimentar seguindo os métodos 982.14 e 978.10, da AOAC (AOAC, 2019).

Para a análise do teor de cafeína foi realizada uma extração exaustiva da amostra. Inicialmente foi pesada cerca de 10 gramas das amostras e adicionada a 50 mL de água destilada fervente (em torno de 95 °C). A diluição foi transferida para uma mesa agitadora (Solab SL 180/DT) por 15 min., a 130 rpm. Posteriormente, a suspensão foi centrifugada a 3200 rpm por 5 min. Filtrou-se o sobrenadante utilizando-se uma bomba a vácuo. O extrato filtrado foi transferido para um balão de 50 mL e adicionado de água destilada para completar o volume. Alíquotas de 10 µl foram utilizadas para fazer a análise cromatográfica. A qual foi realizada por meio de um sistema HPLC (Agilent 1260 Infinity) equipado com bomba quaternária, sistema de detecção DAD (Detector Diode Array). Para a separação foi utilizada coluna Zorbax Eclipse Plus C18 (4.6 x 150 mm e 5 micrometros de tamanho de partículas) (Agilent USA). As condições de análise foram: Fase móvel composta por 70 % de água

ultrapura e 30 % de metanol (grau HPLC Sigma-Aldrich), fluxo de 0,8 mL/min sistema de detecção com absorvância a 274 nm. A quantificação foi realizada por meio de curva de calibração utilizando cafeína como padrão, sob as mesmas condições de análise (Barroso et al., 2022). A análise foi realizada em triplicata.

Para análise da estrutura alveolar, 4 fatias de 12 mm de espessura foram digitalizadas e tratadas no software Image J conforme metodologia descrita por Tasiguan et al.(2019). Os parâmetros avaliados foram a área total da fatia (mm²), o número de alvéolos, circularidade dos alvéolos (mm), tamanho médio dos alvéolos (mm) e área total dos alvéolos (%). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.6 Análise estatística

Os resultados obtidos dos 18 ensaios fornecidos pelo DCCR foram analisados pela Metodologia de Superfície de Resposta em relação ao coeficiente de regressão e da análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 10 %. Os dados foram tratados com o auxílio do software Statistica 7.0 (Stat. Soft. Inc. 2004). Para esse estudo, o coeficiente de determinação mínimo, R², adotado para a ANOVA foi de 0,80. Foi determinado esse valor de R² devido às variações que as variáveis dependentes sofrem ao longo do processamento, como variação de temperatura dentro do forno, umidade relativa do ar, manipulação manual da massa em algumas operações, entre outras.

A equação 3 representa o modelo geral da função de regressão, o qual pode ser ajustado aos valores das variáveis respondidas, que é detentora de termos lineares, quadráticos e das interações entre si.

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{33}x_3^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3 + \varepsilon \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

Y = variável resposta de estudo;

β_0 = constante de regressão;

β_i , β_{ii} e β_{ij} = coeficiente de regressão linear, quadrático e de interação, respectivamente;

x_i e x_j = valores codificados das variáveis independentes; e ε é o erro experimental.

Os resultados fornecidos pelo R², se maiores que 0,8 foram considerados significativos e indicam que pelo menos 80% das respostas experimentais foram explicadas pelo modelo matemático. Além disso, foram gerados os gráficos de curva de contorno, que permitiu melhor avaliar os efeitos das variáveis independentes sobre as variáveis respondidas (variáveis dependentes) que possuíam diferença significativa.

O próximo passo foi encontrar os níveis experimentais que forneciam as melhores características desejáveis para o bolo. Essa avaliação foi realizada através da função desejabilidade de acordo com a metodologia proposta por Derringer & Suich (1980), por meio do software Design Expert 6.0.4 (Stat-Ease).

Para a composição centesimal, teor de cafeína e análise de imagem das fatias foi aplicado a análise de variância e o teste de Tukey foi utilizado para comparação de médias, com nível de significância de 5 %.

3. Resultados e Discussão

3.1 Resultado das análises físico-químicas da massa e do bolo

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas da massa e do bolo, nos 18 ensaios elaborados pelo DCCR e pela formulação padrão estão dispostos na Tabela 2.

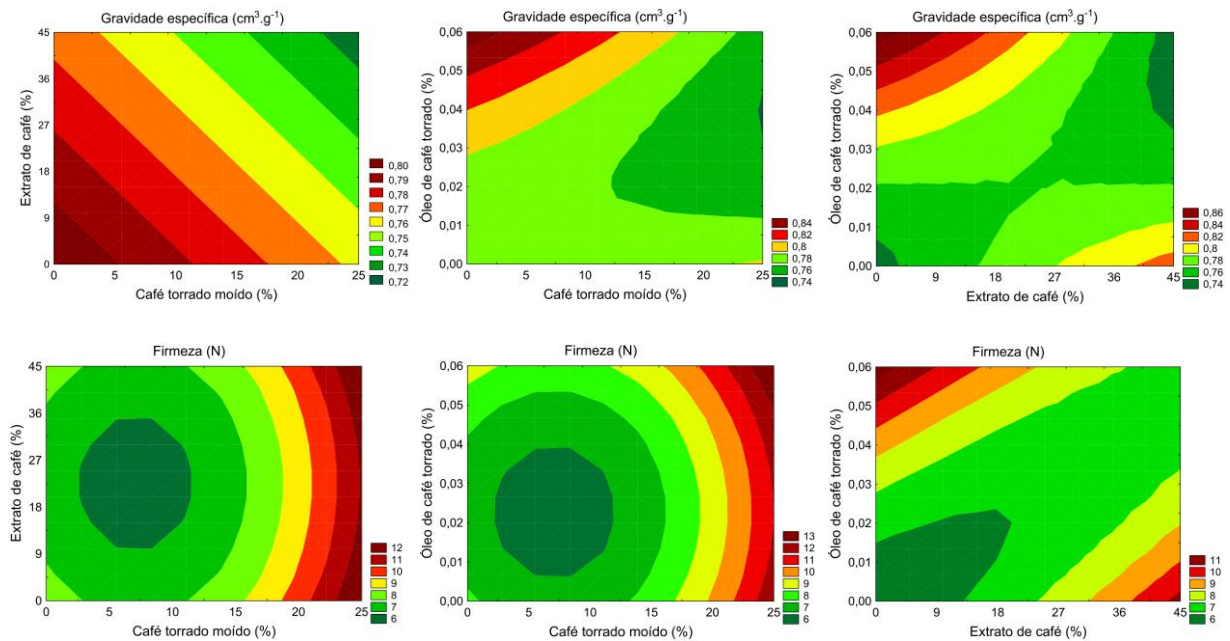
Tabela 2. Resultado das análises físico-químicas da massa e dos bolos elaborados.

Ensaio	Gravidade específica (cm ³ .g ⁻¹)	pH	Firmeza (N)	Dureza (N)	Volume específico (mL.g ⁻¹)	Atividade de água	Umidade (%)
1	0,76 ± 0,02	6,11 ± 0,04	5,93 ± 0,66	7,86 ± 0,94	2,68 ± 0,19	0,9197 ± 0,0047	24,08 ± 0,10
2	0,76 ± 0,04	6,35 ± 0,01	8,72 ± 0,76	10,79 ± 0,74	2,63 ± 0,27	0,8995 ± 0,0427	25,46 ± 0,29
3	0,79 ± 0,02	6,36 ± 0,01	6,31 ± 0,40	8,24 ± 0,81	2,51 ± 0,07	0,9353 ± 0,0039	27,24 ± 0,09
4	0,77 ± 0,01	6,29 ± 0,04	9,56 ± 0,76	11,81 ± 0,55	2,68 ± 0,15	0,9307 ± 0,0045	27,06 ± 0,21
5	0,85 ± <0,01	6,43 ± 0,01	7,97 ± 1,32	9,82 ± 0,64	2,32 ± 0,06	0,9318 ± 0,0005	27,48 ± 0,05
6	0,77 ± <0,01	6,15 ± 0,01	12,16 ± 1,31	14,23 ± 1,42	2,68 ± 0,17	0,9443 ± 0,0267	25,02 ± 0,11
7	0,77 ± 0,01	6,27 ± 0,01	6,69 ± 0,41	8,20 ± 0,57	2,50 ± 0,02	0,9325 ± 0,0061	31,07 ± 0,10
8	0,74 ± 0,01	6,38 ± 0,02	7,70 ± 0,41	9,24 ± 0,56	1,81 ± 0,09	0,9148 ± 0,0500	24,98 ± 0,31
9	0,76 ± 0,01	6,28 ± 0,02	6,30 ± 0,89	7,87 ± 1,12	2,48 ± 0,06	0,9333 ± 0,0039	27,21 ± 0,15
10	0,74 ± 0,01	6,40 ± 0,01	10,73 ± 0,75	12,80 ± 1,05	2,72 ± 0,06	0,8898 ± 0,0435	24,74 ± 0,18
11	0,78 ± 0,02	6,28 ± 0,02	5,99 ± 1,01	7,23 ± 1,19	2,46 ± 0,02	0,9185 ± 0,0056	27,56 ± 0,07
12	0,74 ± 0,01	6,43 ± 0,02	7,86 ± 1,66	10,22 ± 1,00	2,53 ± 0,11	0,9118 ± 0,0210	27,59 ± 0,12
13	0,76 ± 0,02	6,41 ± 0,03	6,83 ± 0,74	8,28 ± 0,59	2,57 ± 0,08	0,9192 ± 0,0109	26,50 ± 0,12
14	0,80 ± 0,01	6,49 ± 0,05	7,58 ± 0,39	9,50 ± 0,54	2,37 ± 0,10	0,9353 ± 0,0021	26,77 ± 0,04
15	0,76 ± 0,02	6,57 ± 0,05	5,91 ± 0,61	7,15 ± 0,64	2,50 ± 0,17	0,9182 ± 0,0060	28,85 ± 0,71
16	0,78 ± 0,01	6,60 ± 0,01	6,96 ± 2,26	9,37 ± 0,71	2,43 ± 0,06	0,9030 ± 0,0455	27,20 ± 0,06
17	0,75 ± 0,01	6,66 ± 0,01	5,80 ± 0,40	7,22 ± 0,45	2,47 ± 0,08	0,9109 ± 0,0093	29,05 ± 0,17
18	0,76 ± 0,01	6,48 ± 0,04	5,99 ± 2,08	8,17 ± 0,95	2,46 ± 0,15	0,9345 ± 0,0056	26,28 ± 3,38
Padrão	0,89 ± 0,03	6,26 ± 0,03	10,41 ± 1,48	12,58 ± 1,74	2,77 ± 0,22	0,9223 ± 0,0110	22,25 ± 0,05

Fonte: Autores (2022).

Os valores encontrados para a gravidade específica da massa ficaram entre 0,74 e 0,89 cm³.g⁻¹. A partir das curvas de contorno (Figura 1) foi observado que maiores concentrações das variáveis independentes, dentro da faixa estudada, resultaram na maior incorporação de ar na massa (p<0,10), fator que influenciou na gravidade específica da amostra. A maior influência foi proporcionada pela interação entre o extrato de café e o óleo de café ($\beta_{23} = -0,02$). Além disso, observou-se a vantagem do uso dos derivados de café sobre a gravidade específica pois todos os ensaios apresentaram valores inferiores à amostra padrão.

Figura 1. Curvas de contorno com os efeitos das variáveis independentes sobre a gravidade específica e a firmeza.



Fonte: Autores (2022).

A gravidade específica é uma medida que avalia a incorporação e retenção de ar na massa do bolo durante o preparo através de agitação e liberação de gás pelo fermento, quanto mais ar é incorporado à massa, menor a gravidade específica. Valores elevados de gravidade específica são desfavoráveis ao volume do produto, causando miolo fechado, massudo e com aspecto não adequado (Pylar & Gorton, 2009). As fibras presentes no café torrado moído, provavelmente resultaram em um impedimento físico de aproximação entre as partículas presentes na massa, causando assim maiores espaços livres para a retenção do ar incorporado. Este efeito foi favorecido sinergicamente pela adição do óleo de café torrado, pois sabe-se que em uma massa de bolo, as bolhas de ar ficam dispersas na fase gordurosa, resultando assim em menores valores de gravidade específica.

A quantidade de íons de hidrogênio ionizáveis na massa não foi influenciada pelo uso dos derivados de café. Os valores de pH obtidos ficaram entre 6,11 e 6,66, sendo que a amostra padrão apresentou valor dentro deste intervalo (6,26). Embora não tenha sido estatisticamente significativo, a baixa variação de pH foi avaliada como extremamente importante para os ensaios, pois sabe-se que a velocidade de liberação do CO_2 pelo fermento químico é dependente do pH. Desta forma, o poder de liberação dos gases não foi afetado.

Os dados da análise de firmeza variaram entre 5,80 e 12,16 N para os ensaios e o modelo matemático explicou 83,83% das respostas obtidas. Verificou-se que a maior influência na maciez do miolo das fatias foi proporcionada pelo termo quadrático do café torrado moído ($\beta_{11} = -0,94$), pela interação entre o extrato de café e óleo de café ($\beta_{23} = -0,87$) e pelo termo quadrático do óleo de café ($\beta_{33} = -0,65$). A composição química do café torrado pela presença de alto teor de fibras alimentares pode ter interferido na formação da estrutura da proteína e de amido em volta das bolhas de ar na massa, favorecendo valor de firmeza superior no produto final que continham maiores proporções de café torrado moído. A interação entre o extrato de café e o óleo de café foi extremamente importante para resultar em texturas macias ao miolo das fatias, conforme Figura 1.

Este resultado corrobora com a correlação direta entre a gravidade específica e a textura dos bolos, onde maior teor de ar incorporado à massa resultou em menor gravidade específica da massa e em bolos com maior maciez. O fato de a região das curvas de contorno da firmeza não coincidirem exatamente com as da gravidade específica está relacionado com a provável

coalescência das bolhas de ar e com a possibilidade de perda destas células de ar incorporadas durante a etapa de pesagem e o início do forneamento.

Em relação à dureza das fatias foi observado que os termos lineares ($\beta_1 = 1,48$ e $p = 0,003$) e quadrático ($\beta_{11} = 0,97$ e $p = 0,033$) do café torrado moído e a interação entre o extrato de café e o óleo de café ($\beta_{23} = -1,00$ e $p = 0,067$) foram estatisticamente significativos. No entanto, o coeficiente de determinação demonstra que somente 78,99 % das respostas podem ser explicadas pelo modelo matemático. Desta forma, não foi possível gerar a curva de contorno. Verificou-se que o comportamento é semelhante ao da firmeza, onde o café torrado moído resulta em miolos mais duros e o efeito sinérgico entre o extrato de café e o óleo de café resultou em miolos mais macios.

O volume específico dos bolos foi influenciado pelo termo linear do óleo de café ($\beta_3 = -0,11$ e $p = 0,071$). No entanto, somente 54,75 % das respostas são explicadas pela ANOVA, sendo considerado não significativo.

Observou-se uma influência na redução da atividade de água com o uso do café torrado moído ($\beta_1 = -0,0076$ e $p = 0,064$) e pela interação entre o extrato de café e o óleo de café ($\beta_{23} = -0,0095$ e $p = 0,073$). No entanto, somente 62,97 % das respostas obtidas nos ensaios são explicados pela ANOVA. As interações entre os componentes dos alimentos explicam estes efeitos significativos. O café torrado moído apresenta uma grande quantidade de fibras alimentares, promovendo a formação de ligações de hidrogênio com a água, assim como os sólidos solúveis do extrato de café (Damodaran & Parking, 2017), resultando na diminuição da atividade de água presente nos bolos. No caso do óleo de café, os componentes apolares promovem uma interação hidrofóbica favorecendo o aprisionamento da água, diminuindo a mobilidade deste solvente universal, tornando-a menos disponível (Wong, 2018).

O efeito observado para a atividade de água é reflexo direto da umidade dos bolos. Observou-se que a umidade dos ensaios variou entre 24,08 e 31,07 %, sendo que a amostra padrão apresentou um teor de umidade de 22,25 %. Os termos lineares do café torrado moído ($\beta_1 = -0,84$ e $p = 0,026$) e do extrato de café ($\beta_2 = 0,61$ e $p = 0,082$), o termo quadrático do café torrado moído ($\beta_{11} = -0,069$ e $p = 0,064$) e a interação entre o café torrado moído e o óleo de café ($\beta_{13} = -1,22$ e $p = 0,016$) apresentaram efeitos estatisticamente significativos. No entanto, a ANOVA explicou somente 79,21 % dos resultados experimentais, impossibilitando a geração das curvas de contorno.

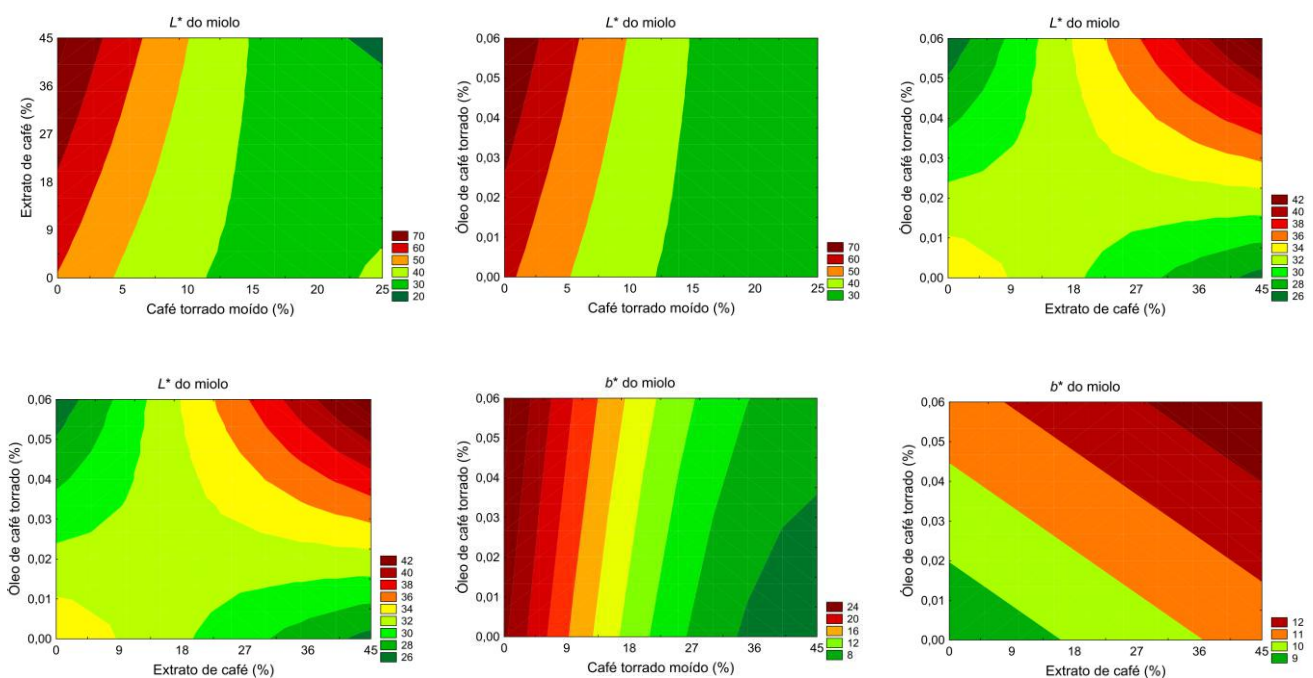
Observando os dados das Tabela 3 verificou-se que os parâmetros colorimétricos significativos foram: L^* , b^* e ΔE , do miolo; L^* , a^* , b^* , ΔE da crosta. Sendo assim, foram gerados os gráficos da curva de contorno (Figuras 2, 3, 4 e 5), para as repostas significativas, permitindo avaliar os efeitos das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes.

Tabela 3. Resultado da análise de cor instrumental do miolo e da crosta acrescidos com café torrado e moído, extrato de café e óleo de café.

Ensaio	Miolo				Crosta			
	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
1	40,92 ± 1,45	5,99 ± 0,20	16,47 ± 0,52	37,67 ± 1,75	35,32 ± 0,54	8,58 ± 1,01	16,29 ± 1,69	23,04 ± 1,20
2	25,35 ± 0,39	4,38 ± 0,04	6,91 ± 0,13	55,25 ± 0,36	22,72 ± 0,48	3,94 ± 0,16	4,16 ± 0,41	41,07 ± 0,63
3	41,18 ± 0,87	6,39 ± 0,12	16,85 ± 0,40	37,36 ± 0,91	37,18 ± 0,27	9,14 ± 0,76	17,65 ± 0,67	20,65 ± 0,69
4	26,03 ± 0,55	4,46 ± 0,23	6,91 ± 0,45	54,63 ± 0,66	23,81 ± 1,24	3,74 ± 0,38	4,10 ± 0,42	40,39 ± 1,22
5	39,36 ± 0,28	5,99 ± 0,13	16,06 ± 0,06	39,25 ± 0,28	36,43 ± 0,51	9,52 ± 0,25	17,91 ± 0,56	20,94 ± 0,71
6	27,82 ± 1,61	4,70 ± 0,24	8,48 ± 0,81	52,43 ± 1,77	25,94 ± 0,77	4,49 ± 0,49	6,34 ± 0,90	37,23 ± 1,25
7	62,56 ± 0,70	4,65 ± 0,07	22,58 ± 0,18	15,25 ± 0,68	53,11 ± 1,15	10,37 ± 0,13	27,71 ± 0,35	5,72 ± 0,13
8	24,57 ± 0,47	4,91 ± 0,23	7,29 ± 1,09	55,89 ± 0,79	23,64 ± 0,99	4,84 ± 0,27	6,00 ± 0,23	39,00 ± 0,92
9	62,64 ± 0,53	4,72 ± 0,03	22,61 ± 0,09	15,17 ± 0,52	52,30 ± 0,49	10,10 ± 0,52	27,03 ± 0,02	6,16 ± 0,42
10	23,09 ± 0,88	3,40 ± 0,19	4,75 ± 0,48	58,10 ± 0,81	23,61 ± 0,26	3,56 ± 0,02	3,69 ± 0,24	40,85 ± 0,32
11	30,63 ± 1,03	5,16 ± 0,43	9,62 ± 1,09	49,44 ± 0,73	28,46 ± 1,71	5,29 ± 0,42	8,07 ± 0,38	34,12 ± 0,83
12	30,75 ± 0,36	5,77 ± 0,09	11,55 ± 0,22	48,73 ± 0,34	28,07 ± 1,81	6,23 ± 0,37	8,91 ± 0,54	51,00 ± 1,69
13	32,63 ± 0,92	4,87 ± 0,13	8,92 ± 0,36	47,79 ± 0,73	32,37 ± 0,92	4,67 ± 0,39	6,74 ± 0,63	32,65 ± 1,12
14	31,03 ± 1,11	5,50 ± 0,09	10,41 ± 0,06	48,81 ± 1,02	27,56 ± 1,57	5,92 ± 0,43	8,68 ± 0,80	34,17 ± 1,63
15	32,88 ± 0,96	4,88 ± 0,14	9,03 ± 0,40	47,52 ± 0,93	30,93 ± 0,44	4,69 ± 0,53	7,13 ± 1,07	33,27 ± 0,95
16	30,46 ± 0,24	5,50 ± 0,09	10,47 ± 0,06	49,34 ± 0,23	29,09 ± 0,59	6,68 ± 0,26	9,34 ± 0,30	32,43 ± 0,62
17	32,79 ± 1,05	4,93 ± 0,02	9,08 ± 0,16	47,59 ± 1,03	31,66 ± 0,74	5,10 ± 0,64	7,71 ± 1,17	32,26 ± 1,42
18	31,29 ± 0,16	5,80 ± 0,15	11,46 ± 0,35	48,26 ± 0,24	29,17 ± 1,18	7,23 ± 0,21	10,57 ± 1,06	31,45 ± 1,51
Padrão	76,90 ± 0,25	1,39 ± 0,20	26,56 ± 0,39	-	52,22 ± 3,53	15,23 ± 0,50	30,42 ± 2,33	-

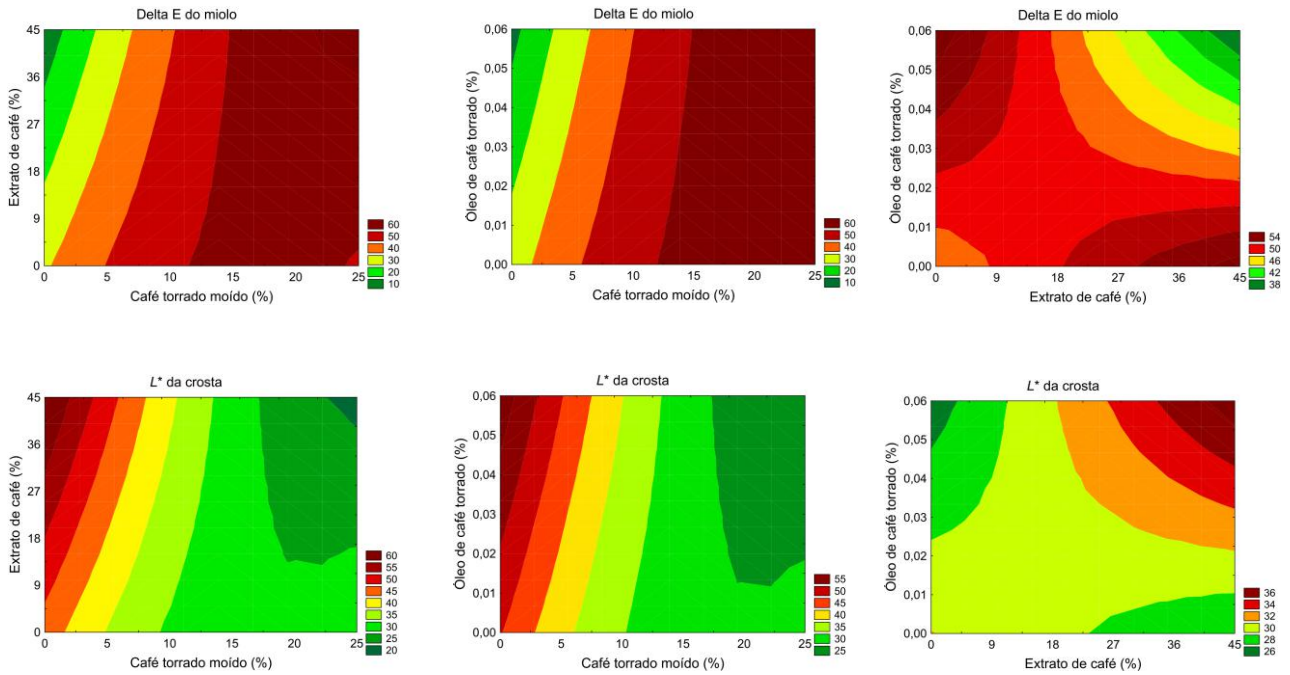
ΔE^* = variação da cor em relação à amostra padrão. Fonte: Autores (2022).

Figura 2. Curvas de contorno com os efeitos das variáveis independentes sobre os parâmetros L^* e b^* do miolo em bolos adicionados de café e derivados de café.



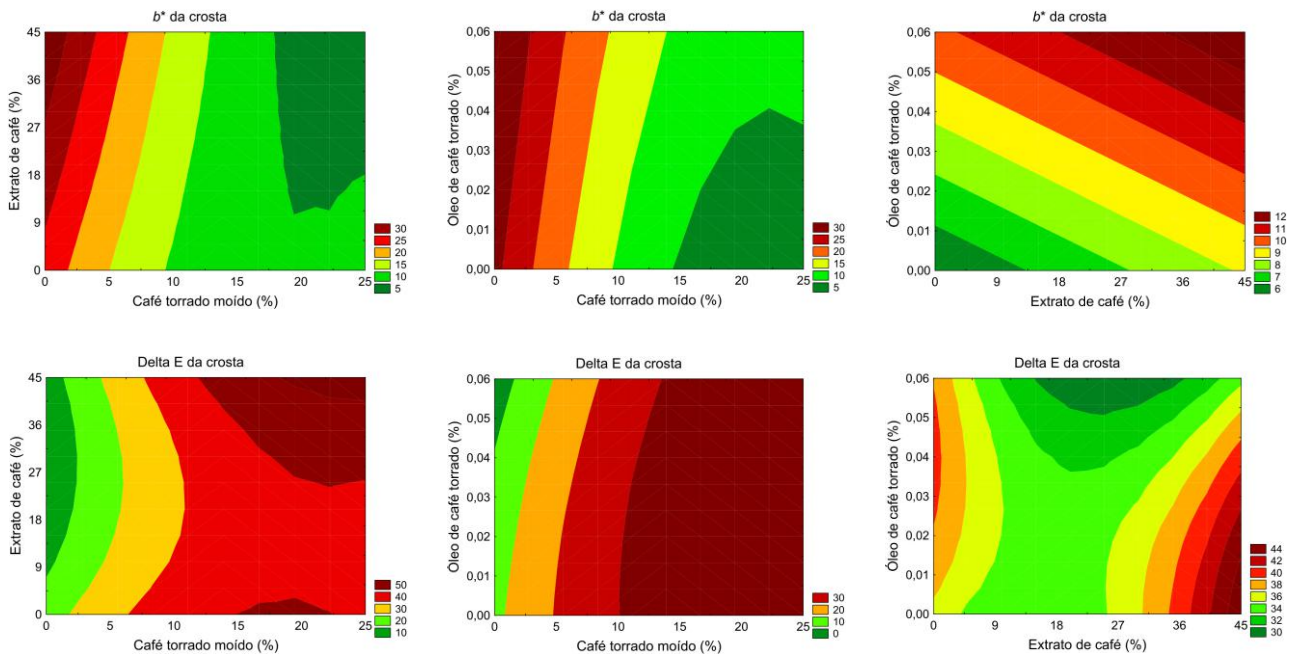
Fonte: Autores (2022).

Figura 3. Curvas de contorno com os efeitos das variáveis independentes sobre os parâmetros delta E do miolo e L^* da crosta em bolos adicionados de café e derivados de café.



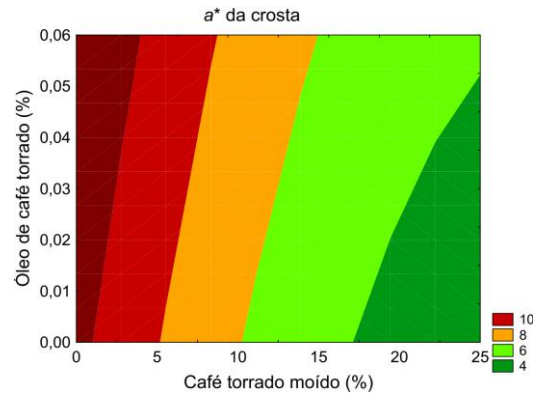
Fonte: Autores (2022).

Figura 4. Curvas de contorno com os efeitos das variáveis independentes sobre os parâmetros b^* e delta E da crosta em bolos adicionados de café e derivados de café.



Fonte: Autores (2022).

Figura 5. Curva de contorno com os efeitos das variáveis independentes sobre o parâmetro a^* da crosta em bolos adicionados de café e derivados de café.



Fonte: Autores (2022).

Os valores de luminosidade das amostras foram influenciados pelo termo linear do café torrado moído ($\beta_1 = -10,75$ para o miolo e $\beta_1 = -8,36$ para a crosta). Em geral, percebeu-se que a redução nos valores de L^* foi maior para o miolo do que para a crosta, pois o bolo padrão apresentou valores de luminosidade menores na crosta, em relação ao miolo. Este efeito é resultado da temperatura de forneamento, onde a crosta sofre maior desidratação em função do maior aquecimento na camada superficial, favorecendo a caramelização e a reação de *Maillard*.

As amostras com maiores proporções das variáveis independentes (café torrado moído, extrato de café e óleo de café torrado) obtiveram menores valores de L^* . Resultado já esperado, pois adição de café, que possui pigmentação escura refletiu diretamente na luminosidade da amostra, tornando-a também mais escura.

O valor de a^* (a^+ para o vermelho e a^- para o verde) é um parâmetro interessante para o estudo do escurecimento, pois a coloração marrom, resultante da degradação dos açúcares, representa uma combinação de verde e vermelho. Observou-se que os termos lineares ($\beta_1 = -0,50$ e $p = 0,006$) e quadrático ($\beta_{11} = 0,37$ e $p = 0,031$) do café torrado moído foram estatisticamente significativos sobre a tonalidade de a^* para o miolo. No entanto, a ANOVA indicou que somente 78,06 % dos valores experimentais podem ser preditos pelo modelo matemático e, desta forma, não foi possível gerar as curvas de contorno. Entretanto, para a crosta, verificou-se que o maior efeito para diminuição da tonalidade de a^* foi proporcionada pelo termo linear ($\beta_1 = -2,31$) do café torrado moído. Nesse estudo, pode ser observado que o valor de a^* da crosta do padrão foi superior (15,23) as demais formulações adicionadas de café, enquanto para o miolo o valor de a^* foi o menor (1,39).

O parâmetro b^* está compreendido na faixa de azul (-) ao amarelo (+), assim, amostras com forte coloração amarela (por exemplo a padrão), fornecerão valores mais elevados para b^* . Para este parâmetro foram obtidos valores que variaram entre 4,75 e 22,61 para o miolo e entre 3,69 e 27,71 para a crosta. Os modelos matemáticos explicam os dados experimentais em 94,65 % para o miolo e 93,87 % para a crosta, possibilitando a geração das curvas de contorno. Observou-se que os maiores efeitos na diminuição do valor de b^* do miolo foram proporcionadas pelo café torrado moído ($\beta_1 = -5,30$) e pela interação deste com extrato de café ($\beta_{12} = -1,01$). Efeito semelhante foi observado no decréscimo dos valores de b^* da crosta, no entanto com maior intensidade pelo termo linear do café torrado moído ($\beta_1 = -8,36$). As formulações com menores valores de café torrado moído e maiores valores de extrato, possuem tendência de aumentar a coloração amarela (maior valor de b^*). Maiores teores do óleo de café torrado, contribuíram para diminuir o valor de b^* , porém em proporções menores.

O delta E foi calculado para indicar a magnitude da diferença total de cor entre as demais formulações e a padrão. Podendo ser verificado que as formulações com teores mais elevados de café torrado moído e extrato de café forneceram coloração mais escuras, ou seja, com valor de delta E mais elevado. A cor é um parâmetro crítico dos alimentos, estando diretamente relacionada a qualidade do mesmo. Porém, nesse estudo a diferença da cor não foi um parâmetro de extrema

relevância preestabelecido, uma vez que a adição de café torrado moído, principalmente, fornece um bolo de coloração mais escura à massa e ao bolo, devido à pigmentação acentuada do mesmo. Lima et al. (2018) sugerem que alterações em formulações que promovam impacto sensorial drástico devem ser realizadas de forma lenta e gradual, de modo que a memória sensorial dos consumidores seja alterada aos poucos.

3.2 Otimização da formulação do bolo e validação dos modelos matemáticos

A partir dos modelos de regressão aplicados, como já discutido anteriormente, verificou-se que, para a massa, foi significativa apenas a análise de gravidade específica. Para o bolo, a firmeza e a cor instrumental obtiveram diferença significativa. Na Tabela 4 estão os modelos matemáticos das variáveis dependentes das análises do bolo que foram estatisticamente significativas ($p < 10$) e $R^2 \geq 0,80$.

Tabela 4. Modelos matemáticos preditivos para as variáveis dependentes das análises da massa e dos bolos como adição de café e derivados, que foram estatisticamente significativas ($p \leq 0,10$, $R^2 \geq 0,80$).

Variável dependente	Modelo matemático	R ²	p-valor
Gravidade específica (cm ³ .g ⁻¹)	$0,76 - 0,01x_1 - 0,01x_2 + 0,01x_3 + 0,01x_3^2 - 0,01x_1x_3 - 0,02x_2x_3$	0,8055	0,002
L* do miolo	$31,69 - 10,75x_1 + 1,54x_2 + 1,33x_3 + 4,07x_1^2 - 3,25x_1x_2 - 2,35x_1x_3 + 2,38x_2x_3$	0,9269	<0,001
b* do miolo	$10,51 - 5,30x_1 + 0,65x_2 + 0,72x_3 + 1,48x_1^2 - 1,01x_1x_2$	0,9465	<0,001
Delta E do miolo	$48,17 + 11,78x_1 - 1,66x_2 - 1,49x_3 - 4,29x_1^2 + 3,39x_1x_2 + 2,37x_1x_3 - 2,45x_2x_3$	0,8916	<0,001
L* da crosta	$29,55 - 8,36x_1 + 1,22x_2 + 0,88x_3 + 2,89x_1^2 - 2,47x_1x_2 - 1,75x_1x_3 + 1,43x_2x_3$	0,9075	<0,001
a* da crosta	$5,97 - 2,32x_1 + 0,43x_3 + 0,49x_1^2$	0,8924	0,000
b* da crosta	$8,95 - 7,19x_1 + 0,89x_2 + 1,39x_3 + 2,70x_1^2 - 1,45x_1x_2$	0,9387	<0,001
Delta E da crosta	$32,59 + 10,67x_1 + 0,87x_2 - 1,45x_3 - 4,16x_1^2 + 2,59x_2^2 - 0,65x_3^2 + 2,34x_1x_2 + 1,48x_1x_3 - 1,30x_2x_3$	0,8708	0,010
Firmeza (N)	$6,14 + 1,37x_1 + 0,39x_3 + 0,94x_1^2 + 0,38x_2^2 + 0,48x_3^2 - 0,87x_2x_3$	0,8383	0,001

Legenda: x₁ = café torrado moído (%); x₂ = extrato de café (%); x₃ = óleo de café torrado. Fonte: Autores (2022).

Observando o modelo matemático foi possível verificar quais variáveis mais influenciaram nas respostas. Para a gravidade específica, percebeu-se que a interação extrato de café, com óleo de café torrado foram as variáveis de maior influência para diminuir o valor desse parâmetro. Para as demais variáveis dependentes (L*, b*, e Delta E do miolo; L*, a*, b* e Delta E da crosta; e firmeza), pode ser observado que o café torrado moído teve maior influência sobre as repostas.

Assim, através da função desejabilidade, dando as devidas importâncias (que variam de 1 a 5) às variáveis dependentes e independentes, de acordo com a influência das mesmas sobre o bolo, foi possível otimizar duas formulações denominadas de ponto ótimo 1 (PO1) e ponto ótimo 2 (PO2) (Tabela 5), com probabilidades de sucesso de 0,89 e 0,97 (Tabela 6).

Tabela 5. Formulações dos bolos tipo muffins padrão e pontos otimizados (porcentagem em base de farinha de trigo).

Ingredientes	Formulação		
	Padrão	PO1	PO2
X ₁ – Café torrado moído (%)	0	17,8	10
X ₂ – Extrato de café (%)	0	45	45
X ₃ – Óleo de café (mL)	0	0,2	0,2
Farinha de trigo (%)	100	82,2	90
Gordura vegetal hidrogenada (%)	40	40	40
Ovo in natura (%)	50	50	50
Água (%)	45	0	0
Sacarose (%)	58,8	58,8	58,8
Fermento químico (%)	2,5	2,5	2,5
Emulsificante (%)	0,5	0,5	0,5

Fonte: Autores (2022).

Tabela 6. Análise da desejabilidade para se obter os parâmetros físico-químicos na massa e no bolo acrescidos de derivados de café.

Parâmetro	Objetivo	Importância	Valor predito	Valor experimental	Desvio relativo (%)
Ponto ótimo 1					
X ₁	Máximo	5	0,712		
X ₂	Máximo	5	1,68		
X ₃	Máximo	5	1,68		
Gravidade específica (cm ³ .g ⁻¹)	Mínima	5	0,73	0,74 ± 0,02	1,60
L* (miolo)	Dentro da faixa	3	30,94	38,93 ± 1,64	25,83
b* (miolo)	Dentro da faixa	3	8,58	2,95 ± 0,13	-65,62
ΔE (miolo)	Dentro da faixa	3	49,07	44,78 ± 1,40	-8,73
L* (crosta)	Dentro da faixa	3	27,58	38,55 ± 1,39	39,78
a* (crosta)	Dentro da faixa	3	5,29	1,70 ± 0,17	-67,86
b* (crosta)	Dentro da faixa	3	7,30	1,78 ± 0,21	-75,60
ΔE (crosta)	Dentro da faixa	3	43,48	34,52 ± 0,62	-20,61
Firmeza (N)	Mínima	5	8,22	7,92 ± 1,07	-3,64
Desejabilidade			0,89		
Ponto ótimo 2					
X ₁	Dentro da faixa	3	-0,331		
X ₂	Máxima	5	1,68		
X ₃	Máxima	5	1,68		
Gravidade específica (cm ³ .g ⁻¹)	Mínima	5	0,73	0,75 ± 0,01	2,27
L* (miolo)	Dentro da faixa	3	50,35	40,55 ± 0,09	-19,46
b* (miolo)	Dentro da faixa	3	15,29	5,56 ± 0,05	-63,64
ΔE (miolo)	Dentro da faixa	3	28,39	42,88 ± 0,71	51,03
L* (crosta)	Dentro da faixa	3	42,54	39,90 ± 0,23	-6,22
a* (crosta)	Dentro da faixa	3	7,51	3,42 ± 0,10	-54,48
b* (crosta)	Dentro da faixa	3	16,26	4,66 ± 0,20	-71,34
ΔE (crosta)	Dentro da faixa	3	27,31	30,90 ± 0,30	13,14
Firmeza (N)	Mínima	5	6,42	8,71 ± 0,77	35,74
Desejabilidade			0,97		

Legenda: X₁ = café torrado moído; X₂ = extrato de café; X₃ = óleo de café torrado. Fonte: Autores (2022).

Verificou-se que os melhores resultados de validação foram encontrados para o PO1, principalmente pelos baixos valores de desvio padrão relativo para a gravidade específica e a firmeza do miolo. Para os valores de cor instrumental podemos inferir que os modelos matemáticos não predizem as características do produto final. Este fato pode estar atribuído ao forno utilizado, o que é um grande problema para as pesquisas que utilizam fornos elétricos domésticos, resultando em uma má distribuição do calor dentro do equipamento, interferindo diretamente na coloração. Acreditamos que com o uso de um forno industrial, com circulação forçada do calor possa garantir uma melhor uniformidade de distribuição do calor, resultando em produtos com maior uniformidade.

3.3 Caracterização físico-química do bolo padrão e dos pontos otimizados

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados para a caracterização das formulações otimizadas e do padrão.

Tabela 7. Caracterização dos parâmetros de qualidade e análise centesimal da formulação padrão e dos pontos ótimos para bolos tipo muffis produzidos com adição de café e derivados.

Análise	Formulação		
	Padrão	PO1	PO2
Gravidade específica (cm ³ .g ⁻¹)	0,80 ± 0,03 ^a	0,74 ± 0,02 ^b	0,75 ± 0,01 ^b
Firmeza (N)	10,41 ± 1,48 ^{ns}	7,92 ± 1,07 ^{ns}	8,71 ± 0,77 ^{ns}
<i>L*</i> do miolo	76,91 ± 0,20 ^a	38,93 ± 1,64 ^b	40,55 ± 0,09 ^b
<i>b*</i> do miolo	26,56 ± 0,39 ^a	2,95 ± 0,13 ^b	5,56 ± 0,05 ^c
Delta E do miolo	-	44,78 ± 1,40 ^{ns}	42,88 ± 0,71 ^{ns}
<i>L*</i> da crosta	52,22 ± 3,53 ^a	38,55 ± 1,39 ^b	39,90 ± 0,23 ^b
<i>a*</i> da crosta	15,22 ± 0,50 ^a	1,70 ± 0,17 ^b	3,42 ± 0,10 ^c
<i>b*</i> da crosta	30,42 ± 2,33 ^a	1,78 ± 0,21 ^b	4,66 ± 0,20 ^b
Delta E da crosta	-	34,52 ± 0,62 ^a	30,90 ± 0,30 ^b
Atividade de água	0,9223 ± 0,01 ^{ns}	0,9359 ± 0,01 ^{ns}	0,9359 ± 0,01 ^{ns}
Teor de cinzas (%)	0,90 ± 0,01 ^b	1,12 ± 0,05 ^a	1,07 ± 0,02 ^a
Teor de umidade (%)	24,23 ± 0,16 ^b	26,12 ± 0,09 ^a	26,17 ± 0,19 ^a
Teor de lipídeos (%)	16,87 ± 0,13 ^b	17,45 ± 0,11 ^a	17,38 ± 0,06 ^a
Teor de proteínas (%)	7,03 ± 0,02 ^b	7,45 ± 0,08 ^a	7,30 ± 0,27 ^{ab}
Carboidratos digeríveis (%)	47,74 ± 0,73 ^a	43,10 ± 2,01 ^b	44,19 ± 0,70 ^{ab}
Fibras alimentares [#] (%)	3,23 ± 0,21 ^c	4,76 ± 0,47 ^a	3,79 ± 0,25 ^b
Cafeína (mg/100 g)	Não detectada	61,13 ± 5,24 ^{ns}	56,34 ± 5,48 ^{ns}

#Fibras alimentares - desvio padrão calculado por erro de propagação. Média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5 % de significância. Ns = não significativo. Fonte: Autores (2022).

Para as análises físico-químicas foi verificado que a gravidade específica teve diferença significativa, onde há valores que proporcionam massas mais aeradas e de melhor qualidade tecnológica para as formulações otimizadas, indicando que a adição de café ao bolo pode trazer características desejável ao mesmo pois, menores valores de gravidade específica podem contribuir para melhor volume e textura do produto. No entanto, para a análise de firmeza não houve diferença estatisticamente significativas entre as formulações.

Para as análises colorimétricas, todas as análises dos PO1 e PO2 diferiram estatisticamente do padrão, resultado esperado devido à pigmentação marcante do café. O PO1 apresentou-se mais escuro que o PO2 e ambos diferiram estatisticamente do padrão.

A diferença entre a atividade de água não foi significativa. Pode-se observar que houve um aumento significativo no teor de cinzas, lipídeos e umidade das formulações otimizadas em relação ao padrão. Enquanto, para os carboidratos digeríveis houve redução significativa para o ponto ótimo PO1 em relação ao padrão. Para as fibras alimentares, o resultado foi significativo para o padrão e para as formulações otimizadas, sendo que o PO1, forneceu maior teor de fibras alimentares. A recomendação diária de fibra alimentar é de 25 g (Brasil, 2005), o PO1, fornece 19,04% desta recomendação. Em relação ao teor de cafeína não houve diferença entre os pontos otimizados e na formulação padrão não foi identificada quantidade deste composto. Considerando a recomendação de uma ingestão máxima de 200 mg de cafeína por dia (Sanchis et al., 2020), uma porção de bolo (que corresponde a 50 gramas, aproximadamente 1 muffin) fornecerá entre 10 a 15 % desta recomendação.

Assim, foram obtidas formulações de bolos tipo muffin de valor nutricional significativamente superior em relação a padrão. Já era esperado maior valor do teor de cinzas, lipídeos, carboidratos digeríveis, fibras alimentares e cafeína, que a padrão, uma vez que o café torrado moído, possui maior quantidade desses compostos que a farinha de trigo. O bolo tipo muffin com maior teor de fibra pode ser uma eficiente maneira de aumentar a ingestão desse composto. Além dos benefícios para a saúde, como seus efeitos benéficos na redução de doenças coronárias, níveis de colesterol, incidência de diabetes e risco de cólon câncer, a fibra alimentar também é um constituinte importante devido às suas propriedades funcionais. Pode ser usado para modificar a consistência, textura e sensorial características dos produtos alimentícios suplementados com fibra (Severini et al., 2020).

Para análise de porosidade (estrutura alveolar) do miolo do bolo padrão e formulações otimizadas foram avaliados os parâmetros: número de alvéolos, área, circularidade, área total da fatia, tamanho médio e área dos alvéolos. Conforme pode ser verificado na Tabela 8, para os parâmetros da estrutura alveolar analisados, somente o número de alvéolos foi significativo estatisticamente para a formulação padrão e o PO2.

Tabela 8. Parâmetros de porosidade (estrutura alveolar) das formulações padrão e otimizadas de bolos tipo muffins com adição de café e derivados.

Parâmetro	Formulação		
	Padrão	PO1	PO2
Número de alvéolos	2129,00 ± 336,83 ^a	2010,25 ± 222,66 ^{ab}	1490,50 ± 280,95 ^b
Circularidade (mm)	0,78 ± 0,03 ^{ns}	0,78 ± 0,01 ^{ns}	0,79 ± 0,04 ^{ns}
Área total da fatia (mm ²)	309,84 ± 37,65 ^{ns}	356,3035 ± 11,92 ^{ns}	302,48 ± 119,10 ^{ns}
Tamanho médio dos alvéolos (mm)	0,15 ± 0,04 ^{ns}	0,18 ± 0,02 ^{ns}	0,21 ± 0,10 ^{ns}
Área dos alvéolos (%)	40,86 ± 6,06 ^{ns}	51,76 ± 4,14 ^{ns}	53,58 ± 8,87 ^{ns}

Média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si através do Teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Fonte: Autores (2022).

A estrutura do miolo é baseada principalmente no número e tamanho dos alvéolos; é desejável que um bolo apresente alvéolos abundantes, finos e distribuídos de maneira uniforme, o que trará menor firmeza. Os parâmetros circularidade, área total da fatia, tamanho médio dos alvéolos e área dos alvéolos, não foram significativos. Quanto mais próximo de 1 o valor de circularidade e mais arredondado for o alvéolo, maior será a força necessária para deformar a estrutura cilíndrica do mesmo e consequentemente, menor será a força para deformar o miolo do bolo. A área total da fatia, está relacionada com o volume específico. Pode-se perceber que das 18 formulações elaborados pelo DCCR e a padrão não obtiveram volume específico significativo, dessa forma, esse parâmetro não entrou na otimização. A área total da fatia, está relacionada com a área dos alvéolos, por isso, é desejável valor mais alto. Enquanto a porcentagem de área, representa a área dos alvéolos da área total da fatia (Tasiguano et al., 2019).

A diferença significativa que ocorreu entre formulações padrão e o PO2 para o número de alvéolos pode ser explicada pela colalescência. Esse fenômeno ocorre devido à instabilidade de uma massa em relação a junção de diversas células de ar pequenas e resultando em células maiores. Caso haja bolhas de maior tamanho e distribuição não uniforme, as bolhas de ar menores tendem a se unirem às maiores, formando bolhas de ar maiores ainda. Tais bolhas têm a tendência a subirem para superfície e se desprenderem para a atmosfera. Este comportamento promove a perda de gás, resultando em bolos de menor volume. Outro fator importante para evitar maiores perda de gás é a agilidade no forneamento, logo após a preparação da massa.

A diferença significativa no número de alvéolos entre a formulação padrão e o PO2 pode ter ocorrido devido à presença de fibras no café; apesar de que há relatos contraditórios na literatura sobre a interferência da fibra na redução do volume dos produtos, pois, nos estudos mencionados, diferentes ingredientes podem afetar a quantidade de núcleos de ar aprisionados na massa em modalidades diferentes. Nesse estudo pode ser observado uma redução na gravidade específica em relação ao padrão para as formulações adicionadas de café. Porém, embora menor valor de gravidade específica indique maior número de núcleos gasosos na massa (o que implica em maior volume) o aumento da viscosidade pode razoavelmente reduzir a capacidade de crescimento desses núcleos de gás durante o cozimento. Além disso, a água possui alta capacidade de se ligar a fibra, causando atraso na gelatinização do amido durante a cocção o que pode favorecer o volume do bolo (Severini et al., 2020).

4. Conclusão

A adição de diferentes proporções das variáveis independentes: café torrado moído, extrato de café e óleo de café na massa do bolo tipo muffin foi significativa para as variáveis dependentes: gravidade específica na massa e firmeza; L^* , b^* e ΔE^* , do miolo; L^* , a^* , b^* e ΔE^* da crosta dos bolos. Proporções mais elevadas dessas variáveis independentes na massa do bolo favoreceram a diminuição da gravidade específica, resultando em uma massa mais macia, ou seja, de menor firmeza. Para análise instrumental de cor, os derivados do café forneceram valores mais baixos de L^* e b^* , para proporções mais elevadas das variáveis independentes adicionados à massa do bolo. Através da função desejabilidade, considerando uma massa aerada (baixos valores de gravidade específica) e menor firmeza do miolo, foram otimizadas duas formulações, sendo os melhores resultados obtidos com uso de 17,8 % de café torrado moído em substituição à farinha de trigo, 45 % de extrato de café e 0,2 % de óleo de café. As análises físico-químicas forneceram menores valor de gravidade específica e firmeza das formulações otimizadas em relação a padrão, indicando que o café torrado moído, o extrato de café e o óleo de café são uma alternativa interessante como ingrediente alimentar. Na análise de porosidade (número de alvéolos, área, circularidade, área total, tamanho médio e área), o único parâmetro que resultou em diferença significativa, em relação a padrão, foi o número de alvéolos. A adição de café torrado moído, extrato de café e óleo de café torrado pode ser recomendada como potenciais ingredientes na indústria de panificação, pois nesse estudo, foi possível adquirir um produto com características físico-químicas desejáveis a partir da adição destes compostos como ingredientes.

Agradecimentos

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri e ao Instituto de Ciência e Tecnologia pelo suporte institucional e à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior pelo suporte financeiro (código de financiamento 001 e pela bolsa de estudos de S. J. M. Silva (protocolo 23038.014292/2018-73).

Referências

- AACCI (2010) Approved methods (11th ed.).
- ABIMAPI (Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, M. A. e P. e B. I. (2022). ABIMAPI-Vendas. <https://www.abimapi.com.br/estatisticas.php>
- AOAC (2019). Official Methods of Analysis of AOAC International, Gaithersburg.
- Barroso, L. A., Macedo, A. S., Lemos, I. L., Andrade Neves, N., Schmiele, M., Silveira, J. V. W., Amaral, T. N., & Fonte, P. (2022). Optimization of the brewing parameters on coffee extraction using a central composite rotatable design. *JSFA Reports*, 2(3), 107–115. <https://doi.org/10.1002/jsf2.33>
- Bennion, E. B., & Bamford, G. S. T. (2013). *The technology of cake making* (A. J. Bent (ed.); sixth). Springer.
- Böger, B. R., Mori, A. L. B., Viegas, M. C., & Benassi, M. T. (2021). Quality attributes of roasted Arabica coffee oil extracted by pressing: composition, antioxidant activity, sun protection factor and other physical and chemical parameters. *Grasas y Aceites*, 72(1), e394. <https://doi.org/10.3989/gya.1144192>

- Brasil (2005) Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Coordenação-Geral da Política de Alimentação e Nutrição. Guia alimentar para a população brasileira: Promovendo a alimentação saudável. Brasília: Ministério da Saúde. 236p. <http://www.nutritotal.com.br/publicacoes/?acao=bu&id=155&categoria=7>.
- Damodaran, S., & Parking, K. L. (2017). *Fennema's Food Chemistry, Fifth Edition*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315372914>
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology*, 12(4), 214–219. <https://doi.org/10.1080/00224065.1980.11980968>
- Esteller, M. S., Zancanaro Júnior, O., & Lannes, S. C. S. (2006). Bolo de “chocolate” produzido com pó de cupuaçu e kefir. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 42(3), 447–454. <https://doi.org/10.1590/S1516-93322006000300014>
- Grasso, S., Pintado, T., Pérez-Jiménez, J., Ruiz-Capillas, C., & Herrero, A. M. (2021). Characterisation of Muffins with Upcycled Sunflower Flour. *Foods*, 10(2), 426. <https://doi.org/10.3390/foods10020426>
- Lima, M., Ares, G., & Deliza, R. (2018). Children and adults' sensory and hedonic perception of added sugar reduction in grape nectar. *Journal of Sensory Studies*, 33(2), e12317. <https://doi.org/10.1111/joss.12317>
- Pylar, E. J., & Gorton, L. A. (2009). *Baking: science & technology, formulation & Production*. Sosland Pub Co.
- Rodrigues, M. I., & Iemma, A. F. (2005). *Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos*.
- Rodríguez, R., Alvarez-Sabatel, S., Ríos, Y., Rioja, P., & Talens, C. (2022). Effect of microwave technology and upcycled orange fibre on the quality of gluten-free muffins. *LWT*, 158, 113148. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113148>
- Sanchis, C., Blasco, E., Luna, F. G., & Lupiáñez, J. (2020). Effects of caffeine intake and exercise intensity on executive and arousal vigilance. *Scientific Reports*, 10(1), 8393. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65197-5>
- Santos, É. M., Macedo, L. M. de, Tundisi, L. L., Ataíde, J. A., Camargo, G. A., Alves, R. C., Oliveira, M. B. P. P., & Mazzola, P. G. (2021). Coffee by-products in topical formulations: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 280–291. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.064>
- Schmiele, M., Silva, L. H., Costa, P. F. P., Rodrigues, R. 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). <https://doi.org/10.5380/cep.v29i1.22751>
- Severini, C., Caporizzi, R., Fiore, A. G., Ricci, I., Onur, O. M., & Derossi, A. (2020). Reuse of spent espresso coffee as sustainable source of fibre and antioxidants. A map on functional, microstructure and sensory effects of novel enriched muffins. *LWT*, 119, 108877. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108877>
- Silva, S. J. M., Spencer, P. V. D., Pinto, N. A. V. D., & Schmiele, M. (2020). Desempenho antimicrobiano em bolores isolados de muffins e capacidade antioxidante de óleos de café (*Coffea arabica* L.) cru e torrado. *Research, Society and Development*, 9(10), e9289109285. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9285>
- Souza, E. C., Cordeiro, D. A., Silva, B. S., Neves, N. de A., & Schmiele, M. (2022). Development of muffin with the incorporation of olive pomace flour, extra virgin olive oil and hydrolyzed soy protein. *Research, Society and Development*, 11(2), e58511226012. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.26012>
- Tasiguano, B. L., Villarreal, C., Schmiele, M., & Vernaza, M. G. (2019). Efecto del tiempo de Cocción del Zapallo (*Cucurbita maxima*) y la adición de Glucosa Oxidasa en el Aumento de Almidón Resistente del Pan de Molde. *Información Tecnológica*, 30(3), 167–178. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300167>
- Wong, D. W. S. (2018). *Mechanism, and Theory in Food Chemistry*. Springer International Publishing.
- Wu, H., Gu, J., BK, A., Nawaz, M. A., Barrow, C. J., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2022). Effect of processing on bioaccessibility and bioavailability of bioactive compounds in coffee beans. *Food Bioscience*, 46, 101373. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101373>