

**Desenvolvimento, caracterização e aceitação sensorial
de *brownie* sem glúten com farinha de tremçoço
(*Lupinus albus*)**

Isadora Maria Melo Torres

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de
Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Qualidade e
Segurança Alimentar no âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Estadual de Maringá*

Orientado por

Tayse Ferreira Ferreira da Silveira

Rossana Veviana Centeio Cardoso

Antônio Roberto Giriboni Monteiro

Bragança

2026

Agradecimento à Fundação BPI | La Caixa o apoio concedido no âmbito do projeto 3R – Regenerar, Reformular, Reinventar. Este trabalho foi igualmente financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC), no âmbito das unidades de investigação CIMO (UIDB/00690/2020, DOI: 10.54499/UIDB/00690/2020; UIDP/00690/2020, DOI: 10.54499/UIDP/00690/2020) e SusTEC (LA/P/0007/2020, DOI: 10.54499/LA/P/0007/2020).

Agradecimentos

A Deus, pelo sopro de vida, inspiração, bênçãos e proteção ao longo de todo este percurso.

Aos meus pais, Donizete Torres de Moraes e Dayenne Gomes Melo Torres, pela educação, incentivo, confiança e amor; à minha irmã, Ana Flávia, pelo companheirismo e carinho. Ao meu namorado, Gabriel Araújo, pelo apoio. Às minhas avós e a todos os familiares que fizeram parte deste sonho, aos quais amo incondicionalmente.

Um agradecimento especial às minhas orientadoras, Dra. Tayse Ferreira Ferreira da Silveira e Dra. Rossana Veviana Centeio Cardoso, por todo o conhecimento compartilhado, pela constante disponibilidade, acompanhamento e apoio ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho, bem como pela paciência, confiança e dedicação incansável. Ao Dr. Antônio Roberto Giriboni Monteiro, professor da Universidade Estadual de Maringá, pela motivação, incentivo e orientação durante este período.

Ao Centro de Investigação de Montanha (CIMO) e à Dra. Lillian Bouçada de Barros, por proporcionarem o espaço e toda essa experiência.

À Universidade Estadual de Maringá, pela oportunidade de realização deste mestrado e por todo o apoio concedido.

Aos meus amigos que se encontram no Brasil e aos que estiveram comigo em Portugal ao longo desta caminhada, pelas mútuas descobertas, angústias, parcerias, momentos de alegria vividos e por se fazerem família nos momentos bons e ruins.

A todas as pessoas que estiveram presentes e que, de alguma forma, colaboraram e prestaram apoio na realização das análises e contribuíram para o desenvolvimento do trabalho, em especial a Ouarda Della.

Minha profunda gratidão a todos!

Índice

Lista de tabelas	vi
Lista de figuras	vii
Lista de anexos	viii
Lista de abreviações	ix
Resumo	xi
Abstract	xiii
Cap. 1 Introdução	15
Cap. 2 Revisão bibliográfica	17
2.1 Glúten	17
2.2 Tremoço	19
2.3 <i>Brownies</i>	22
2.3.1 Açúcar branco	24
2.3.2 Ovos	25
2.3.3 Gordura	25
2.3.4 Cacau	26
2.4 Processo de produção	27
2.5 Análise Sensorial	28
2.6 Desafios	31
Cap. 3 Objetivos	33
3.1 Objetivo geral	33
3.2 Objetivos específicos	33
Cap. 4 Material e Métodos	34
4.1 Ingredientes	34
4.2 Produção da farinha de tremoço	34
4.3 Caracterização da farinha de tremoço	35
4.4 Produção dos <i>brownies</i>	35
4.5 Caracterização dos <i>brownies</i>	40
4.5.1 <i>Rendimento e dimensões</i>	40
4.5.2 <i>Caracterização físico-química</i>	40
4.5.3 <i>Análise do perfil de textura</i>	49
4.5.3 <i>Índice glicêmico</i>	50
4.5.4 <i>Análises sensorial</i>	51

Cap. 5 Resultados e discussão.....	54
5.1. Caracterização da farinha de tremço.....	54
<i>5.1.1. Perfil de ácidos gordos para as farinhas</i>	<i>57</i>
<i>5.1.2. Aminoácidos Livres</i>	<i>59</i>
5.2. Desenvolvimento do brownie.....	61
5.3. Caracterização dos brownies.....	62
<i>5.3.1. Rendimento, aspeto visual e dimensões.....</i>	<i>62</i>
<i>5.3.2. Caracterização físico-química</i>	<i>64</i>
<i>5.3.3. Ácidos gordos.....</i>	<i>68</i>
<i>5.3.4. Aminoácidos Livres</i>	<i>70</i>
<i>5.3.5. Perfil de textura dos brownies.....</i>	<i>72</i>
<i>5.3.6. Índice glicémico.....</i>	<i>75</i>
<i>5.3.7. Análise sensorial</i>	<i>76</i>
Cap. 6 Conclusão	81

Lista de tabelas

Tabela 1: Valores de parâmetros físico-químicos do L. albus descritos na literatura. ..	20
Tabela 2: Caracterização da físico-química das farinhas.	54
Tabela 3: Perfil de ácidos gordos da FTC e da FTT.....	57
Tabela 4: Perfil de aminoácidos livres da FTC e da FTT.....	59
Tabela 5: Composição da mistura dos ingredientes utilizados na produção dos <i>brownies</i>	62
Tabela 6: Dados da pesagem dos <i>brownies</i> antes do preparo, após assado, rendimento percentual da receita e as dimensões dos <i>brownies</i> inteiros.....	62
Tabela 7: Caracterização físico-química dos <i>brownies</i> produzidos.	65
Tabela 8: Perfil de ácidos gordos do BC e do BT.	69
Tabela 9: Perfil de aminoácidos das amostras BC e BT.	70
Tabela 10: Perfil de textura da parte frontal dos <i>brownies</i>	73
Tabela 11: Efeito da incorporação de tremoço no índice glicémico dos <i>brownies</i>	75
Tabela 12: Escores sensoriais da avaliação de <i>brownie</i> de chocolate com diferentes farinhas em sua composição.	78

Lista de figuras

Figura 1: Frações proteicas do glúten e sua reação sob efeito de água e energia	18
Figura 2: L. albus cru	19
Figura 3: Fluxograma do processo de produção do brownie.....	27
Figura 4: Etapas para o preparo da FTT	35
Figura 5: Utensílios utilizados na preparação dos brownies	35
Figura 6: Ingredientes utilizados na formulação BC	37
Figura 7: Ingredientes utilizados na formulação BT.....	37
Figura 8: Etapas do desenvolvimento dos brownies e sua padronização de tempos de mistura	38
Figura 9: Forma utilizada.....	39
Figura 10: (a) Forno utilizado no processo de cozedura; (b) posição da forma no interior do forno	39
Figura 11: Equipamento AquaLab.....	41
Figura 12: Dessecador e a mufla utilizada.....	43
Figura 13: a) Digestão das proteínas; b) Tubos após a digestão; c) Destilador Kjeldahl.	44
Figura 14: Extrator Soxhlet.....	45
Figura 15: Analisador de textura	50
Figura 16: Apresentação da análise sensorial realizada.....	53
Figura 17: a) BT; b) BC	64
Figura 18: Diferenças com relação a BT e BC em parâmetros de textura	74
Figura 19: a) Sexo dos participantes; b) Idade dos participantes.....	77

Lista de anexos

Anexo 1. Ficha da sensorial.	95
Anexo 2. Alguns dos comentários escritos pelos julgadores na ficha da sensorial.....	96

Lista de abreviações

ACN – Acetonitrilo
AOAC – Association of Official Analytical Chemists
AUC – Área sob a curva
Aw – Atividade de água
BC – *Brownie* controle
BT – *Brownie* de tremço
CA – Califórnia
CC – Certamente compraria
CIE – Comissão Internacional de Iluminação
CNC – Certamente não compraria
ELISA – Enzyme-Linked Immunosorbent Assay
EUA – Estados Unidos da América
FAME – Ésteres metílicos de ácidos graxos
FAT – Fibra alimentar total
FB – Fibra bruta
FDA – Administração de Alimentos e Medicamentos
FDN – Fibra em detergente neutro
FTC – Farinha de tremço crua
FTT – Farinha de tremço tratada
GC-FID – Cromatografia Gasosa com Detector de Ionização em Chama
GOPOD – Glicose oxidase–peroxidase
H₂O – Água
HPLC – High Performance Liquid Chromatography
IA – Índice de aceitação
IG – Índice glicémico
IGe – Índice glicémico estimado
IH – Índice hedônico
LDL – Lipoproteína de baixa densidade
MS/MS – Espectrometria de massas em tandem
MUFA – Ácidos graxos monoinsaturados
pH – Potencial hidrogeniônico
PI – Padrão interno

PNC – Provavelmente não compraria
PUFA – Ácidos graxos poli-insaturados
 R^2 – Coeficiente de determinação
RF – Radiofrequência
RI – Índice de refração
rpm – Rotações por minuto
SFA – Ácidos graxos saturados
SIM – Monitorização de Íons Seleccionados
TD – Tenho dúvidas se compraria
TDF – Fibra alimentar total
UE – União Europeia
UHPLC – Ultra-High Performance Liquid Chromatography
USD – Dólar americano

Resumo

A crescente procura por produtos isentos de glúten tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas nutricionalmente superiores às formulações tradicionais, sobretudo para consumidores que evitam o glúten por necessidade clínica ou por opção nutricional. Esta tendência tem motivado a indústria alimentar e o meio científico a investigar novas matérias-primas capazes de substituir a farinha de trigo, assegurando qualidade nutricional, tecnológica e sensorial. Neste contexto, o tremço branco (*Lupinus albus L.*) destaca-se pelo seu elevado teor de proteína e de fibras, constituindo um ingrediente promissor para produtos de pastelaria sem a presença de glúten. O presente estudo teve como objetivo desenvolver um *brownie* de chocolate sem glúten com substituição total da farinha de trigo pela farinha de tremço tratada (FTT), obtida após demolha, cozedura, lixiviação, secagem e moagem das sementes. Duas formulações de *brownie* foram avaliadas, uma controlo com farinha de trigo (BC) e um *brownie* de tremço (BT). FTT foi caracterizada quanto à composição proximal (humidade, cinzas, lípidos, proteínas, fibras e hidratos de carbono), além de açúcares livres por cromatografia líquida, perfil de ácidos gordos por cromatografia gasosa e aminoácidos livres por cromatografia líquida combinada com espectrometria de massas. Para os *brownies*, além das análises citadas, realizaram-se os ensaios de perfil de textura, determinação do índice glicémico e avaliação da aceitação sensorial. A FTT apresentou elevado teor de proteínas ($40,02 \pm 2,15$ g/100 g_{bs}) e de fibras ($41,30 \pm 1,77$ g/100 g_{bs}), confirmando o seu potencial para o enriquecimento nutricional de produtos de pastelaria. A substituição integral da farinha de trigo pela FTT conduziu a um *brownie* com composição nutricional significativamente melhorada, apresentando maior teor de fibras ($10,21 \pm 0,73$ g/100 g_{bs} vs. $3,59 \pm 0,21$ g/100 g_{bs}), maior teor proteico ($14,09 \pm 0,85$ g/100 g_{bs} vs. $9,27 \pm 0,43$ g/100 g_{bs}) e menor teor de hidratos de carbono ($40,18 \pm 1,66$ g/100 g_{bs} e $57,09 \pm 2,14$ g/100 g_{bs}), mantendo valor energético semelhante ao controlo. Estes efeitos refletiram-se de forma marcada no índice glicémico (IG): enquanto o BC apresentou um IG muito elevado ($94,4 \pm 2,1\%$), o BT revelou um valor substancialmente inferior ($14,5 \pm 0,8\%$), posicionando-se como um alimento de baixo índice glicémico. No domínio tecnológico, o BT apresentou textura menos dura do que BC (748 ± 35 g vs. 2470 ± 120 g) e menor coesividade, mas manteve características sensoriais satisfatórias, com pontuações de aceitação entre $6,9 \pm 0,3$ e $7,6 \pm 0,4$, próximas das obtidas para o BC. A intenção de compra revelou-se igualmente positiva, reforçando o potencial de aceitação do produto. Em conjunto, os resultados

demonstram que a FTT constitui uma alternativa viável e nutricionalmente vantajosa para o desenvolvimento de produtos de pastelaria sem glúten, representando uma solução promissora para consumidores que não podem consumir glúten ou que procuram ativamente este tipo de produto.

Palavras-chave: tremoços, glúten, isento de glúten, desenvolvimento de produto, índice glicémico, formulação, análise sensorial.

Abstract

The growing demand for gluten-free products has driven the development of nutritionally superior alternatives to traditional formulations, especially for consumers who avoid gluten for clinical or nutritional reasons. This trend has motivated the food industry and scientific community to investigate new raw materials capable of replacing wheat flour while ensuring nutritional, technological, and sensory quality. In this context, white lupin (*Lupinus albus* L.) stands out for its high protein and fibre content, making it a promising ingredient for gluten-free pastry products. The present study aimed to develop a gluten-free chocolate brownie with total replacement of wheat flour by treated lupin flour (FTT), obtained after soaking, cooking, leaching, drying, and milling of the seeds. Two brownie formulations were evaluated: a control with wheat flour (BC) and a lupin brownie (BT). FTT was characterised regarding proximate composition (moisture, ash, lipids, proteins, fibre, and carbohydrates), free sugars by liquid chromatography, fatty acid profile using gas chromatography, and free amino acids by liquid chromatography coupled with mass spectrometry. For the brownies, in addition to the above-mentioned analyses, texture profile analysis, glycaemic index determination, and sensory acceptance evaluation were conducted. FTT showed high protein (40.02 ± 2.15 g/100 g_{dw}) and fibre (41.30 ± 1.77 g/100 g_{dw}) content, suggesting potential for nutritional enrichment of pastry products. The complete replacement of wheat flour by FTT led to a brownie with significantly improved nutritional composition, presenting higher fibre content (10.21 ± 0.73 g/100 g_{dw} vs. 3.59 ± 0.21 g/100 g_{dw}), higher protein content (14.09 ± 0.85 g/100 g_{dw} vs. 9.27 ± 0.43 g/100 g_{dw}), and lower carbohydrate content (40.18 ± 1.66 g/100 g_{dw} vs. 57.09 ± 2.14 g/100 g_{dw}), while maintaining energy value similar to the control. These effects were clearly reflected in the glycaemic index (GI): while BC showed a very high GI ($94.4 \pm 2.1\%$), BT showed a substantially lower GI ($14.5 \pm 0.8\%$), positioning it as a low-glycaemic-index food. From a technological viewpoint, BT presented a softer texture than BC (748 ± 35 g vs. 2470 ± 120 g) and lower cohesiveness, but maintained satisfactory sensory characteristics, with acceptance scores between 6.9 ± 0.3 and 7.6 ± 0.4 , close to those of the control. Purchase intention was also positive, reinforcing the product's acceptance potential. Taken together, the results demonstrate that FTT constitutes a viable and nutritionally advantageous alternative for developing gluten-free pastry products, representing a promising solution for consumers who cannot consume gluten or who actively seek this type of product.

Keywords: lupins, gluten, gluten-free, product development, glycemic index, formulation, sensory analysis

O glúten, um complexo proteico constituído essencialmente por gliadina e glutenina, é o principal responsável pela formação da rede viscoelástica que confere às massas de panificação propriedades de coesividade, elasticidade e retenção de gases (Haixi, 2025; Zhang, 2025). Essas características são cruciais para o desenvolvimento de volume, textura e uniformidade em produtos elaborados com farinha de trigo. Contudo, nos últimos anos, registou-se um aumento da incidência de condições adversas relacionadas à ingestão de glúten, abrangendo a doença celíaca, a alergia ao trigo e a sensibilidade ao glúten não celíaca (Zhang, 2025; Vargas, 2025; Kaur, 2024). Dentre estas condições, a doença celíaca constitui uma patologia autoimune diagnosticada que exige a eliminação total e vitalícia do glúten da dieta. Estima-se que a prevalência global dessas intolerâncias relacionadas ao glúten está em ascensão, impulsionando a demanda por alimentos isentos de glúten em todo o mundo, um mercado que tem crescido no período de 2020 a 2025 cerca de 8,1% por ano (Das, 2024).

Apesar do crescimento do mercado de produtos livres de glúten, a substituição da farinha de trigo, especialmente em produtos de panificação e confeitaria, representa um desafio significativo para a indústria alimentar (Martínez, 2025; Santos, 2019). Tradicionalmente, os produtos sem glúten disponíveis são elaborados com amidos e farinhas refinadas, sendo as mais comuns a farinha de arroz e o amido de milho. Além dessas, é muito frequente o uso de fécula de batata e fécula de mandioca (tapioca) como componentes principais das formulações (Medina, 2018). Contudo, estes alimentos apresentam limitações tecnológicas e sensoriais, incluindo textura frágil, menor maciez, baixa retenção de humidade e volume reduzido quando comparados às versões contendo glúten (Simon, 2014). Outra limitação é que a dieta sem glúten atual pode apresentar desequilíbrios nutricionais, sendo os produtos comerciais geralmente mais caros (podendo ser até 162% mais custosos), com maior teor de hidratos de carbono e menor teor de fibras e proteínas (Santos, 2019; Medina, 2018).

Diante da necessidade de desenvolver produtos sem glúten com valor nutricional melhorado, a pesquisa concentra-se no uso de farinhas alternativas ricas em proteínas e fibras, como cereais, pseudocereais (como amaranto, quinoa e chia) e leguminosas.

Dentre as leguminosas, o tremçoço (*Lupinus spp.*) destaca-se como alternativa de elevado potencial para indústria alimentar. O tremçoço distingue-se pela sua composição única: é isento de glúten, contendo cerca de 45% de proteínas e 30% de fibras, além de ser praticamente isento de amido, podendo melhorar significativamente o perfil nutricional (Severino, 2011).

Cap. 2

Revisão bibliográfica

2.1 Glúten

O glúten é a designação geral para as principais proteínas de armazenamento encontradas em cereais como trigo, centeio e cevada, além do triticale, sendo considerado um dos agregados proteicos mais complexos presentes na natureza (Vargas, 2025; Das, 2024). A relevância tecnológica do glúten reside na sua capacidade de conferir viscoelasticidade, a qual é crucial para a qualidade de produtos de panificação e massas (Magalhães, 2025). Estruturalmente, o glúten é composto por prolaminas e glutelinas, sendo tradicionalmente dividido em duas frações principais: as gliadinas e as gluteninas (Das, 2024). A gliadina é a fração proteica monomérica, ou seja, uma única cadeia polipeptídica, classificada em quatro grupos: α -, β -, γ - e ω -. Além disso, as gliadinas são proteínas globulares, solúveis em álcool, que contribuem para a viscosidade e extensibilidade da massa, possuindo estruturas compactas estabilizadas por interações hidrofóbicas, pontes de hidrogênio e ligações dissulfeto intramoleculares (exceto a ω -gliadina) (Zhang, 2026; Magalhães, 2025). As gluteninas, por sua vez, são macromoléculas poliméricas complexas ligadas por ligações dissulfeto inter e intra-cadeias, conferindo a resistência estrutural à massa. A glutenina é o componente polimérico, dividido em subunidades de alto peso molecular e baixo peso molecular. Ao hidratar-se, essas proteínas formam uma rede viscoelástica contínua, que melhora a capacidade da massa de reter gases de fermentação e água, resultando em maior volume e maciez nos produtos assados (Das, 2024; Magalhães, 2025).

O papel mais crucial do glúten na indústria de panificação reside na sua capacidade de formar uma rede viscoelástica tridimensional. Quando a farinha de trigo é misturada com água e sovada, como demonstra a **Figura 1**, a gliadina e a glutenina incham e formam essa rede. Esta estrutura é essencial para reter o dióxido de carbono (CO₂) produzido pela levedura durante a fermentação e o cozimento, o que, por sua vez, determina o volume, a textura e a forma final do produto de panificação (Menaka et al., 2024). Além de fornecer a estrutura necessária para aeração, o glúten também oferece coesividade, rigidez estrutural, e capacidade de retenção de água, o que auxilia na maciez e prolonga a vida útil (*shelf life*) do produto. A qualidade de produtos de panificação e massas tradicionais está intrinsecamente ligada à presença e funcionalidade dessa rede proteica (Magalhães, 2025; Das, 2024).

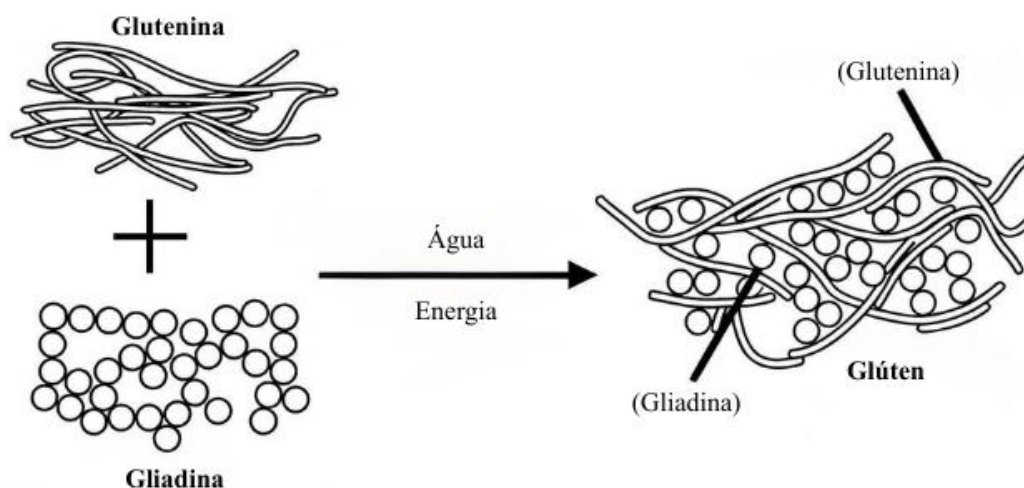


Figura 1: Frações proteicas do glúten e sua reação sob efeito de água e energia. **Fonte:** a autora (2026).

Contudo, a ingestão do glúten está associada a reações adversas mediadas por resposta imunológica, como a doença celíaca, a alergia alimentar ao trigo, e a sensibilidade ao glúten não celíaca (Vargas, 2025; Silva, 2023). A toxicidade deve-se, em parte, à elevada concentração de prolina e glutamina nas prolaminas (como a gliadina), que as tornam parcialmente resistente às enzimas proteolíticas do trato gastrointestinal humano (Kaur, 2024). Especificamente, o peptídeo 33-mer de gliadina desamidada, derivado do glúten, pode formar estruturas oligoméricas capazes de danificar as células epiteliais intestinais, iniciando inflamação e no ataque autoimune em indivíduos suscetíveis (Das, 2024). O tratamento recomendado para essas doenças relacionadas ao glúten é a modificação dietética com redução até a exclusão de glúten e derivados do trigo. Importa referir que, segundo o Codex Alimentarius, um alimento só pode ser classificado como isento de glúten quando apresenta menos de 20 mg/kg (20 ppm), limite adotado internacionalmente por entidades reguladoras como a União Europeia e a FDA. Este valor resulta de critérios de segurança para doentes celíacos e corresponde à sensibilidade mínima dos métodos analíticos mais utilizados, como o ensaio ELISA (Menaka et al., 2024). Diante dessa problemática de saúde, a substituição da funcionalidade tecnológica do glúten em produtos isentos é um desafio constante para a indústria alimentar (Kaur, 2024).

O mercado global de produtos isentos de glúten cresceu de USD 4,18 bilhões em 2017 para USD 6,47 bilhões em 2023, impulsionando a procura por substitutos funcionais

do glúten (Menaka et al., 2024). Assim, essas informações demonstram que o glúten se tornou um importante fator de atenção em saúde pública e alimentação, e que essa preocupação tem impulsionado um mercado em constante expansão de produtos destinados a consumidores com restrições ou preferências dietéticas relacionadas ao glúten.

2.2 Tremoço

O tremoço, pertencente ao gênero *Lupinus* (Família Fabaceae), é utilizado há mais de dois milênios tanto na alimentação humana e animal quanto como adubo verde para melhoria das características do solo (Sanz et al., 2010). As espécies de maior relevância agrônômica e tecnológica incluem *Lupinus albus* L. (tremoço branco), *L. angustifolius* (tremoço azul ou de folha estreita), *L. luteus* (tremoço amarelo) e *L. mutabilis* (tremoço andino) (Osorio, 2022). O crescente interesse pelo seu emprego na indústria alimentícia, especialmente na formulação de farinhas para massas, pães, bolos e produtos especiais como *brownies*, deve-se ao seu perfil nutricional diferenciado (Sanz, et al., 2010). Sendo que o *L. albus*, apresentado na **Figura 2**, é frequentemente destacado como o mais amplamente utilizado na indústria alimentícia para consumo humano, especialmente devido à sua coloração clara e sementes geralmente maiores (Boukid, 2022).



Figura 2: *L. albus* cru. **Fonte:** a autora (2026).

Na literatura há diversas informações sobre os parâmetros físico-químicos do *L. albus*, com o objetivo de sintetizar, a **Tabela 1** apresenta um resumo dos principais valores reportados por diferentes autores.

Tabela 1: Valores de parâmetros físico-químicos do *L. albus* descritos na literatura.

Referência	Proteína (g/100 g _{bs})	Lípidos (g/100 g _{bs})	Fibra (g/100 g _{bs})	Cinzas (g/100 g _{bs})	Observações
Erbaş et al., (2005)	32,20	5,95	16,20 (FB)	2,65	Sementes cultivadas na Turquia; caracterização química e nutricional geral
Musco et al., (2017)	37,80	8,67	46,60 (FAT)	5,25	Estudo comparativo entre espécies, com dados específicos para seis variedades de <i>L. albus</i>
Gresta et al., (2023)	32,70 – 35,60	8,6 – 11,2	10,10 – 12,00 (FB)	2,70 – 3,10	Inclui variedades comerciais e ecótipos; foco agronômico e qualidade
Chamone et al., (2023)	34,10	9,90	38,40 (FAT)	2,62	Avaliação do efeito de processamento (extrusão e desamargamento aquoso)
Ferchichi et al., (2021)	34,60	0,10	16,97 (NDF)	4,59	Comparação entre ecótipos tunisinos e variedade comercial
Prusinski (2017)	32,90 – 38,00	8,00– 11,50	10,10 – 36,70 (FB)	—	Revisão bibliográfica sobre valor nutricional e funcional do tremço branco

Sendo FB = fibra bruta; FAT = fibra alimentar total; NDF = fibra detergente neutra.

A **Tabela 1** sintetiza a composição nutricional do *L. albus* reportada em diferentes estudos, evidenciando a elevada variabilidade associada ao genótipo, à origem geográfica e ao tipo de processamento aplicado (Annicchiarico et al., 2014). De forma consistente, o tremço branco apresenta teores elevados de proteína, com valores compreendidos entre 32,2 e 38,0 g/100 g de matéria seca, confirmando o seu potencial como fonte proteica vegetal de elevado interesse nutricional. O teor lipídico situa-se, de um modo geral, entre 8,0 e 11,5 g/100 g de matéria seca, sendo predominantemente constituído por ácidos gordos insaturados, conforme amplamente descrito na literatura (Erbaş et al., 2005). Relativamente à fração fibrosa, observam-se diferenças substanciais entre estudos, decorrentes quer da metodologia analítica utilizada (fibra bruta, fibra alimentar total ou fibra em detergente neutro), quer do estado da matriz analisada, com valores que podem variar entre 10,1 e 46,6 g/100 g de matéria seca, refletindo a riqueza do tremço em fibras totais (Yilmaz et al., 2015). O teor de cinzas, indicativo do conteúdo mineral, apresenta-se relativamente estável, situando-se maioritariamente entre 2,6 e 5,3 g/100 g de matéria seca (Mohamed e Rayas-Duarte, 1995). Adicionalmente, estudos que avaliam o impacto do processamento, como o desamargamento, demonstram que este processo pode influenciar a composição final da farinha, sem comprometer o elevado valor nutricional do tremço branco (Chamone et al., 2023).

A incorporação do tremço em produtos alimentícios apresenta diversas vantagens. Estudos demonstram que a substituição parcial de farinhas convencionais por farinha de tremço (até 10%) pode melhorar o valor nutricional do alimento (elevando os teores de proteínas de alto valor biológico (especialmente em lisina e leucina), fibras dietéticas, minerais essenciais (como ferro, zinco, cálcio e potássio) e ácidos gordos poli-insaturados (ómega-3 e ómega-6)), aumentar a saciedade e reduzir o índice glicémico (Estivi et al., 2025; Lopez et al., 2015). No entanto, teores superiores a 10% podem comprometer a estrutura de produtos que dependem da formação de rede de glúten, como bolos e pães (Franz et al., 2022).

A composição nutricional do tremço está associada a diversos benefícios metabólicos e cardiovasculares (Khedr et al., 2023). Dietas enriquecidas com proteínas e fibras provenientes do tremço estão relacionadas à redução do risco cardiovascular e ao aumento da saciedade, favorecendo menor ingestão calórica (Malekipoor, 2022; Prusinski, 2017). Evidências indicam que o consumo de produtos enriquecidos com farinha de tremço pode reduzir a glicemia e a insulinemia pós-prandiais (Khedr, et al., 2023). Adicionalmente, a presença da proteína conglutina- γ , que apresenta efeito

semelhante ao da insulina, reforça o potencial do tremço como ingrediente funcional para indivíduos obesos ou com diabetes tipo 2 (Cremonez, et al., 2013; Prusinski, 2017). A fibra alimentar do tremço também desempenha papel relevante. Cerca de 83 g/100 g da fibra total é insolúvel, com alta capacidade fermentativa, promovendo benefícios para o microbioma intestinal, e contribuindo para a redução do colesterol LDL e prevenção do câncer colorretal (Naumann et al., 2020). Tais atributos, somados ao perfil proteico rico em lisina, fazem do tremço uma excelente matéria-prima para alimentos funcionais.

Apesar do potencial nutricional e funcional, o emprego do tremço na alimentação humana enfrenta desafios relacionados à presença de alcalóides, responsáveis por sabor amargo e toxicidade em altas concentrações (Osorio, 2022). Cultivares “doces” de *L. albus* apresentam baixos teores de alcalóides (0,01%–0,05%), permitindo consumo direto (Cremonez et al., 2013). Já espécies tradicionalmente amargas, como *L. mutabilis* e *L. luteus* (Rodés-Bachs, 2023), necessitam de processos de desamargamento que podem reduzir até 85% dos alcaloides.

O processamento do tremço assume, assim, um papel determinante, influenciando não apenas a redução dos alcaloides, mas também a preservação do valor nutricional e o desempenho tecnológico da farinha obtida (Taberner-Pibernat et al., 2025). Entre os métodos mais utilizados, destacam-se a maceração em água, com trocas sucessivas, seguida de cozimento, estratégias eficazes na remoção de compostos amargos e potencialmente tóxicos, como a lupanina e a lupinina (Naumann et al., 2020; Estivi et al., 2025). Estes procedimentos permitem reduções significativas do teor de alcaloides, tornando o ingrediente seguro para consumo humano.

A escolha do *brownie* como veículo de aplicação justifica-se por ser um alimento amplamente aceito, de apelo emocional e elevado consumo, o que facilita a introdução de ingredientes funcionais de forma discreta e agradável (Selvakumaran, et al. 2019). Essa estratégia contribui para o aumento da aceitação de leguminosas menos exploradas, como o tremço, e estimula o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis sem sacrificar o prazer do consumo (Dos Santos, 2019). Portanto, o uso do tremço na formulação de *brownies* representa uma alternativa viável e inovadora para a indústria alimentar funcionais, desde que sejam respeitados os limites de inclusão e efetuados os processamentos adequados (Rodrigues et al., 2025).

2.3 Brownies

O *brownie* é uma sobremesa popular e amplamente apreciada, classificada como um produto de panificação ou confeitaria assado e achatado. É valorizado pela sua textura rica e húmida, que o distingue de bolos ou biscoitos, apresentando frequentemente um interior denso e cremoso com uma superfície mais firme. A formulação básica e tradicional do *brownie* exige ingredientes fundamentais para a sua estrutura, incluindo farinha de trigo (fonte de glúten, que fornece a rede viscoelástica), açúcar (sacarose, essencial para a doçura e estrutura), ovos (que contribuem para a estabilidade, estrutura e humidade), gordura (tradicionalmente manteiga, um ácido gordo saturado), e chocolate ou cacau em pó. Por se enquadrar na categoria de produtos de confeitaria, o *brownie* é tipicamente conhecido por ter elevado valor energético proveniente de açúcares e gorduras. Apesar do seu perfil indulgente, a praticidade, a facilidade de armazenamento e a individualidade das porções conferem-lhe um grande potencial para ser aprimorado com ingredientes que melhorem as suas características nutricionais e confirmem uma proposta funcional (Nascimento et al., 2020).

O desenvolvimento de produtos sem glúten é impulsionado por necessidades nutricionais, funcionais e restrições dietéticas (Menaka et al., 2024). Entretanto, destaca-se que a aceitação sensorial ainda configura entre as características indispensáveis ao consumidor para inclusão de novos produtos em sua dieta. Nesse contexto, produtos de panificação e confeitaria à base de farinha de trigo, incluindo pães, biscoitos e bolos, constituem alimentos inacessíveis a indivíduos com doença celíaca ou sensibilidade, evidenciando a necessidade de investir no desenvolvimento de produtos para atender este crescente público.

Dessa forma, matérias-primas alternativas vêm sendo investigadas com resultados igualmente satisfatórios no desenvolvimento de *brownies* sem glúten (Large, 2021). Formulações contendo farinha de arroz e farinha de trigo sarraceno, associadas à goma xantana, apresentaram elevados índices de aceitação global (superiores a 70%), sendo a combinação de 60% de farinha de arroz, 40% de trigo sarraceno e 0,2% de goma xantana a preferida pelos avaliadores (Simon, 2014). Estudos adicionais demonstraram que *brownies* elaborados com farinha de linhaça marrom apresentam maior aceitação global e maior intenção de compra quando comparados às formulações tradicionais e àquelas elaboradas com chia, evidenciando o potencial funcional e comercial dessas sementes (Nascimento et al., 2020). Ainda, a utilização de *okara*, um coproduto da soja rico em

proteínas, em conjunto com alfarroba, um substituto do cacau isento de cafeína, resultou em *brownies* com apelo funcional, elevados teores proteicos e boa aceitação sensorial (Rodrigues, 2025). Paralelo a este panorama de inovação alimentar, o tremço (*Lupinus sp.*), uma leguminosa utilizada pelo ser humano há mais de 2000 anos, emerge como um substituto promissor da farinha de trigo, especialmente em formulações que visam atender a dietas restritivas ou funcionais (Severino, 2011). Dessa forma, o desenvolvimento de *brownies* sem glúten utilizando leguminosas, como o tremço, representa uma abordagem eficaz para atender à demanda por produtos que conciliem propriedades sensoriais satisfatórias com critérios de saúde e valor nutricional.

Além da escolha da farinha utilizada na formulação, a produção de *brownie* envolve a incorporação de uma série de ingredientes fundamentais que contribuem para a estrutura, o sabor, a textura e a estabilidade do produto. Componentes estes que desempenham papéis tecnológicos específicos, influenciando desde as reações físico-químicas durante o processamento térmico até as propriedades sensoriais percebidas pelos consumidores. A caracterização desses ingredientes e de suas respectivas funções torna-se essencial para compreender a formação da matriz do *brownie*, bem como para otimizar a qualidade final do produto, especialmente em formulações alternativas ou sem glúten. Nesse sentido, além da farinha, no *brownie* temos:

2.3.1 Açúcar branco

O açúcar, a sacarose, desempenha funções cruciais no *brownie*, indo além do mero adoçamento, e é essencial para as características tecnológicas, estruturais e sensoriais do produto. Quimicamente, a sacarose é um dissacarídeo (um hidrato de carbono) que, ao ser hidrolisado, fornece monossacarídeos responsáveis pelo sabor doce. Estruturalmente, o açúcar ajuda a dar estrutura ao *brownie* e compete com a farinha na absorção dos líquidos, como a manteiga (Cohen et al., 2024). A redução no teor de açúcares pode comprometer as características físicas e sensoriais, sobretudo a textura (Nascimento et al., 2020), sendo que a concentração ideal para a doçura desejada frequentemente se situa acima de 30% (Santos et al., 2019). Além disso, o açúcar é vital para a aparência, pois participa das reações de escurecimento não enzimático durante o cozimento, como a caramelização, uma reação complexa que decompõe o açúcar pelo calor, e as reações de Maillard, que contribuem para a coloração final (tons vermelhos e amarelos). O tipo de açúcar, como o demerara, pode influenciar positivamente o sabor e atuar na formação da característica superfície *craquelada* do *brownie* (Nascimento et al., 2020).

2.3.2 Ovos

Os ovos são um componente essencial na formulação tradicional de *brownies* e de outros produtos de confeitaria, desempenhando funções estruturais, tecnológicas e nutricionais cruciais (Cohen et al., 2024). No contexto da massa, os ovos adicionam estabilidade e estrutura, sendo um ingrediente importante para a emulsificação e estabilização da gordura na massa. Além disso, eles contribuem para melhorar a cor e o sabor do produto final (Simon, 2014). As proteínas do ovo, especialmente as da clara, são capazes de formar uma espuma que aprisiona bolhas de ar (influenciando na aeração do produto), e podem formar redes proteicas que conferem viscoelasticidade e coesividade à massa, auxiliando na estrutura do produto assado, de maneira similar ao glúten. Nutricionalmente, os ovos também são uma boa fonte de gordura, proteína, vitaminas e minerais, notavelmente o ferro (Moreira et al., 2023).

2.3.3 Gordura

A gordura, como a manteiga ou óleos, é um ingrediente essencial nas formulações de *brownie* e sua função vai além de fornecer sabor, pois é crucial para a maciez, humidade, e riqueza da textura, o que contribui para a aceitabilidade geral do produto. As gorduras, que são parte dos lipídios, adicionam lubricidade à textura ao envolver as partículas de amido e proteína, atuando como agentes amaciantes e afetando o volume final. Em termos de cozimento, o papel das gorduras é aprisionar o ar na massa durante a mistura, o que fornece a estrutura para os gases de fermentação e contribui para a estrutura dos produtos assados, sendo essenciais para manter a maciez durante o armazenamento. A manteiga, uma gordura sólida à temperatura ambiente, precisa ser derretida com o chocolate escuro em receitas tradicionais e é uma fonte de gorduras saturadas. A ingestão de gorduras saturadas, como as da manteiga, tem sido associada ao aumento do risco de doenças cardiovasculares, pois tendem a elevar o colesterol LDL (Martínez et al. 2025).

A substituição da manteiga por óleos vegetais é uma tendência crescente na indústria de panificação, buscando ingredientes mais saudáveis e sustentáveis, uma vez que óleos são ricos em gorduras insaturadas. A substituição total ou parcial da manteiga por óleos de nozes prensados a frio (como amêndoa, pistache e noz), ou por óleo vegetal (como óleo de canola ou de soja), melhora o perfil lipídico do *brownie*, reduzindo o teor de gorduras saturadas e aumentando o teor de ácidos gordos insaturados (monoinsaturados e poli-insaturados). O óleo de canola, por exemplo, é uma excelente fonte de ácidos gordos ômega-3 (Nascimento et al., 2020). A troca por óleos não

emulsionados, que são líquidos à temperatura ambiente, geralmente resulta em uma textura mais macia (redução da dureza, "*gumminess*" e "*chewiness*") no *brownie*. Em formulações veganas, o óleo de soja (ou óleo de canola) pode ser usado no lugar da manteiga (Moreira et al., 2023).

Nesse sentido, o óleo de girassol destaca-se como uma escolha estratégica para a formulação de brownies por ser uma fonte rica em gorduras insaturadas, o que contribui para a melhoria do perfil lipídico do doce ao substituir gorduras saturadas como a manteiga, associadas a riscos cardiovasculares. Além disso, a utilização de óleos vegetais em vez de gorduras sólidas resulta em um produto com textura mais macia e elástica, além de reduzir a dureza e a gomosidade, características que elevam a aceitação sensorial por parte dos consumidores (Martínez et al. 2025). Adicionalmente, o óleo de girassol já é empregado em formulações comerciais de brownies sem glúten como uma alternativa de gordura vegetal que garante a umidade e a riqueza necessárias para a massa, permitindo que o sabor do chocolate permaneça em evidência (Dos Santos, 2019).

2.3.4 Cacao

O cacau (fruto de *Theobroma cacao* L.) é um ingrediente essencial nas formulações de *brownie*, atuando primariamente nas funções sensorial, de cor, e funcionalidade. Sua principal função sensorial e tecnológica é conferir o característico sabor e aroma de cacau e a cor marrom escura (Santos, 2019), sendo o odor do cacau um fator que influencia positivamente a aceitação do produto (Simon, 2014). Em formulações com farinhas alternativas, a intensidade do aroma do cacau pode ajudar a mascarar o sabor residual de outros ingredientes, como o feijão preto (Freitas et al., 2024). Do ponto de vista funcional, o cacau é considerado um fruto com alegações de propriedades funcionais devido ao seu alto teor de compostos fenólicos, que possuem um alto poder antioxidante (Moreira et al., 2023). Entre os polifenóis presentes, destacam-se a epicatequina (principal ativo com propriedades cardioprotetoras), as antocianinas, flavanonas, flavonas e ácidos fenólicos, incluindo o ácido ferúlico. O cacau em pó (100% ou 50%) e o chocolate amargo com alto teor de cacau são as formas mais ricas nesses compostos (Santos, 2019). A presença de cacau também contribui para o teor de fibras no *brownie*. Em ensaios sensoriais, a cor marrom escura e o aroma de cacau são atributos frequentemente esperados pelos consumidores de *brownies*. Em algumas formulações, o chocolate em barra (além do cacau em pó) é utilizado (Nascimento et al., 2020). Alternativamente, a alfarroba tem sido utilizada como um substituto do cacau por apresentar cor e sabor

similares, além de não conter compostos estimulantes como cafeína e teobromina (Dutra et al., 2020).

2.4 Processo de produção

O fluxograma do processo de produção do *brownie* encontra-se representado na **Figura 3**. Esse processo envolve um conjunto de operações e alterações físicas e químicas. Este processo é constituído por duas etapas principais: a mistura dos ingredientes e a cozedura.

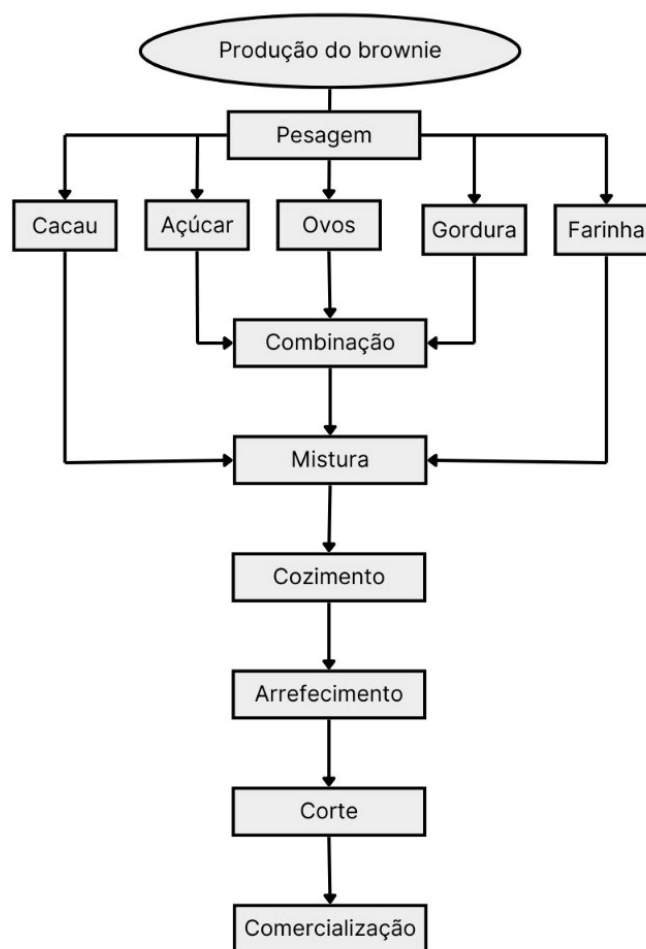


Figura 3: Fluxograma do processo de produção do *brownie*. **Fonte:** Adaptado de Petka (2025).

O processo de produção de um *brownie* inicia com a seleção e preparo dos ingredientes básicos, tipicamente gordura (manteiga ou óleo), açúcar, ovos, cacau e farinha (ou substitutos, em formulações sem glúten). A primeira etapa prática é a pesagem cuidadosa desses ingredientes, o que assegura a precisão das proporções na formulação e garante padronização entre lotes.

Em seguida, procede-se à combinação dos ingredientes. Após a combinação, a mistura propriamente dita, homogeneização da massa, é realizada, de modo a distribuir uniformemente sólidos e líquidos, eliminar grumos e garantir consistência adequada para as etapas seguintes.

Com a massa pronta, ocorre o cozimento em forno. Neste estágio, reações físico-químicas cruciais têm lugar: a gelatinização de amidos e a desnaturação de proteínas, que conferem estrutura à massa; além disso, ocorrem transformações responsáveis pela formação da crosta externa, coloração e desenvolvimento de aroma e sabor. Em bolos e *brownies*, o cozimento costuma parametrizar-se entre 180 °C a 200 °C, conforme literatura clássica de panificação (Cerbella et al., 2014).

Após a cocção, o produto é submetido a um período de arrefecimento, etapa crucial para estabilizar a estrutura interna, permitir a consolidação da textura e facilitar o corte sem deformações.

Com o *brownie* já resfriado, realiza-se o corte em porções, padronizando tamanho e peso, importante tanto para apresentação quanto para controle de rendimento e porcionamento comercial. Por fim, o produto segue para comercialização, o que pode envolver embalagem, rotulagem e etapas logísticas de distribuição.

2.5 Análise Sensorial

A compreensão das causas que direcionam a escolha de certos alimentos em relação a outros pelos consumidores é um grande desafio para os pesquisadores da área de alimentos, pois os consumidores não detêm de conhecimento técnico e na maioria das vezes se expressam de forma intuitiva e pessoal, com isso, a forma de processar seus dados e assim interpretar suas preferências pode ser a chave para o sucesso para o desenvolvimento de produtos alimentícios (Donoghue, 2000). A análise sensorial é definida como “uma disciplina científica utilizada para evocar, medir, analisar e interpretar as respostas aos produtos que são percebidos pelos sentidos da visão, olfato, tato, paladar e audição” (Stone e Sidel, 1993). Aplica-se a análise sensorial em diversas etapas da produção de alimentos, desde alterações nos processos de fabricação ou em algum ingrediente da formulação, nos estudos de vida de prateleira, em análises de armazenamento, para avaliar a preferência e aceitação de um produto pelos consumidores (Vidigal et al., 2015; Dutcosky, 2011), até a caracterização de produtos (Jaeger et al., 2015; Boinbaser et al., 2015; Thuillier et al., 2015).

As metodologias de análise sensorial podem ser divididas em três grandes grupos: métodos de diferença ou discriminativos, métodos analíticos ou descritivos e métodos afetivos, sendo que cada grupo abrange diferentes testes, com objetivos específicos e tipos de provadores diferenciados (Teixeira, 2013).

Os testes sensoriais discriminativos, também designados testes de diferença, têm como principal objetivo verificar se existem ou não diferenças sensoriais entre dois ou mais produtos. Estes testes não avaliam preferência nem aceitação, limitando-se a responder à questão de saber se os produtos são percebidos como diferentes. São considerados métodos essencialmente objetivos, uma vez que procuram minimizar o julgamento hedônico dos provadores. Os atributos são avaliados através de comparações simples e os dados obtidos permitem determinar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre amostras. Entre os testes discriminativos mais utilizados destacam-se o teste triangular, duo-trio, comparação pareada, ordenação e diferença do controlo (Lutz, 2008).

Os testes sensoriais descritivos, por sua vez, têm como finalidade identificar, descrever e quantificar os atributos sensoriais percebidos nas amostras, como aparência, aroma, sabor e textura. Nestes métodos, um painel de provadores treinados define previamente os termos descritivos mais relevantes do produto e avalia a intensidade de cada atributo através de escalas apropriadas. Estes testes permitem a construção de um perfil sensorial detalhado, exigindo treino prévio dos provadores, bem como repetibilidade e reprodutibilidade dos resultados. As metodologias descritivas mais utilizadas incluem o perfil de sabor, o perfil de textura, a análise descritiva quantitativa e a análise tempo-intensidade (Lutz, 2008; Albert et al., 2011; François et al., 2006). Em muitos estudos, é comum a combinação de metodologias estáticas e dinâmicas, como a análise descritiva quantitativa e a análise tempo-intensidade, por se tratarem de técnicas robustas e complementares (Cadena; Bolini, 2011).

Apesar da relevância dos métodos discriminativos e descritivos para a caracterização sensorial de produtos, os testes afetivos assumem um papel central quando o objetivo é avaliar a resposta do consumidor, nomeadamente a aceitação, a preferência e o grau de “gostar” em relação a um produto. Estes testes obtêm diretamente a opinião do consumidor e, por isso, são também denominados testes de consumidor. Ao contrário dos testes analíticos, que recorrem a painéis treinados, os testes afetivos devem ser realizados obrigatoriamente com consumidores não treinados, que sejam utilizadores reais ou potenciais do produto avaliado (Drake, 2007).

Para garantir resultados estatisticamente confiáveis, recomenda-se a participação de um número elevado de consumidores, geralmente entre 50 e 100 indivíduos, uma vez que as respostas sensoriais humanas apresentam elevada variabilidade, influenciada por fatores como idade, cultura, hábitos alimentares e preferências pessoais. No desenvolvimento de novos produtos, como o *brownie* formulado integralmente com farinha de tremoço, os testes afetivos representam a etapa final de validação, permitindo aferir se a inovação apresenta qualidade sensorial suficiente para alcançar aceitação no mercado (Drake, 2007).

Entre os testes afetivos mais utilizados destaca-se o teste de aceitação, cujo objetivo é determinar o grau de prazer ou satisfação que um produto proporciona ao consumidor. Para este efeito, a escala hedônica de 9 pontos é a mais utilizada e considerada robusta, variando de “desgostei extremamente” a “gostei extremamente”. Esta escala permite avaliar a aceitação global do produto ou de atributos específicos, como aparência, aroma, sabor e textura (Drake, 2007). Em produtos de panificação, um índice de aceitabilidade igual ou superior a 70% é frequentemente adotado como critério para considerar um produto sensorialmente aceite (Almeida Do Amaral et al., 2012). No caso de um *brownie* elaborado com farinha de tremoço, a aceitação pode ser influenciada por notas sensoriais características da leguminosa, como sabores “beanosos” (de feijão), herbáceos ou ligeiramente amargos; no entanto, a presença do chocolate na formulação pode contribuir para mascarar estes sabores residuais (Wu et al., 2002).

O teste de intenção de compra complementa o teste de aceitação, avaliando a predisposição do consumidor para adquirir o produto num contexto de mercado (Savelli et al., 2021). Geralmente, é utilizada uma escala estruturada de 5 pontos, variando de “certamente compraria” a “certamente não compraria” (Battochio, 2006; Maurício et al., 2012). Importa salientar que a intenção de compra não depende exclusivamente das características sensoriais do produto, sendo também influenciada por fatores extrínsecos, como alegações nutricionais e de saúde (Torrico et al., 2023). No caso do *brownie* com farinha de tremoço, atributos como a ausência de glúten, o elevado conteúdo de fibras e o teor proteico podem aumentar a intenção de compra, sobretudo entre consumidores celíacos ou indivíduos com interesse nesses produtos, mesmo que sejam identificadas diferenças sensoriais em relação ao *brownie* controlo à base de farinha de trigo (Abreu et al., 2023).

A substituição total da farinha de trigo pela farinha de tremoço pode impactar significativamente a textura do produto, um dos parâmetros críticos para a qualidade de

um *brownie*. Farinhas de leguminosas tendem a alterar características como dureza, mastigabilidade e coesividade, podendo resultar num produto mais denso ou com maior retenção de humidade quando comparado ao *brownie* tradicional (Petka & Topolska, 2025). Assim, a aplicação de testes afetivos nesta investigação permite identificar se as alterações nas propriedades físicas e químicas do produto, decorrentes da incorporação da farinha de tremço, são reconhecidas e forma positiva pelos consumidores ou se se afastam do perfil sensorial esperado, reforçando a importância da análise sensorial como ferramenta essencial no desenvolvimento e reformulação de produtos alimentares (Abreu et al., 2023).

2.6 Desafios

O desenvolvimento de produtos sem glúten com qualidade comparável aos seus equivalentes de trigo é um grande desafio para a indústria alimentar e a tecnologia de panificação (Menaka et al., 2024). A ausência do glúten resulta na perda das propriedades viscoelásticas, levando a uma fraca estrutura da massa para reter o dióxido de carbono durante a fermentação (Moraes, 2023). Consequentemente, os produtos sem essa proteína frequentemente exibem uma textura inferior, baixo volume específico, caracterizada por miolos menos elásticos, menor porosidade, e maior dureza, crosta mais úmida e densa, propriedades sensoriais pobres, como sabor e gosto inferiores. Algumas farinhas sem a presença do glúten podem conferir cor mais escura ou gosto residual amargo devido a compostos fenólicos ou antinutricionais (Moraes, 2023; Menaka et al., 2024). Outra questão relevante é o desequilíbrio nutricional. Muitos produtos sem glúten são baseados em farinhas refinadas e amidos (como arroz, milho ou batata), que tipicamente são pobres em proteínas, lipídeos, vitaminas, minerais e fibras (Haixi, 2025; Moraes, 2023).

Para além das limitações inerentes aos produtos isentos de glúten, o desenvolvimento de um *brownie* formulado com farinha de tremço apresenta desafios adicionais relacionados com as características desta leguminosa. A farinha de tremço distingue-se pelo seu elevado teor proteico e de fibra alimentar, o que, apesar de nutricionalmente vantajoso, pode comprometer as propriedades tecnológicas da massa (Chukwuejim et al., 2024). A elevada capacidade de absorção de água destas frações pode conduzir a massas excessivamente densas ou viscosas, dificultando o controlo da textura final do produto e exigindo ajustes cuidadosos na formulação (Kohajdová et al., 2011).

Do ponto de vista tecnológico, a substituição total da farinha tradicional por farinha de tremço pode também afetar parâmetros críticos de textura, tais como dureza,

coesividade e mastigabilidade (Imeneo et al., 2025). A ausência de amidos estruturantes em quantidade suficiente e a predominância de proteínas e fibras podem resultar em produtos mais compactos, menos aerados e com sensação distinta daquela esperada para um *brownie* convencional (Severino et al., 2011). Assim, torna-se fundamental otimizar a proporção dos ingredientes, bem como as condições de processamento, para obter um equilíbrio adequado entre estrutura, humidade e maciez (Felfoul et al., 2023).

Outro desafio relevante prende-se com o perfil sensorial do tremço. Esta leguminosa apresenta compostos característicos que podem conferir sabores residuais, potencialmente indesejáveis em produtos como os *brownies* (Imeneo et al., 2025). A intensidade destes sabores pode ser influenciada pelo grau de processamento da farinha, pelo método de desamargamento do grão e pela interação com outros ingredientes da formulação, sendo necessária a utilização de estratégias de mascaramento sensorial, como o recurso ao chocolate, açúcar ou gorduras, para melhorar a aceitação do produto (Chukwuejim et al., 2024; Imeneo et al., 2025).

Adicionalmente, embora o tremço contribua para a melhoria do perfil nutricional do produto, a sua incorporação levanta desafios relacionados com a aceitação do consumidor. Produtos reformulados com ingredientes alternativos, ainda que nutricionalmente superiores, só são viáveis se apresentarem características sensoriais compatíveis com as expectativas do público-alvo (Imeneo et al., 2025). Neste contexto, a aplicação de testes afetivos, como os testes de aceitação e de intenção de compra, torna-se essencial para avaliar se as alterações provocadas pela utilização da farinha de tremço são percecionadas como positivas ou se constituem uma barreira à sua aceitação no mercado (Luna Pizarro et al., 2013).

Cap. 3

Objetivos

3.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objectivo desenvolver um *brownie* isento de glúten à base de farinha de tremço, analisando o seu comportamento como substituta integral da farinha de trigo.

3.2 Objetivos específicos

- i) Caracterizar a farinha de tremço quanto aos seus parâmetros físico-químicos;
- ii) Desenvolver um *brownie* sem glúten formulado com farinha de tremço e um *brownie* controlo elaborado com farinha de trigo;
- iii) Avaliar e comparar os *brownies* elaborados através de análises físico-químicas, determinando os efeitos da substituição integral da farinha de trigo pela farinha de tremço;
- iv) Avaliar a textura dos *brownies* desenvolvidos, identificando alterações decorrentes da utilização do tremço;
- v) Determinar e comparar o índice glicémico estimado dos *brownies* formulados, avaliando o impacto da alteração das farinhas;
- vi) Avaliar a aceitação sensorial e a intenção de compra dos *brownies* desenvolvidos, analisando a percepção do consumidor face à reformulação proposta.

Cap. 4

Material e Métodos

4.1 Ingredientes

Os ovos, o açúcar branco granulado, o óleo de girassol, o cacau em pó e a farinha de trigo tipo 55 sem fermento foram adquiridos em mercados locais na cidade de Bragança, Portugal. As sementes de tremçoço (*Lupinus albus* L.), foram provenientes da Espanha.

4.2 Produção da farinha de tremçoço

Os alcaloides presentes no tremçoço são reconhecidos como fatores antinutricionais, uma vez que podem comprometer a palatabilidade e representar riscos para a saúde quando presentes em concentrações elevadas. Por este motivo, torna-se essencial a adoção de um tratamento adequado para a sua remoção. Antes do início do processamento, uma porção dos grãos secos foi separada, moída e classificada como farinha de tremçoço crua (FTC). A fração restante foi submetida ao procedimento de remoção dos alcaloides. Para tal, os tremçoços secos foram colocados imersos em água filtrada durante 12 h, utilizando uma proporção mínima de 1:5 (p/v), à temperatura ambiente. Após o descarte da água de demolha, os grãos foram novamente cobertos com água limpa e cozidos em lume médio por 1 hora e 30 min, até apresentarem textura macia, confirmada pela fácil penetração de garfo ou faca. A água de cozedura foi eliminada ao término desta etapa.

Posteriormente, procedeu-se à lixiviação em água fria durante 3 dias, utilizando água estática renovada várias vezes ao dia (cerca de cada 2 horas), até à completa eliminação do sabor amargo, indicador sensorial da remoção dos alcaloides, sendo que a utilização de água corrente pode acelerar este processo. Após concluída a etapa de desintoxicação, os grãos foram secos em estufa a 50 °C até peso constante, triturados em moinho (modelo ZM 300, Retsch®, Alemanha) e peneirados em tamis de 60 mesh, obtendo-se uma farinha de granulometria uniforme, denominada farinha de tremçoço tratada (FTT). A **Figura 4** ilustra as alterações observadas na leguminosa ao longo das etapas de processamento.



Figura 4: Etapas para o preparo da FTT. **Fonte:** a autora (2026).

4.3 Caracterização da farinha de tremçoço

As farinhas FTC e FTT foram caracterizadas com análises físico-químicas (humidade, cinzas, proteínas, gorduras, fibras totais, hidratos de carbono, valores energético, açúcares e ácidos gordos), além dos aminoácidos. As metodologias encontram-se descritas em 4.5.2 (4.5.2.4 a 4.5.2.11).

4.4 Produção dos *brownies*

O desenvolvimento das formulações de *brownie* teve como objetivo a obtenção de um produto sem glúten, sensorialmente aceitável e economicamente acessível. Assim, optou-se pela utilização de ingredientes de menor custo e elevada disponibilidade comercial, nomeadamente a substituição da manteiga por óleo vegetal e do chocolate em barra por cacau em pó 100%. Assim, foram elaboradas duas formulações, uma denominada de *brownie* controlo (BC), contendo farinha de trigo, e outra nomeada como *brownie* de tremçoço (BT). Para o preparo das formulações, foram utilizados os utensílios mostrados na **Figura 5**.



Figura 5: Utensílios utilizados na preparação dos *brownies*. **Fonte:** a autora (2026).

Inicialmente, foi testada uma formulação base composta por 2 ovos, 125 g de açúcar, 40 g de chocolate em pó (32 % de cacau), 80 mL de óleo vegetal e 40 g de farinha de trigo. A mistura foi preparada em batedeira elétrica, o que resultou numa incorporação

excessiva de ar, promovendo um crescimento indesejado do produto durante a cozedura, associado à capacidade espumante dos ovos. Observou-se também ausência da formação da crosta crocante característica dos *brownies*. Neste primeiro teste, a cozedura foi realizada em forno ventilado, a 180 °C, resultando na queima excessiva da superfície, indicando necessidade de ajustes desta etapa.

De forma a otimizar as questões apresentadas nos testes iniciais, recorreu-se às modificações descritas a seguir. Para reduzir a incorporação de ar, foi testada a preparação da massa por mistura manual. Adicionalmente, a forma contendo a massa foi batida contra a bancada antes da cozedura, permitindo a libertação do ar incorporado. Testou-se ainda um aumento no teor de açúcar para 150 g com o objetivo de favorecer a formação da crosta superficial característica do *brownie*, embora este aumento tenha resultado em um produto com doçura excessiva e crescimento ainda indesejado. Relativamente à cozedura, utilizou-se forno elétrico sem ventilação, à temperatura de 130 °C, tendo o produto apresentado textura adequada e formação de uma crosta crocante. Com base nestes ensaios, a formulação controlo foi ajustada para 2 ovos (padronizado a 100 g), 110 g de açúcar branco granulado, 30 g de cacau em pó, 60 g de óleo vegetal e 40 g de farinha de trigo.

A partir desta formulação base, foi testada a substituição total da farinha de trigo por farinha de tremço, mantendo-se as restantes condições de preparação e quantidades de ingredientes, com o objetivo de avaliar o comportamento estrutural do produto e o seu potencial para o desenvolvimento de uma formulação sem glúten. No que respeita à granulometria das farinhas, a FTT apresentou, visualmente, partículas de maior dimensão quando comparada com a farinha de trigo comercial. Embora tenham sido realizadas experiências com o objectivo de reduzir a granulometria da FTT, de forma a torná-la equivalente à da farinha de trigo, verificou-se uma perda de qualidade sensorial nos *brownies* produzidos, nomeadamente ao nível da textura, que se revelou desagradável. Assim, optou-se por manter a granulometria da FTT em 60 mesh, a qual, apesar de superior, resultou em *brownies* com melhores características sensoriais em relação a textura.

Foram ainda realizados ensaios para definir o tempo de cozedura adequado, uma vez que se observou que a formulação à base de tremço necessitava de um tempo de cozedura diferente do controlo. Após testes, foram definidos os tempos de 25 minutos para o *brownie* formulado com farinha de tremço e de 33 minutos para o *brownie* controlo.

Em todos os ensaios finais, foram utilizados os ingredientes mostrados nas **Figuras 6 e 7**. Os ingredientes foram devidamente pesados em balança (Adam®, variação de 1 g e capacidade de 3 kg) e misturados em *bowl* de inox com auxílio de um *fouet* (**Figura 5**). Para o preparo, como apresenta a **Figura 8**, dentro de um recipiente, foi batido os ovos por 15 segundos. Adicionou-se o açúcar e envolveu-o por 40 segundos, com um *fouet*. Adicionou-se o óleo e misturou-se por 30 s. Posteriormente, incorporou-se o cacau (30 s) e a farinha correspondente a cada formulação (25 s), homogeneizando manualmente.

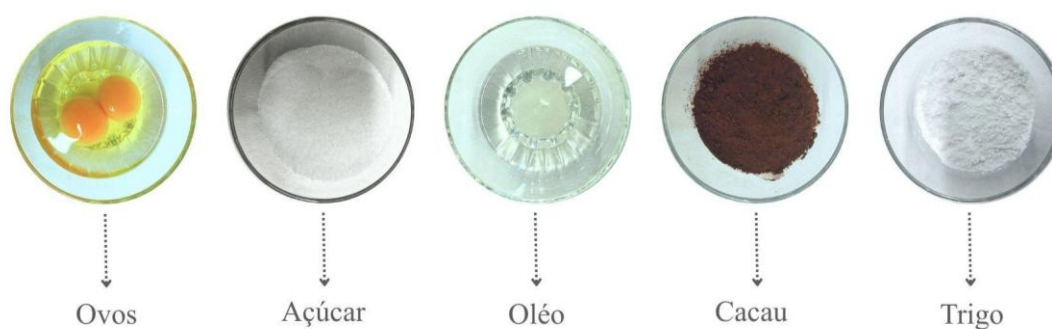


Figura 6: Ingredientes utilizados na formulação BC. **Fonte:** a autora (2026).

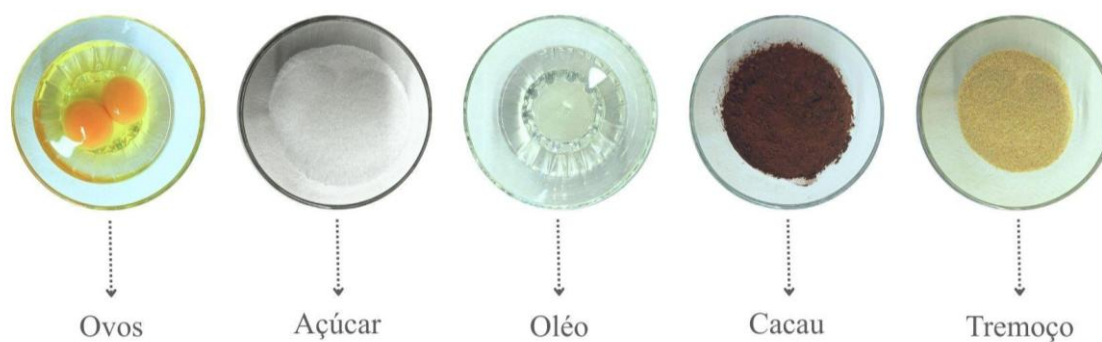


Figura 7: Ingredientes utilizados na formulação BT. **Fonte:** a autora (2026).

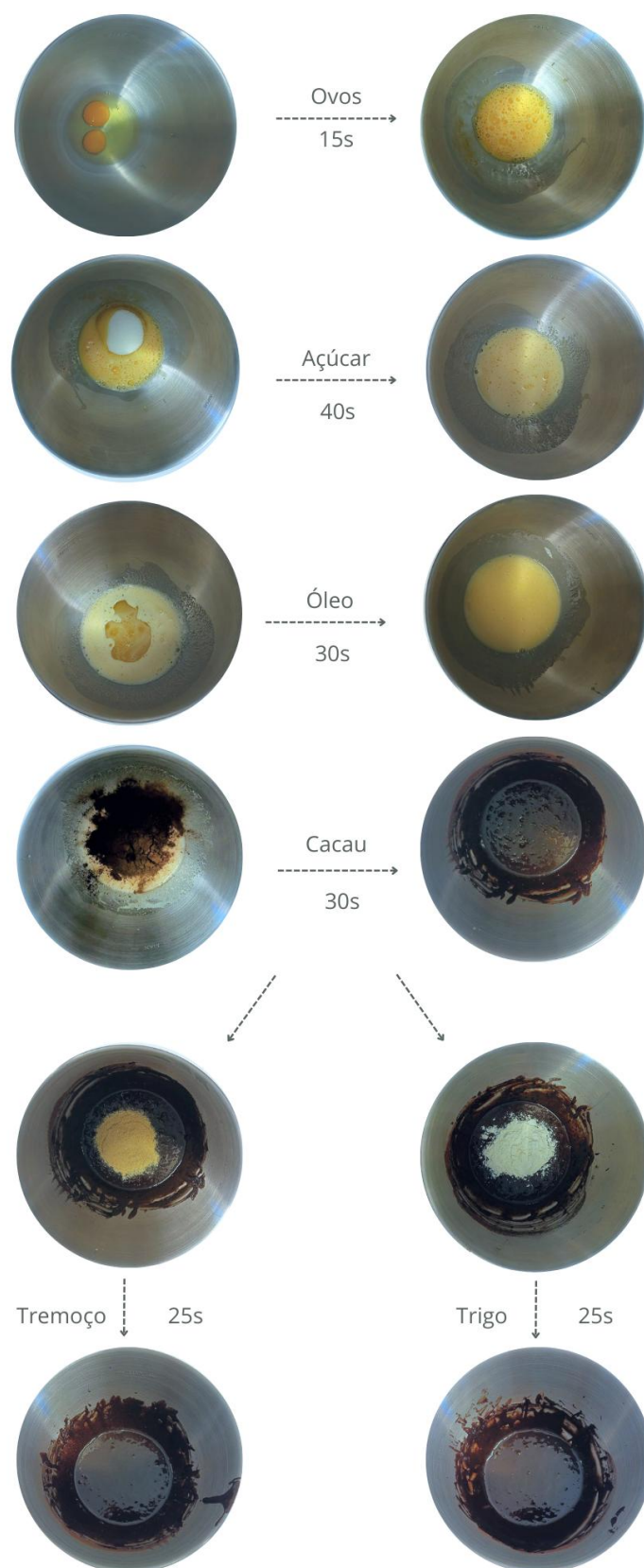


Figura 8: Etapas do desenvolvimento dos *brownies* e sua padronização de tempos de mistura. **Fonte:** a autora (2026).

Em seguida, a massa foi transferida para formas de alumínio, como a mostrada na **Figura 9**, de tamanho 19,8 cm (C) x 12,4 cm (A) x 5,2 cm (L), forradas com papel manteiga (para facilitar a retirada da massa cozida da forma). A forma foi batida contra a bancada seis vezes, de modo a reduzir a incorporação de ar.



Figura 9: Forma utilizada. **Fonte:** a autora (2026).

Os *brownies* foram cozidos em forno elétrico sem ventilação (Princess®) (**Figura 10**) a 130 °C por 25 minutos (BT) ou 33 minutos (BC), após pré-aquecimento por 40 minutos. Para cozedura, a forma com a massa foi posicionada de forma centralizada dentro do forno, com a grade no suporte inferior do mesmo, como mostrado na **Figura 10 (b)**. Foram conduzidas três preparações independentes de cada *brownie*.



Figura 10: (a) Forno utilizado no processo de cozedura; (b) posição da forma no interior do forno. **Fonte:** a autora (2026).

Após arrefecerem, os *brownies* foram porcionados com auxílio de cortador quadrado (5,0 x 5,0 cm) e destinados a análise de textura. Em outros experimentos como pH, colorimetria, atividade da água (A_w) e humidade, foram utilizadas amostras não submetidas a processos de secagem. As restantes análises foram realizadas utilizando amostras previamente liofilizadas.

4.5 Caracterização dos *brownies*

Nos *brownies* produzidos foram avaliados o rendimento, o aspeto visual e as dimensões (altura, largura e comprimento). Adicionalmente, realizaram-se análises físico-químicas, incluindo pH, Aw, colorimetria, teor de humidade, cinzas, proteínas, lípidos, fibras, hidratos de carbono, valor energético, açúcares livres, ácidos gordos e aminoácidos livres. Foram ainda determinados o perfil de textura, o índice glicémico e efetuada a análise sensorial dos produtos.

4.5.1 Rendimento e dimensões

O rendimento do produto após a cozedura é um parâmetro que expressa a relação entre o peso da massa cozida e o peso da massa crua, refletindo as perdas ocorridas durante o processo térmico, nomeadamente por evaporação de água e volatilização de outros componentes. O rendimento (%) é calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$\% \text{ rendimento} = \frac{\text{Peso da massa cozida}}{\text{Peso da massa crua}} \times 100$$

Para cada formulação, o peso da massa foi determinado antes e após a cozedura, sendo os resultados expressos como média $\pm$ desvio-padrão.

Para a avaliação das dimensões dos *brownies* BC e BT, foi utilizado um paquímetro. As medições de largura, altura e comprimento foram realizadas no produto íntegro. Para cada formulação, as determinações foram efetuadas em triplicata, aplicando-se o mesmo procedimento a todas as amostras.

4.5.2 Caracterização físico-química

4.5.2.1 Atividade de água

A atividade de água (aw) da amostra foi mensurada em triplicata usando o equipamento AquaLab S4TE® (Lab Ferrer, Cervera, Spain), evidenciado na **Figura 11**. Uma hora antes de iniciar a análise, o instrumento foi ativado para permitir a sua estabilização. Em seguida, procedeu-se à calibração utilizando água destilada à temperatura ambiente. Após a confirmação da calibração, a amostra de *brownie* fresca foi posicionada de maneira nivelada na cápsula de amostra, recipiente apropriado de

polietileno e, posteriormente, inserida no aparelho para a subsequente leitura do valor de atividade de água.



Figura 11: Equipamento AquaLab. **Fonte:** a autora (2026).

4.5.2.2 Determinação do pH

O potencial de hidrogênio da amostra foi medido em triplicata por meio de um potenciômetro (Hanna®), devidamente calibrado com soluções-tampão de pH 4,00 e 7,00. Nesse sentido foi preparado um extrato em suspensão de 10 g de produto em 100 mL de água destilada. A solução foi agitada, por meio de um agitador magnético, para assegurar a uniformidade da suspensão das partículas, sendo posteriormente posicionadas para sua medição. Prontamente, o pH-metro foi imerso diretamente nas amostras para a determinação do pH.

4.5.2.3 Colorimetria

A cor foi determinada em triplicado utilizando um colorímetro (modelo CR-400, Konica Minolta Sensing Inc.®, Tóquio, Japão), previamente calibrado com o padrão branco. Os parâmetros de cor do espaço CIE L* (claridade), a* (eixo verde-vermelho) e b* (eixo azul-amarelo) foram registrados com recurso ao software Spectra Magic Nx (versão CM-S100W 2.03.0006).

4.5.2.4 Determinação do teor de humidade

Para determinar a percentagem (%) de humidade da amostra, utilizou-se o método oficial da AOAC 925.10, que consiste na secagem em estufa a 105 °C (JP Selecta®), baseada na remoção da água por aquecimento. Para tal, os cadinhos foram previamente aquecidos na estufa a 105 °C durante uma hora, arrefecidos num dessecador até à temperatura ambiente e posteriormente pesados. Em seguida, pesaram-se aproximadamente 3 g de cada amostra numa balança analítica (Adam®, precisão de 0,0001 g e capacidade de 120 g) e transferiram-se para os cadinhos devidamente

identificados. Os cadinhos com as amostras foram colocados na estufa durante 24 horas. Decorrido esse período, os cadinhos foram retirados da estufa e transferidos para o dessecador, onde permaneceram a arrefecer até se atingir massa constante. Todos os resultados foram expressos em g/100 g de humidade, calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{Humidade (g/100g)} = \frac{m_i - m_f}{m_i - m_c} \times 100$$

Onde:

m_i - Massa inicial do cadinho com a amostra (g);

m_f - Massa do cadinho com a amostra após secagem (g);

m_c - Massa do cadinho vazio (g).

4.5.2.5 Determinação do teor de cinzas

Na determinação do teor de cinzas, utilizou-se como base o método oficial da AOAC 923.03. Os cadinhos vazios foram novamente aquecidos na mufla a 525 °C durante uma hora, arrefecidos no dessecador à temperatura ambiente e pesados (massa do cadinho vazio, m_c). Pesou-se, aproximadamente, 3 g de amostra em cada cadinhos de porcelana devidamente identificados. As amostras foram incineradas na mufla (Optic Ivymen System®) a 525 °C durante 5 horas, como exprime a **Figura 12**, até a total queima da matéria orgânica. Após esse tempo os cadinhos foram colocados no dessecador, arrefecidos até à temperatura ambiente e pesados. Os resultados expressaram-se em g/100 g de cinzas, em base seca, utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Cinzas (g/100g)} = \frac{m_f - m_c}{m_i - m_c} \times 100$$

Onde:

m_i - Massa inicial do cadinho com a amostra (g);

m_f - Massa do cadinho com a amostra incinerada (g)

m_c - Massa do cadinho vazio (g).



Figura 12: Dessecador e a mufla utilizada. **Fonte:** a autora (2026).

4.5.2.6 Determinação do teor de proteína bruta

Para a determinação do teor de proteína bruta das amostras recorreu-se ao método de Kjeldahl, de acordo com o procedimento oficial descrito na AOAC (método 920.87). Este método baseia-se na conversão do azoto orgânico presente na amostra em amoníaco, permitindo a sua quantificação e o cálculo subsequente do teor de proteína. A análise iniciou-se com a pesagem de aproximadamente 0,25 g de amostra numa balança analítica com precisão de 0,1 mg, sendo a amostra transferida para um tubo de mineralização Kjeldahl. Ao tubo adicionaram-se duas pastilhas de catalisador, constituídas por 99,9 % de sulfato de potássio (K_2SO_4) e 0,1 % de selénio, bem como 15 mL de ácido sulfúrico concentrado. A mistura foi cuidadosamente homogeneizada, garantindo que a amostra e os reagentes permanecessem no fundo do tubo e em contacto direto, evitando a sua deposição nas paredes. Os tubos foram então colocados num bloco de digestão Kjeldahl previamente aquecido a 420 °C, onde permaneceram durante cerca de 70 minutos. Durante este processo, a matéria orgânica foi completamente oxidada, sendo o azoto de origem orgânica convertido em bissulfato de amónio. A digestão foi considerada completa quando se obteve uma solução límpida e incolor, indicativa da ausência de resíduos carbonizados. Concluída esta etapa, os tubos foram retirados do bloco de digestão e deixados a arrefecer à temperatura ambiente.

Após a digestão, as amostras foram submetidas à etapa de destilação numa unidade de destilação a vapor Kjeldahl (Pro-Nitro A, Selecta, Espanha). Para esse efeito, adicionou-se cuidadosamente ao tubo uma solução concentrada de hidróxido de sódio em excesso, de modo a tornar o meio fortemente alcalino e permitir a conversão do ião amónio em amoníaco gasoso, forma volátil. O amoníaco libertado foi arrastado pelo vapor de água através do condensador e recolhido num erlenmeyer contendo uma solução de ácido bórico, à qual se adicionou um indicador misto constituído por vermelho de

metilo e verde de bromocresol. Teve-se o cuidado de manter a extremidade do condensador completamente submersa na solução absorvente, assegurando a retenção quantitativa do amoníaco. A destilação prosseguiu até à recolha de aproximadamente dois terços do volume total do destilado, sendo posteriormente mantida durante alguns minutos adicionais de forma a permitir a lavagem interna do condensador e do tubo de saída com vapor de água, garantindo a completa transferência do amoníaco.

O destilado obtido foi titulado diretamente com uma solução padronizada de ácido clorídrico 0,1 M. Durante a titulação, o ácido clorídrico deslocou o amoníaco do borato de amónio formado, ocorrendo uma alteração da coloração do indicador misto, a qual assinalou o ponto final da titulação. O volume de ácido clorídrico consumido foi registado e considerado proporcional à quantidade de amoníaco recolhido e, consequentemente, ao teor de azoto presente na amostra. Com base na molaridade do ácido clorídrico, no volume gasto na titulação e na massa inicial da amostra, procedeu-se ao cálculo do teor de azoto total. O teor de proteína bruta foi posteriormente obtido aplicando o fator de conversão $N \times 6,25$, assumindo-se que a proteína contém, em média, 16 % de azoto. Os resultados foram expressos em g/100g em base seca. Todas as análises foram realizadas em triplicado e os valores apresentados correspondem à média das determinações efetuadas. As principais etapas do método encontram-se ilustradas na **Figura 13**.

$$Protein (g/100g) = \frac{(N - Blank)}{M} \times 100 \times 6,25$$

Onde:

N – Quantidade de nitrogênio identificado na amostra (mg);

M – Massa inicial da amostra (mg).

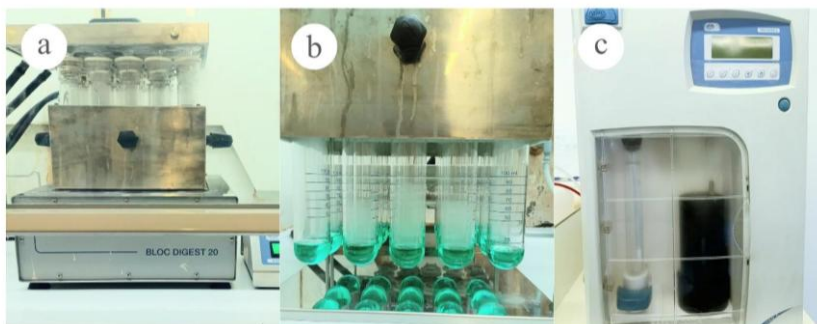


Figura 13: a) Digestão das proteínas; b) Tubos após a digestão; c) Destilador Kjeldahl. **Fonte** a autora (2026).

4.5.2.6 Determinação do teor de gordura

A quantidade de gordura total dos *brownies* e das farinhas foram determinadas de acordo com o método AOAC 989.05, que utiliza a extração de gordura por Soxhlet (modelo Behrotest®), empregando éter de petróleo como solvente de extração. Aproximadamente 3g da amostra foram pesadas e colocadas em um cartucho de Soxhlet. O cartucho foi então transferido para o extrator Soxhlet, indicado na **Figura 14**. O extrator foi acoplado a um balão de fundo achatado, previamente pesado, aquecido a 80°C. Foram adicionados cerca de 400 mL de éter de petróleo, e o conjunto foi conectado a um condensador. Após 6 horas, o cartucho foi removido e o éter de petróleo foi evaporado sob pressão reduzida até secagem. Os resíduos extraídos foram colocados em tubos de ensaio e colocados na estufa a 50°C até a evaporação completa do éter de petróleo, posteriormente pesados e, em seguida, o teor de lípidos foi expresso como uma porcentagem em massa. A análise foi realizada em triplicata para cada amostra. O teor total de gordura foi indicado em g/100 g em base seca.

$$\text{Teor de gordura} = \frac{mf - mt}{m} \times 100$$

Onde:

mf - Massa do tubo de ensaio com a lipídio (g);

mt - Massa do tubo de ensaio vazio (g);

m - Massa da amostra (g).



Figura 14: Extrator Soxhlet. **Fonte:** a autora (2026).

4.5.2.7 Determinação das fibras totais

O teor de fibras alimentares totais foi determinado através do método enzimático-gravimétrico AOAC 985.29. A fase de digestão enzimática iniciou-se com a gelatinização de aproximadamente 1g de amostra em 50 mL de tampão fosfato (pH 6,0), utilizando α -amilase termoestável a 95°C durante 15 minutos sob agitação suave. Após arrefecimento à temperatura ambiente, o pH foi ajustado para 7,5 ($\pm$ 0,2) com NaOH 0,275 M, adicionando-se de seguida protease e mantendo a incubação a 60°C durante 30 minutos sob agitação contínua. A última etapa de hidrólise ocorreu após o ajuste do pH para valores entre 4,0 e 4,6 com HCl 0,325 M, procedendo-se à adição de amiloglucosidase e incubando novamente a 60°C durante 30 minutos, assegurando a remoção completa do amido e das proteínas.

Para a recuperação da fração solúvel da fibra, adicionaram-se quatro volumes de etanol a 95% à mistura, deixando-a em repouso durante a noite para permitir a precipitação completa. O precipitado foi filtrado quantitativamente em cadinhos de vidro sinterizado previamente preparados com uma camada de Celatom® e tarados (W1). O resíduo obtido foi lavado sucessivamente com etanol a 78%, etanol a 95% e acetona, sendo posteriormente seco em estufa a 105°C (ou 70 °C em vácuo) até peso constante, obtendo-se assim o peso bruto do resíduo (W2).

A quantificação final da fibra alimentar total exigiu a correção do peso do resíduo pelos teores de proteína e de cinzas. Para tal, metade das réplicas foi analisada quanto ao teor de azoto pelo método de Kjeldahl (aplicando o fator de conversão 6,25) para determinação da proteína residual. A outra metade foi incinerada em mufla a 525°C durante 5 horas para determinação das cinzas (W3). A percentagem final de fibra alimentar total, expressa em percentagem (% TDF) em base seca, foi calculada subtraindo ao peso médio do resíduo os valores correspondentes à proteína, às cinzas e à média dos brancos, relativamente ao peso médio da amostra original.

4.5.2.8 Determinação dos hidratos de carbono e valor energético

A quantidade de hidratos de carbono em base seca foi calculada subtraindo a soma dos componentes de cinzas, gordura e proteína, conforme a fórmula seguinte:

$$\text{Hidratos de carbono (\%)} = 100 - (\% \text{ cinzas} + \% \text{ proteína} + \% \text{ lípidos} + \% \text{ fibras})$$

Já o valor energético foi calculado conforme descrito no Regulamento (UE) n.º 1169/2011, utilizando a seguinte fórmula:

$$Kcal = 4x (\%proteína + \%hidratos\ de\ carbono) + 9x (\%gordura)$$

4.5.2.9 Determinação dos açúcares livres

A composição dos açúcares livres foi determinada em triplicata, com base na metodologia utilizada por Barros et al., (2007) com algumas modificações, utilizando um sistema de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) acoplado a um detetor de índice de refração (RI; Knauer Smartline 2300, Berlim, Alemanha). A separação cromatográfica foi realizada numa coluna Eurospher100-5 NH₂ (5 µm, 4,6 × 250 mm, Knauer), mantida a 35 °C. A eluição foi isocrática, utilizando como fase móvel uma mistura de acetonitrilo/água desionizada (70:30, v/v), com um caudal de 1 mL/min e um volume de injeção de 10 µL.

As amostras (1 g), foram extraídas numa solução hidroetanólica (80:20, v/v) durante 30 minutos a 80 °C. A melezitose foi adicionada como padrão interno (PI), 1 mL da concentração 25 g/mL. Os extratos obtidos foram centrifugados (15000 g, 10 min), recolhendo-se os sobrenadantes, que foram posteriormente concentrados sob pressão reduzida num evaporador rotativo. Em seguida, as amostras foram desengorduradas com éter etílico (três extrações consecutivas) e filtradas através de filtros de *nylon Whatman* com porosidade de 0,2 µm para análise por HPLC.

A quantificação foi efetuada com base na resposta do sinal do detetor de índice de refração para cada composto, de acordo com o método do padrão interno, utilizando curvas de calibração obtidas a partir de padrões comerciais (frutose, glucose, sacarose, maltose, melezitose, rafinose). Os resultados foram expressos em mg/g de peso seco.

4.5.2.10 Determinação dos ácidos gordos

A fração lipídica obtida previamente na análise de gordura bruta foi submetida a um procedimento de transesterificação, baseado no método usado por Barros et al., (2007) com algumas modificações, que consistiu na adição de 5 mL de uma solução de metanol:ácido sulfúrico:tolueno (2:1:1, v/v/v), seguida de incubação durante 12 h a 50 °C e 160rpm. Após a incubação, foram adicionados a cada amostra 3 mL de água destilada e 3 mL de éter dietílico, procedendo-se a uma agitação vigorosa em vórtex. A fase superior, contendo os ésteres metílicos de ácidos gordos (FAME), foi recolhida,

desidratada com sulfato de sódio anidro e filtrada através de filtros de *nylon Whatman* com porosidade de 0,2 μm , antes da sua determinação.

A análise dos ácidos gordos foi realizada por cromatografia gasosa acoplada a um detetor de ionização em chama (GC-FID), utilizando um cromatógrafo YOUNG IN Chromass 6500 GC System, equipado com um injetor split/splitless a 250°C, em modo split com razão 1:80, detetor FID a 260°C e uma coluna Zebron-FAME (20m $\times$ 0,18mm $\times$ 0,15 μm df). O programa de temperatura do forno foi o seguinte: temperatura inicial de 80°C durante 1,5 min; aumento de 40°C/min até 160°C; aumento de 5 °C/min até 185°C; e, posteriormente, aumento de 30°C/min até 260°C, mantendo-se esta temperatura durante 4 min.

O hidrogénio, utilizado como gás de arraste, apresentou um caudal de 0,6 mL/min (0,61 bar), medido a 250 °C. Para cada análise, foi injetado um volume de 1 μL de amostra. A identificação dos ácidos gordos foi realizada por comparação dos tempos de retenção relativos dos picos de FAME das amostras com os de padrões comerciais, especificamente a mistura padrão SMB00937 composta por 13 ésteres metílicos de ácidos gordos dissolvidos em clorofórmio. Esta mistura inclui o octanoato, nonanoato, decanoato, laurato, miristato e palmitato de metilo (800 $\mu\text{g/mL}$), bem como o estearato, araquidato, behenato, tetracosanoato, hexacosanoato, octacosanoato e triacontanoato de metilo (400 $\mu\text{g/mL}$). A quantificação foi efetuada utilizando o software Clarity 4.0.1.7, sendo os resultados expressos como percentagem relativa de cada ácido gordo.

4.5.2.11 Determinação dos aminoácidos livres

A extração dos aminoácidos livres foi realizada de acordo com o procedimento descrito por Lima et al., (2019), com adaptações. Assim, 0,5g da amostra liofilizada foi extraída com 10 mL de uma solução $\text{H}_2\text{O}:\text{ACN}$ (1:1, v/v). O padrão interno L-fenilalanina-1- ^{13}C foi adicionado até uma concentração final de 5 ppm. A mistura foi agitada em vórtex durante 5 minutos e, posteriormente, submetida a sonicação durante 10 minutos à temperatura ambiente.

Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 10000 rpm durante 10 min, a 4 °C, sendo o sobrenadante recolhido e filtrado através de um filtro de membrana de nylon de 0,2 μm . A determinação dos aminoácidos foi efetuada utilizando um sistema UHPLC (Vanquish, Thermo Scientific, San Jose, CA, EUA) acoplado a um espectrómetro de massa Orbitrap (Exploris 120, Thermo Scientific). A separação cromatográfica foi realizada numa coluna BioZen (100 $\times$ 2,1 mm, 2,6 μm ; Phenomenex, Torrance, CA,

EUA), mantida a 40 °C. As fases móveis consistiram em (A) formiato de amônio 10mM (pH 3,1) e (B) acetonitrilo contendo formiato de amônio 10 mM (pH 3,1) (90:10, v/v). O gradiente de eluição foi o seguinte: de 100 % para 99 % de A (0–2min), de 99 % para 97 % de A (2–3min), de 97 % para 50 % de A (3–8 min), mantendo-se a 50 % de A até aos 9 min, seguido de reequilíbrio às condições iniciais durante 6min. O caudal foi de 0,5 mL/min e o volume de injeção de 5 µL. O Orbitrap encontrava-se equipado com uma fonte de ionização por electrospray aquecido (H-ESI), operando no modo de ionização positiva. As condições de ionização foram as seguintes: voltagem de spray de 4000 V, temperatura do vaporizador de 350 °C, caudal do gás de nebulização de 50 (unidades arbitrárias), caudal do gás auxiliar de 10 (unidades arbitrárias) e temperatura do tubo de transferência de íões de 325 °C. A aquisição de dados foi realizada no modo de monitorização de íões selecionados (SIM), com uma resolução de 60000. Os parâmetros instrumentais incluíram uma voltagem da lente RF de 70%, alvo de AGC de 1×10^6 , tempo máximo de injeção de 100ms e uma largura de varrimento de 2m/z. A identificação dos picos foi efetuada com base na massa exata e na comparação dos tempos de retenção dos compostos presentes nas amostras com os dos padrões autênticos (Alanina, Arginina, Asparagina, Ácido aspártico, Glutamina, Ácido glutâmico, Glicina, Histidina, Isoleucina, Leucina, Lisina, Metionina, Fenilalanina, Prolina, Serina, Treonina, Triptofano, Tirosina, Valina). Sempre que necessário, foi utilizada a análise MS/MS para confirmação da identidade dos compostos, recorrendo a uma abordagem de aquisição dependente de dados.

As curvas de calibração foram estabelecidas no intervalo de 0,1–10 µg/mL para cada aminoácido analisado, apresentando todas coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99. Todas as análises foram realizadas em triplicado, sendo os resultados expressos em µg/g de peso seco.

4.5.3 Análise do perfil de textura

Para a análise, cada formulação foi produzida em triplicado, resultando em três *brownies* de cada tipo. De cada *brownie* retirou-se uma amostra cortada no centro, com dimensões de 2,5 × 3,0cm, garantindo que a medição incidia sobre a mesma região em todos os *brownies*. Estas amostras foram então submetidas à análise de perfil de textura.

Foi utilizado um analisador de textura TA.XT Plus da Stable Micro Systems® (Vienna Court, Godalming, Reino Unido) (**Figura 15**), equipado com uma célula de carga

de 30 kg, para a determinação do perfil de textura (dureza, adesividade, coesividade e mastigabilidade). Os dados obtidos foram processados através do software *Jamovi*.



Figura 15: Analisador de textura. **Fonte:** a autora (2026).

4.5.3 Índice glicêmico

A determinação do índice glicêmico *in vitro* baseou-se na simulação da digestão gastrointestinal humana, permitindo estimar a taxa de hidrólise do amido e a subsequente liberação de glucose. O procedimento seguiu o protocolo descrito por Goñi et al., (1997), com estimativas realizadas segundo o modelo de Granfeldt et al., (1994). As análises foram efetuadas em amostras secas e homogeneizadas, sendo conduzidas em duplicado para assegurar a reprodutibilidade dos resultados.

O ensaio iniciou-se com a pesagem de 100 mg de amostra seca em tubos de centrífuga de 50 mL, aos quais foram adicionadas 10 esferas de vidro de 5mm para facilitar a homogeneização mecânica. A fase gástrica foi simulada pela adição de 2 mL de ácido clorídrico (HCl) 0,05 M contendo 10 mg de pepsina (atividade ajustada de acordo com a pureza do reagente), seguida de incubação a 37 °C durante 30 minutos, em banho-maria com agitação constante.

A fase intestinal teve início imediatamente após o período gástrico, com a adição de 4 mL de tampão acetato de sódio 0,5 M (pH 5,2) e 1 mL de uma solução multienzimática composta por pancreatina (0,139 g/mL) e amiloglucosidase (14,26 U/mL). Os tubos foram mantidos em incubação a 37 °C sob agitação contínua, procedendo-se à recolha de alíquotas de 100 µL nos intervalos de 0, 30, 60, 90, 120 e 180 minutos. Para interromper a reação enzimática, cada alíquota foi imediatamente misturada com 1 mL de etanol a 96 % e posteriormente centrifugada a 10.000 rpm durante 6 minutos.

Para a quantificação da glucose libertada, 100 µL do sobrenadante foram transferidos para novos tubos e incubados com 3 mL do reagente GOPOD (glucose oxidase-peroxidase) a 50 °C durante 20 minutos. A leitura da absorvância foi realizada num espectrofotómetro a 510 nm, utilizando padrões de D-glucose (1 mg/mL) e ensaios em branco para calibração e correção do sinal de fundo. O processamento dos dados incluiu o cálculo da área sob a curva (AUC) de hidrólise, recorrendo ao método trapezoidal, relacionando as concentrações de glucose obtidas nos diferentes tempos de amostragem.

$$AUC = \sum_{i=1}^n \left[\frac{c_i + c_{i+1}}{2} \times (t_i - t_{i-1}) \right]$$

Onde:

C_i - Concentrações de glucose (mg/mL) no tempo t_i;

C_{i-1} - Concentrações de glucose (mg/mL) no tempo t_{i-1};

T_i - Tempo de amostragem atual (em minutos) no momento da coleta da alíquota;

T_{i-1}: Tempo de amostragem imediatamente anterior.

A partir da AUC determinou-se o índice de hidrólise (IH), expresso como a razão percentual entre a AUC da amostra analisada e a AUC de um alimento de referência, como o pão branco que foi utilizado.

$$HI = \left(\frac{AUC \text{ amostra}}{AUC \text{ referência}} \right) \times 100$$

Finalmente, o índice glicémico estimado (IGe) foi calculado com base em modelos matemáticos que correlacionam o IH com a resposta glicémica prevista por Granfeldt et al., (1994).

$$eGI = 0,852 \times HI + 8,198$$

4.5.4 Análises sensorial

4.5.4.1 Aspectos éticos da pesquisa

Para participar dos testes de análise sensorial, os indivíduos voluntários eram estudantes, visitantes, professores e investigadores do Instituto, de qualquer sexo, cor/raça e etnia, orientação sexual e identidade de gênero, classes e grupos sociais. Antes do teste, o indivíduo não poderia possuir alergias/intolerâncias aos ingredientes da fórmula e, ainda, deveria concordar em participar da pesquisa. Foram aplicados testes afetivos com consumidores. A pesquisa foi realizada nas dependências do Instituto Politécnico de Bragança (IPB) dentro da Escola Superior Agrária.

4.5.4.2 Preparo da sensorial

Para a análise sensorial de carácter afetivo, participaram no estudo 141 julgadores não treinados. Este tipo de ensaio tem como finalidade avaliar a aceitação do produto pelos consumidores, baseando-se nas preferências individuais expressas de forma espontânea. Assim, os atributos de aparência, aroma, sabor, textura e a aceitação global foram avaliados através de uma escala hedónica estruturada de 9 pontos, variando de 1 (“desgostei extremamente”) a 9 (“gostei extremamente”). O teste de aceitação permite determinar o grau de agradabilidade percebido pelos consumidores relativamente às características sensoriais do produto.

Adicionalmente, foi aplicado um teste de intenção de compra, cujo objetivo é aferir a probabilidade de aquisição do produto caso este estivesse disponível no mercado. Para tal, utilizou-se uma folha de avaliação específica contendo uma escala estruturada de 5 pontos, variando entre “certamente compraria” e “certamente não compraria”. Este instrumento complementa o teste de aceitação, uma vez que indica não apenas o nível de agrado, mas também o potencial de aceitação comercial do produto.

Os julgadores receberam uma porção de cada amostra (aproximadamente 30 g), servida em recipientes plásticos descartáveis de cor branca, codificados com números de três dígitos, apresentados de forma aleatorizada e equilibrada (Macfe e Bratchell, 1989), acompanhados por um copo de água destinado à limpeza do palato, conforme ilustrado na **Figura 16**. As formulações foram disponibilizadas aos julgadores de forma monádica sequencial.

O cálculo do Índice de Aceitabilidade (IA) foi efetuado de acordo com a seguinte fórmula:

$$IA(\%) = A \times \frac{100}{B}$$

Onde A = nota média obtida para o produto; B = nota máxima dada ao produto (Macfe e Bratchell, 1989).



Figura 16: Apresentação da análise sensorial realizada. **Fonte:** a autora (2026).

4.5.4.3 Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata e apresentadas como média $\pm$ desvio padrão, O Teste *t de Student* foi utilizado para analisar a ocorrência de diferença significativa entre as amostras BC e BT, e FTC e FTT. As diferenças entre as amostras foram consideradas significativas quando $p < 0,05$. Os dados foram processados usando o *software Jamovi*.

Cap. 5

Resultados e discussão

5.1. Caracterização da farinha de tremço

A **Tabela 2** apresenta a caracterização nutricional e composicional da FTC e da FTT. Os parâmetros analisados incluem o teor de humidade, cinzas, proteína, lípidos, fibras, hidratos de carbono, valor energético e perfil de açúcares.

Tabela 2: Caracterização da físico-química das farinhas.

Análises	FTC	FTT	FC*
Humidade (g/100 g)	10,54±0,04 ^a	7,98±0,26 ^b	-
Cinzas (g/100 g)	3,18±0,06 ^a	2,06±0,02 ^b	-
Proteína (g/100 g)	34,22±0,51 ^a	36,82±2,06 ^a	10,0
Lípidos (g/100 g)	11,04±1,43 ^a	9,68±0,33 ^a	1,3
Fibras (g/100 g)	33,13±1,44 ^a	38,01±1,14 ^b	3,5
Hidratos de Carbono (g/100 g)	7,88±2,03 ^a	5,44±1,35 ^a	76,2
Valor energético (Kcal/100 g)	267,78±6,09 ^a	256,19±3,21 ^b	363,0
Açúcares (g/100 g)	FTC	FTT	FC
Frutose	4,54±0,17	ND	-
Sacarose	3,23±0,16	ND	-
TOTAL	7,77±0,27	ND	2,7

*Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Valores seguidos de letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ND: não detectado.

Os resultados referentes ao teor de humidade das farinhas evidenciaram uma diferença significativa entre a FTC e a FTT, com uma redução após o tratamento. Este comportamento está provavelmente associado à evaporação da água decorrente processo de secagem aplicado ao tremço após o tratamento (Al-Dmoor, 2013). O valor obtido para a FTC (10,54 g/100 g) e FTT (7,98 g/100 g) situa-se no intervalo reportado para farinhas de leguminosas (entre 7,9 g/100 g e 11,2 g/100 g) (Kohajdová et al., 2011).

O teor de cinzas foi superior na FTC quando comparado com a FTT, indicando uma redução do conteúdo mineral após o tratamento. O valor obtido para a FTC é consistente com a literatura, que reporta teores de cinzas para *Lupinus albus* L. em torno de 3,93g/100g (calculado baseado em 4,3 g/100g de cinzas em base seca com 8,7% de humidade) (Yorgancilar & Bilgiçli, 2014). Este comportamento de redução é frequentemente atribuído à lixiviação de minerais solúveis durante as etapas de hidratação, cozedura e lixiviação, um fenómeno amplamente descrito para leguminosas, uma vez que o processamento destinado à obtenção de farinhas mais concentradas ou isoladas visa remover componentes de baixo peso molecular, incluindo minerais solúveis (Bloothoof et al., 2025). Embora esta redução represente uma diminuição do teor mineral total, importa considerar que o processamento térmico e a lixiviação podem igualmente promover a redução de fatores antinutricionais, como fitatos e alcaloides, potenciando a biodisponibilidade e a segurança dos minerais remanescentes (Imeneo et al., 2025). Neste contexto, a avaliação do teor de cinzas deve ser interpretada considerando não apenas a quantidade total de minerais, mas também a sua forma e disponibilidade para absorção. Assim, a farinha de tremço tratada pode apresentar um perfil nutricional qualitativamente favorável, mesmo apresentando um teor de cinzas inferior ao da sua versão crua.

O teor de proteínas das farinhas não apresentou diferenças significativas entre a FTC e a FTT, indicando que o tratamento térmico e o processo de lixiviação não originaram perdas relevantes deste macronutriente. Este resultado é consistente com a literatura, que descreve o tremço como uma das leguminosas com maior teor proteico, apresentando valores que variam tipicamente entre 30% e 53% (Kohajdová et al., 2011). A estabilidade observada sugere que as globulinas (conglutinas), que constituem cerca de 80% até 90% das proteínas do tremço, permanecem retidas na matriz celular durante as etapas de maceração e cozedura (Chukwuejim et al., 2024). A manutenção de um elevado teor proteico após o tratamento reforça o potencial da farinha de tremço tratada como ingrediente atrativo, superando largamente o teor proteico dos cereais tradicionais.

Adicionalmente, o perfil de aminoácidos do tremço, rico em lisina, complementa o dos cereais como o trigo, naturalmente pobres neste aminoácido, aumentando o valor biológico das proteínas totais quando utilizado em substituição da farinha de trigo (Kohajdová et al., 2011).

Não foram observadas diferenças significativas no teor de lípidos entre a FTC e a FTT, indicando que o tratamento de maceração, cozimento e lixiviação não afetou de forma expressiva a fração lipídica. O valor obtido para a FTC (11,04 g/100) está alinhado com a literatura, que descreve o tremço como uma leguminosa que contém entre 5% e 20% de óleo bruto na semente inteira (Kohajdová et al., 2011).

A análise do teor de fibras evidenciou o elevado conteúdo deste componente na FTC, valor que confirma o potencial do tremço como matéria-prima particularmente rica em fibra alimentar. Este resultado é consistente com os dados disponíveis na literatura, que referem para o *L. albus* um teor que varia aproximadamente 39,78g/100g em base úmida (calculado de 44,6g/ 100g em base seca com 10,81% de umidade) ((Awad-Allah & Elkatry, 2013). Estudos indicam ainda que a fibra pode representar cerca de 40% do peso do caroço do tremço doce, superando os valores observados noutras leguminosas (Severino et al., 2011). No entanto, após o processamento térmico e de desamargamento, verificou-se um aumento significativo das fibras na FTT, atingindo valores de aproximadamente 38 g/100 g. Este incremento pode ser explicado pela concentração relativa de fibras resultante da remoção de outros constituintes sólidos durante as etapas de demolha e lavagem, como os alcaloides e hidratos de carbono solúveis de baixo peso molecular (Khedr et al., 2023).

Com relação aos hidratos de carbono, não demonstrou diferenças estatisticamente. No que se refere ao valor energético, a redução observada na FTT (256,19 kcal/100 g) comparativamente à FTC (267,19 kcal/100 g) pode ser uma consequência da alteração do perfil de macronutrientes induzida pelo tratamento.

A análise do perfil de açúcares evidenciou diferenças entre a FTC e a FTT. A FTC apresentou frutose e sacarose, açúcares solúveis naturalmente presentes nas sementes de tremço (*L. albus*) (Erbaş, et al. 2005). Em contraste, na FTT não foi detectada a presença destes açúcares, indicando que o tratamento aplicado promoveu alterações significativas na composição de açúcares solúveis da farinha (Antonio, et al. 2008). Este comportamento pode ser explicado, sobretudo, pela elevada solubilidade dos açúcares simples e de determinados oligossacarídeos em água, tornando-os particularmente suscetíveis à lixiviação durante as etapas de hidratação, cozedura e lavagens sucessivas,

bem como a possíveis transformações induzidas pelo tratamento térmico. Do ponto de vista tecnológico e nutricional, a ausência de açúcares livres na FTT pode ser considerada um efeito positivo do processamento, uma vez que resulta numa farinha com menor teor de açúcares simples, potencialmente associada a um menor impacto glicémico. Esta característica pode ser vantajosa na formulação de produtos destinados a consumidores com necessidade de controlo metabólico, como indivíduos com diabetes mellitus tipo 2 (Chukwuejim et al., 2024).

Finalmente, a análise comparativa entre a composição da FTT e a declaração nutricional da farinha de trigo tradicional (FC), evidencia diferenças no perfil nutricional das matérias-primas utilizadas na elaboração dos *brownies*. De acordo com as informações do fabricante, a farinha de trigo tradicional apresenta um elevado teor de hidratos de carbono (aprox. 73,60 g/100 g), associado a um baixo conteúdo lipídico (cerca de 1,31%) e a um teor proteico moderado (aprox. 9,35 g/100 g) (Pizarro et al., 2013). Em contraste, FTT apresenta um teor proteico superior ao da farinha de trigo. Adicionalmente, a FTT caracteriza-se por um teor lipídico e de fibra alimentar mais elevado, bem como níveis inferiores de hidratos de carbono. Globalmente, estas características reforçam o potencial da FTT no desenvolvimento de produtos com valor funcional acrescentado (Okagu et al., 2021).

5.1.1. Perfil de ácidos gordos para as farinhas

A **Tabela 3** apresenta o perfil de ácidos gordos da FTC e da FTT, expresso em percentagem relativa do total de ácidos gordos. São apresentados os ácidos gordos individuais, bem como a soma dos ácidos gordos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA) e poli-insaturados (PUFA). Os resultados são expressos como média $\pm$ desvio padrão.

Tabela 3: Perfil de ácidos gordos da FTC e da FTT.

Ácidos gordos	FTC (%)	FTT (%)
Ácido Mirístico (C14:0)	0,13 $\pm$ 0,01 ^a	0,13 $\pm$ 0,01 ^a
Ácido Pentadecanoico (C15:0)	0,085 $\pm$ 0,001 ^a	0,27 $\pm$ 0,02 ^b
Ácido Palmítico (C16:0)	8,51 $\pm$ 0,42 ^a	5,38 $\pm$ 0,18 ^b

Ácido Palmitoleico (C16:1)	0,46±0,02 ^a	2,37±0,21 ^b
Ácido Heptadecanoico (C17:0)	0,060±0,002 ^a	0,19±0,02 ^b
Ácido Esteárico (C18:0)	1,59±0,08 ^a	1,54±0,07 ^a
Ácido Oleico (C18:1n9c)	43,17±0,05 ^a	32,69±0,63 ^b
Ácido Linoleico (C18:2n6c)	17,50±0,05 ^a	22,56±0,24 ^b
Ácido Alfa-linolénico (C18:3n3)	7,87±0,15 ^a	7,42±0,06 ^b
Ácido Araquídico (C20:0)	1,28±0,02 ^a	0,81±0,06 ^b
Ácido Eicosenoico(C20:1)	6,07±0,04 ^a	14,44±0,27 ^b
Ácido Eicosadienoico (C20:2)	0,59±0,04 ^a	0,47±0,01 ^b
Ácido Heneicosanoico (C21:0)	0,145±0,001 ^a	0,22±0,02 ^b
Ácido Behénico (C22:0)	3,41±0,10 ^a	2,76±0,12 ^b
Ácido Erúcico (C22:1n9)	2,89±0,06 ^a	6,78±0,36 ^b
Ácido Eicosapentaenoico (C20:5n3)	2,41±0,01 ^a	0,28±0,01 ^b
Ácido Docosadienoico (C22:2)	0,34±0,02 ^a	0,24±0,01 ^b
Ácido Tricosanoico (C23:0)	0,30±0,02 ^a	0,23±0,02 ^b
Ácido Lignocérico (C24:0)	2,54±0,23 ^a	0,77±0,05 ^b
Ácido Nervónico (C24:1)	0,65±0,04 ^a	0,46±0,03 ^b
SFA	18,04±0,35 ^a	12,30±0,04 ^b
MUFA	53,5±0,11 ^a	56,73±0,20 ^b
PUFA	28,71±0,25 ^a	30,98±0,24 ^b

Os resultados são apresentados como média ± desvio-padrão. Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha apresentam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), de acordo com o teste *t de Student*.

A FTC apresentou o perfil de ácidos gordos característico do tremoço branco, marcado pelo predomínio de ácidos gordos insaturados, que representaram aproximadamente 82% do total de ácidos gordos, valor em concordância com a literatura,

que descreve o óleo de tremço sendo majoritariamente composto de ácidos gordos insaturados (Kohajdová et al., 2011).

Entre os ácidos gordos insaturados, destacou-se o ácido oleico (C18:1n9c), com um teor de cerca de 43%, enquadrando-se no intervalo de 32% a 50% reportado para a espécie *L. albus*. Seguiram-se o ácido linoleico (C18:2n6c), com 17,5%, e o ácido α -linolénico (C18:3n3), com 7,9%, valores igualmente compatíveis com os intervalos descritos na literatura, que variam entre 17 e 47% para o ácido linoleico e entre 3 e 11% para o ácido α -linolénico (Keller et al., 2022).

Em contraste, a FTT apresentou alterações substanciais no perfil de ácidos gordos. Observou-se uma redução da fração total de ácidos gordos saturados, que passou de 18,0% na FTC para 12,3% na FTT, acompanhado por um aumento dos ácidos gordos monoinsaturados (de 53,3% para 56,7%) e polinsaturados (de 28,7% para 31,0%). Paralelamente, observaram-se aumentos significativos nos teores de alguns ácidos gordos monoinsaturados de cadeia longa, nomeadamente o ácido eicosenoico (C20:1), cujo teor mais do que duplicou, bem como o ácido docosenoico (C22:1n9) e o ácido linoleico (C18:2n6c), que também apresentaram aumentos após o tratamento. Alterações no perfil lipídico têm sido descritas na literatura para tremços e outras leguminosas antes e depois de tratamentos, observando-se aumento ou redução do teor de determinados ácidos gordos, como os descritos neste trabalho (Curti et al., 2018). Estes resultados sugerem que o tratamento pode favorecer reações de degradação de natureza enzimática ou oxidativa, bem como promover transformações no perfil lipídico na matriz da semente, favorecendo a mobilização dos ácidos gordos ou a alteração da sua saturação através de processos biológicos e térmicos (He et al., 2025).

5.1.2. Aminoácidos Livres

A **Tabela 4** apresenta o perfil de aminoácidos livres das amostras FTC e FTT, expresso em $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$. Os aminoácidos livres correspondem às formas não ligadas a proteínas, estando directamente disponíveis e podendo influenciar as características nutricionais das amostras analisadas.

Tabela 4: Perfil de aminoácidos livres da FTC e da FTT.

Aminoácidos	FTC	FTT
-------------	-----	-----

	($\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$)	($\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$)
Prolina	30,59 $\pm$ 1,20 ^a	28,53 $\pm$ 1,10 ^a
Leucina	54,34 $\pm$ 1,95 ^a	32,71 $\pm$ 2,07 ^b
Isoleucina	36,55 $\pm$ 4,14 ^a	31,16 $\pm$ 3,42 ^a
Lisina	78,92 $\pm$ 0,94 ^a	53,02 $\pm$ 1,69 ^b
Ácido Glutâmico	82,19 $\pm$ 4,82 ^a	78,85 $\pm$ 0,43 ^a
Histidina	24,48 $\pm$ 1,20 ^a	25,66 $\pm$ 1,70 ^a
Fenilalanina	58,22 $\pm$ 4,11 ^a	49,84 $\pm$ 1,33 ^a
Arginina	91,84 $\pm$ 0,10 ^a	719,96 $\pm$ 7,72 ^b
Triptofano	8,43 $\pm$ 1,22	ND
Tirosina	12,99 $\pm$ 1,38	ND

Os resultados são apresentados como média $\pm$ desvio-padrão. Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha apresentam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), de acordo com o teste *t de Student*. ND: não detectado.

O tratamento aplicado ao tremço branco promoveu alterações relevantes na sua matriz bioquímica, com impacto direto no perfil de aminoácidos livres. Durante a cozedura e o processo aquoso subsequente ocorre a desnaturação das globulinas de reserva (α - e β -conglutinas), principais proteínas do *L. albus*, bem como a desorganização das estruturas celulares. Estes fenómenos aumentam a acessibilidade interna da fração proteica e favorecem a solubilização de aminoácidos previamente integrados ou fracamente associados à matriz polipeptídica, conduzindo a alterações quantitativas nos níveis de aminoácidos livres detectáveis após o tratamento (Chamone et al., 2023).

O teor de arginina apresentou um aumento estatisticamente significativo após o tratamento, passando de 91,84 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$ na farinha de tremço crua (FTC) para 719,96 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$ na farinha de tremço tratada (FTT). Este resultado constitui um dos aspetos mais marcantes do perfil de aminoácidos livres obtido. O *L. albus* é reconhecido por apresentar um teor excecionalmente elevado de arginina, podendo atingir valores próximos de 11,4 g/16 g N, sendo este aminoácido fundamental como forma de armazenamento e transporte de azoto solúvel na planta (Sujak et al., 2006). A desnaturação das conglutinas induzida

pelo tratamento térmico, aliada à imersão prolongada em meio aquoso, facilita a libertação da arginina para a fração solúvel. Adicionalmente, a remoção de outros compostos hidrossolúveis, como açúcares, minerais e alcaloides, ao longo das sucessivas lavagens pode contribuir para um efeito de concentração relativa da fração nitrogenada remanescente, potenciando o valor observado na FTT (Chamone et al., 2023).

Em contraste, verificou-se uma redução de alguns aminoácidos essenciais. A leucina diminuiu de 54,34 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$ na FTC para 32,71 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$ na FTT, enquanto a lisina apresentou uma redução de 78,92 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$ para 53,02 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$ após o tratamento. Estas variações são maioritariamente atribuídas a perdas por lixiviação durante o processo tradicional de adoçamento, que envolve múltiplas trocas de água. Durante este procedimento, aminoácidos livres e proteínas solúveis podem ser facilmente arrastados para o meio aquoso e removidos. No caso específico da lisina, a sua reconhecida sensibilidade ao calor e ao processamento térmico contribui adicionalmente para a diminuição observada (Prusinski, 2017).

Relativamente a outros aminoácidos, a prolina apresentou valores semelhantes entre a FTC (30,59 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$) e a FTT (28,53 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$), não se tendo observado diferenças estatisticamente significativas. Tendência semelhante foi observada para a isoleucina, para a histidina e para a fenilalanina. Por sua vez, o ácido glutâmico manteve-se como um dos aminoácidos mais abundantes, com valores próximos entre a FTC (82,19 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$) e a FTT (78,85 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$), sem diferenças estatisticamente significativas.

Por outro lado, o triptofano (8,43 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$) e a tirosina (12,99 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$) foram detectados apenas na FTC, não tendo sido identificados na FTT. A ausência destes aminoácidos após o tratamento sugere uma elevada sensibilidade às condições de processamento, sendo plausível que tenham sido removidos por lixiviação ou degradados durante o binómio tempo/temperatura associado à cozedura e às lavagens sucessivas.

5.2. Desenvolvimento do *brownie*

No presente trabalho, a farinha de trigo foi totalmente substituída por FTT. Os ensaios preliminares realizados demonstraram ser possível utilizar quantidades equivalentes de FTT e de farinha de trigo, mantendo níveis aceitáveis de estrutura, humidade interior e coesão da massa.

Relativamente aos demais ingredientes - ovos, açúcar, cacau e óleo - ensaios foram realizados com o objetivo de ajustar a sua composição e garantir as características sensoriais associadas a este tipo de produto, nomeadamente a preservação da humidade

interna característica, o equilíbrio entre a doçura e a intensidade do sabor a cacau e a obtenção de uma textura típica de brownies tradicionais. A **Tabela 5** apresenta a formulação final obtida após a otimização.

Tabela 5: Composição da mistura dos ingredientes utilizados na produção dos brownies.

Ingredientes	BC	BT
Ovos	100 g	100 g
Açúcar	110 g	110 g
Óleo	60 g	60 g
Cacau	30 g	30 g
Farinha de trigo	40 g	—
Farinha de tremçoço	—	40 g

5.3. Caracterização dos *brownies*

5.3.1. *Rendimento, aspeto visual e dimensões*

As formulações BC e BT foram preparadas, e o peso das massas foi registado, antes e após a cozedura, para o cálculo do rendimento. Os resultados estão descritos na **Tabela 6**.

Tabela 6: Dados da pesagem dos *brownies* antes do preparo, após assado, rendimento percentual da receita e as dimensões dos *brownies* inteiros.

Pesos	BC	BT
Peso da massa crua (g)	318,33±3,21 ^a	318,00±2,65 ^a
Peso da massa cozida (g)	301,67±1,15 ^a	305,33±2,08 ^a

Rendimento (%)	94,77±0,59 ^a	96,02±0,16 ^b
Dimensões	BC	BT
Largura (cm)	9,36±0,02 ^a	9,38±0,02 ^a
Comprimento (cm)	16,66±0,06 ^a	16,61±0,07 ^a
Altura (cm)	3,99±0,06 ^a	2,83±0,01 ^b
Volume (cm ³)	622,69±6,70 ^a	441,69±3,28 ^b

Os resultados são apresentados como média ± desvio-padrão. Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha apresentam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), de acordo com o teste *t de Student*.

A análise dos parâmetros físicos dos *brownies* evidencia que o peso da massa crua não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre o BC e BT, garantindo condições iniciais equivalentes entre as formulações. De igual forma, o peso da massa após cozedura não diferiu significativamente entre as amostras. Em contraste, o rendimento apresentou diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), sendo ligeiramente superior no BT. Portanto, a substituição do *brownie* controlo por uma formulação sem glúten à base de tremçoço não compromete as características físicas avaliadas, promovendo ainda um aumento do rendimento, o que evidencia o potencial tecnológico do tremçoço em produtos sem glúten.

Relativamente ao aspeto, os *brownies* preparados apresentaram-se visualmente distintos, como evidenciado na **Figura 17** e na **Tabela 6**. O BT apresentou menor volume, menor altura e uma estrutura interna mais densa, compacta e pouco aerada quando comparada ao BC. Isso pode ter acontecido devido à, fundamentalmente, a ausência de glúten e as particularidades físico-químicas das leguminosas, as quais alteram de maneira substancial a estrutura e o comportamento térmico da massa. A falta de glúten na farinha de tremçoço impede a formação da rede proteica viscoelástica responsável pela retenção de gases e pela expansão da massa durante o cozimento (Dervas et al., 1999). Adicionalmente, é possível observar na **Figura 17b**) que a farinha de tremçoço ficou mais aparente na massa, devido a granulometria da farinha e ao *mesh* da peneira utilizada.



Figura 17: a) BT; b) BC. **Fonte:** a autora (2026).

5.3.2. Caracterização físico-química

Na **Tabela 7** estão descritos os valores obtidos nas análises físico-químicas, permitindo a comparação entre as diferentes amostras avaliadas.

Tabela 7: Caracterização físico-química dos *brownies* produzidos.

Parâmetros	BC	BT
pH	7,96±0,02 ^a	7,34±0,04 ^b
Aw	0,819±0,003 ^a	0,826±0,003 ^b
L*(Externo)	31,99±0,43 ^a	31,06±1,19 ^a
a*(Externo)	5,71±1,19 ^a	5,95±0,75 ^a
b*(Externo)	6,96±0,77 ^a	7,85±1,04 ^a
L*(Interno)	25,23±0,57 ^a	21,35±0,70 ^b
a*(Interno)	1,99±0,51 ^a	5,53±0,50 ^b
b*(Interno)	3,67±0,34 ^a	7,54±0,43 ^b
Humidade (g/100 g)	18,88±1,36 ^a	18,50±1,55 ^a
Cinzas (g/100 g _{bs})	1,77±0,09 ^a	1,56±0,08 ^b
Proteínas (g/100 g _{bs})	9,27±0,62 ^a	14,09±0,21 ^b
Lípidos (g/100 g _{bs})	28,27±1,18 ^a	33,96±0,62 ^b
Fibras (g/100 g _{bs})	3,59±0,05 ^a	10,21±1,52 ^b
Hidratos de carbono (g/100 g _{bs})	57,09±1,67 ^a	40,18±0,58 ^b
Valor energético (kcal/100 g _{bs})	519,91±5,85 ^a	522,69±2,79 ^a
Açúcares (g/100 g_{bs})	BC	BT
Sacarose	8,41±0,06 ^a	7,37±0,15 ^b

Letras iguais na mesma linha representam resultados estatisticamente iguais pelo teste T a um nível de 95% de confiança. bs=base seca.

O pH foi avaliado nos *brownies*, tendo-se observado um valor mais elevado no BC em comparação com o BT. Esta diferença está possivelmente associada à composição das farinhas utilizadas. De fato, estudos indicam que o pH do tremço é em torno de 5,30

a 5,78, enquanto o da farinha de trigo refinada é 5,84 a 6,4 (Campêlo, 2004; Erbaş et al., 2005). Apesar da diferença observada, que pode acontecer devido à interação com outros ingredientes da massa e ao processo de cozimento, o pH manteve-se dentro de uma faixa compatível com produtos de pastelaria, que nos estudos de bolos prontos situou-se entre 7,28 e 7,82 (Wilma, 2004).

Os *brownies* apresentaram valores de atividade de água (A_w) com diferença estatisticamente significativa, sendo ligeiramente superiores no BT em comparação com o BC, embora ambos se mantenham dentro dos intervalos típicos para produtos de panificação (Moreira et al., 2023). Comparativamente, os valores obtidos (0,82–0,83) situam-se acima dos reportados para *brownies* veganos à base de chia (0,72–0,78), e inferiores a formulações de *brownies* à base de feijão-preto cozido, que apresentaram níveis de A_w entre 0,93 e 0,96 (Moreira et al., 2023; Ribeiro Freitas et al., 2024).

Uma vez que os valores observados se mantiveram dentro de limites compatíveis com a estabilidade do produto, os resultados indicam que a substituição integral da farinha de trigo pela farinha de tremço tratada não compromete a segurança nem a qualidade do *brownie* nas condições estudadas. Entretanto valores de A_w superiores a 0,80 exigem um controlo rigoroso das condições de armazenamento para prevenir o crescimento de bolores e leveduras.

A avaliação dos parâmetros colorimétricos da superfície externa dos *brownies* demonstrou que não se verificaram diferenças estatisticamente significativas ($p \geq 0,05$) entre o BC e o BT, elaborado com FTT, relativamente aos valores de luminosidade (L^*), ao componente vermelho-verde (a^*) e ao componente amarelo-azul (b^*), sugerindo que o consumidor pode não perceber diferenças visuais na superfície externa de produtos enriquecidos com leguminosas (Large, 2021). Assim, os dados obtidos indicam que a incorporação de FTT não compromete a aparência externa do *brownie*, um fator relevante para a aceitação visual e sensorial do produto final (Marta et al., 2024).

Relativamente à colorimetria da parte interna dos *brownies*, observaram-se diferenças mais pronunciadas entre as formulações, particularmente nos parâmetros a^* e b^* , embora os valores de L^* não tenham diferido de forma estatisticamente significativa. O BT, elaborado com FTT, apresentou valores médios de 5,5 para a^* e 7,5 para b^* . Em contraste, BC apresentou valores de 2,0 (a^*) e 3,7 (b^*). A utilização de FTT tende a conferir ao miolo uma tonalidade mais amarelada, refletida no aumento do valor de b^* , fenómeno que pode ser atribuído à presença de pigmentos naturais nas sementes de

tremoço, nomeadamente carotenoides como a luteína e a zeaxantina (Kohajdová et al., 2011).

Na análise do teor de humidade não se observaram diferenças significativas entre o BC e o BT. Embora os produtos tenham sido submetidos a tempos de cozedura distintos, ajustados de forma a garantir as características tecnológicas do *brownie* e adequados a cada tipo de farinha utilizada na formulação, os valores semelhantes de humidade indicam que o efeito térmico global foi equivalente no produto final. Este resultado encontra-se em concordância com a literatura, nomeadamente com estudos realizados em *brownies* à base de grão-de-bico (outra leguminosa), nos quais a substituição total da farinha de trigo não conduziu a alterações significativas no teor de humidade final (11,02% no controlo e 10,53% na formulação com substituição integral) (Large, 2021). Adicionalmente, o teor de humidade observado no BT é consistente com valores reportados para *brownies* enriquecidos com outros ingredientes de origem vegetal, os quais variam tipicamente entre 14,4% e 25,6%, dependendo da formulação (Petka et al., 2025).

Com relação ao teor de cinzas, o BC apresentou valores superiores ao do BT. Este resultado contrasta com estudos anteriores, em que o enriquecimento com leguminosas e pseudocereais promoveu aumento do teor de cinzas em produtos de panificação, como em *brownies* com feijão ou em bolos enriquecidos com chia (Pizarro et al., 2013). É possível que o menor teor de cinzas observado para FTT comparada à FC, devido às operações de maceração, cozedura e lixiviação, tenha contribuído para este resultado, evidenciando o impacto que o tratamento da matéria-prima exerceu sobre o produto.

Para proteínas, o BT apresentou um teor de proteínas superior ao do BC, resultado diretamente associado à substituição total da farinha de trigo pela farinha de tremçoço tratada. Enquanto a farinha de trigo utilizada no BC apresenta um teor proteico moderado (geralmente entre 9% e 11%), a FTT introduz uma densidade proteica substancialmente superior (Pizarro et al., 2013). Este aumento de aproximadamente 52% no produto final evidencia o potencial do tremçoço para aplicações no enriquecimento proteico e para o desenvolvimento de alimentos com maior densidade nutricional, em consonância com estudos que reportam aumentos semelhantes em bolos e *brownies* fortificados com outras leguminosas (Felfoul et al., 2023).

Relativamente aos lípidos, o BT apresentou teor superior ao BC. Esse comportamento reflete o maior conteúdo de lípidos da FTT em comparação à farinha de trigo utilizada no controlo, que possui um teor lipídico muito baixo, geralmente em torno de 1,06% a 1,36% (Sharoba et al., 2013). O aumento do teor de lípidos no BT pode

influenciar positivamente características sensoriais do produto, como maciez, textura e sensação de humidade, uma vez que as gorduras e óleos atuam como amaciadores, lubrificando as partículas de farinha e retardando a retrogradação do amido (Martínez et al., 2025). Estudos indicam que *brownies* reformulados com óleos vegetais ou purês de leguminosas ricas em gordura tendem a ser percebidos como mais suculentos e frescos (Selvakumaran et al., 2019).

Em fibras, verificou-se uma diferença significativa entre o BC e o BT, sendo este último superior neste parâmetro. O valor observado para o BC é compatível com produtos elaborados com farinha de trigo refinada, cujo conteúdo de fibra é geralmente reduzido (aprox. 3,47 g/100 g) (Kamil et al., 2023). O aumento verificado no BT resulta diretamente da substituição integral da farinha de trigo pela farinha de tremço tratada, refletindo a elevada densidade de fibras da matéria-prima original. Assim, o *brownie* de tremço ultrapassa o limiar regulamentar de 6 g/100 g, o que permite a sua classificação como alimento de “alto conteúdo de fibra” (Keller et al., 2022).

Na análise do teor de hidratos de carbono, observou-se uma redução significativa no BT em comparação com o BC. Este comportamento é consistente com a literatura, que demonstra que a incorporação de farinhas de leguminosas em produtos de panificação conduz, geralmente, à diminuição do teor de hidratos de carbono totais (Ivanova, 2022). A farinha de trigo utilizada no BC é maioritariamente constituída por amido (entre 72% e 74%), funcionando como principal fonte de hidratos de carbono e energia, enquanto FTT possui uma menor densidade de amido (Al-Dmoor et al., 2013).

No que respeita ao valor energético, não se observaram diferenças significativas entre o BC e o BT. Esta similaridade energética, apesar das diferenças na composição nutricional, indica que a substituição integral da FC pela FTT não compromete o aporte calórico global do produto final.

No perfil de açúcares, o BT demonstrou possuir diferenças estatisticamente significativas quando comparado com o BC. Este resultado fundamenta-se no facto de a sacarose provir além do açúcar adicionado na formulação (sacarose comercial), que representa uma fração volumosa em receitas de brownies, também das farinhas utilizadas.

5.3.3. Ácidos gordos

A **Tabela 8** apresenta o perfil de ácidos gordos (% do total de lípidos) do BC e do BT.

Tabela 8: Perfil de ácidos gordos do BC e do BT.

Ácidos gordos	BC (%)	BT (%)
Ácido Palmítico (C16:0)	2,23±0,03 ^a	2,40±0,06 ^b
Ácido Palmitoleico (C16:1)	0,89±0,02 ^a	0,87±0,56 ^a
Ácido Esteárico (C18:0)	1,981±0,001 ^a	1,86±0,01 ^b
Ácido Elaídico (C18:1n9t)	40,27±0,02 ^a	40,94±0,10 ^b
Ácido Linolelaídico (C18:2n6t)	53,96±0,02 ^a	53,16±0,06 ^b
Ácido Gama-linolénico (C18:3n6)	0,12±0,01 ^a	0,13±0,01 ^b
Ácido Alfa-linolénico (C18:3n3)	0,16±0,01 ^a	0,15±0,01 ^a
Ácido Dihomo-gama-linolénico (C20:3n6)	0,102±0,001 ^a	0,10±0,01 ^a
Ácido Eicosatrienoico n-3 (C20:3n3)	0,28±0,01 ^a	0,27±0,02 ^a
Ácido Docosadienoico (C22:2)	ND	0,11±0,01
SFA	4,21±0,03 ^a	4,26±0,06 ^a
MUFA	41,16±0,01 ^a	41,80±0,04 ^b
PUFA	54,63±0,03 ^a	53,93±0,11 ^b

Os resultados são apresentados como média ± desvio-padrão. Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha apresentam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), de acordo com o teste *t de Student*. ND: não detectado.

A análise do perfil de ácidos gordos dos *brownies* permitiu avaliar o impacto da substituição integral da farinha de trigo pela FTT na composição lipídica do produto após cozedura (Arcand et al., 2014). De um modo geral, os *brownies* BC e BT apresentaram perfis lipídicos muito semelhantes, o que é consistente com o facto de a principal fonte de lípidos em ambas as formulações ser o óleo vegetal adicionado, e não a farinha. Consequentemente, em ambas as amostras, os ácidos gordos predominantes foram o ácido oleico (C18:1n9t) e o ácido linoleico (C18:2n6t), representando aproximadamente 40% e 54% do total de ácidos gordos, respetivamente, valores característicos de matrizes

lipídicas de origem vegetal com elevado grau de insaturação (Cakmak et al., 2011). Em conjunto, as frações de ácidos gordos saturados, monoinsaturados e polinsaturados mantiveram-se globalmente estáveis entre o BC e o BT, confirmando que a gordura adicionada atua como matriz lipídica dominante e atenua as variações resultantes da substituição da farinha.

Um aspeto relevante foi a deteção exclusiva do ácido gordo C22:2 no BT, com um teor de $0,11 \pm 0,01\%$, não tendo sido identificado no BC. Embora este ácido gordo esteja presente em quantidades residuais, a sua ocorrência pode ser interpretada como um marcador da incorporação da FTT na formulação, visto que há a presença deste ácido gordo nas sementes de tremçoço branco (*L. albus*), em quantidades reduzidas (geralmente inferiores a 1%) (Prusinski, 2017).

5.3.4. Aminoácidos Livres

A **Tabela 9** apresenta o perfil de aminoácidos livres ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) do BC e do BT, discriminando aminoácidos essenciais e não essenciais, e permitindo avaliar as diferenças quantitativas entre as duas formulações após o processo de cozedura.

Tabela 9: Perfil de aminoácidos das amostras BC e BT.

Aminoácidos	BC ($\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$)	BT ($\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$)
Alanina	$29,39 \pm 0,62^a$	$34,7 \pm 1,78^b$
Prolina	$55,58 \pm 1,50^a$	$65,87 \pm 4,83^b$
Leucina	$88,07 \pm 2,18^a$	$79,91 \pm 3,15^b$
Isoleucina	$77,26 \pm 2,90^a$	$64,65 \pm 9,71^a$
Asparagina	$18,97 \pm 0,90^a$	$14,16 \pm 5,06^a$
Glutamina	$22,90 \pm 0,18^a$	$23,94 \pm 3,34^a$
Lisina	$18,90 \pm 0,66^a$	$23,24 \pm 2,57^b$
Ácido Glutâmico	$63,56 \pm 1,46^a$	$63,37 \pm 7,15^a$

Metionina	9,72±0,22 ^a	9,48±0,52 ^a
Fenilalanina	50,13±1,86 ^a	69,12±2,98 ^b
Arginina	98,99±0,12 ^a	118,01±2,76 ^b
Tirosina	1,75±0,21 ^a	3,63±0,25 ^b

Os resultados são apresentados como média ± desvio-padrão. Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha apresentam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), de acordo com o teste *t de Student*.

A análise do perfil de aminoácidos dos *brownies* evidenciou diferenças relevantes entre o BC e o BT, refletindo diretamente o impacto da substituição integral da farinha de trigo pela FTT. Foram identificados aminoácidos essenciais (leucina, isoleucina, lisina, metionina e fenilalanina), que são aqueles que o organismo humano não consegue sintetizar e, portanto, devem ser obtidos por meio da alimentação e aminoácidos não essenciais (alanina, prolina, asparagina, glutamina, ácido glutâmico, arginina e tirosina) que são aqueles que o corpo pode produzir, mesmo que também possam ser ingeridos pela dieta. De um modo geral, o BT apresentou uma composição de aminoácidos mais rica para vários aminoácidos essenciais e não essenciais, reforçando o contributo nutricional do tremoço enquanto leguminosa de elevado teor proteico (Sujak et al., 2006).

Entre os aminoácidos que registaram aumentos expressivos no BT, destaca-se a arginina, cujo teor aumentou de forma marcada, atingindo cerca de 118 µg/g_{bs}, em comparação com aproximadamente 99 µg/g_{bs} no BC. Este aumento é consistente com o facto de o *L. albus* possuir teores de arginina exceccionalmente elevados (até 11,4 g/16gN), superando inclusive a soja. Este acréscimo é particularmente relevante, dado que a arginina está associada à síntese de óxido nítrico e ao consequente impacto positivo na função vascular e imunológica (Pereira et al., 2022). A fenilalanina também apresentou um aumento substancial no BT, com valores superiores a 69 µg/g_{bs}, face a cerca de 50 µg/g_{bs} no BC, reforçando o papel da FTT como fonte de aminoácidos aromáticos essenciais importantes para a síntese proteica e para a neurotransmissão (Prusinski, 2017).

A lisina, tradicionalmente limitada em farinhas de cereais como o trigo, registou igualmente um aumento significativo no BT, alcançando cerca de 23 µg/g_{bs}, em contraste com valores próximos de 19 µg/g_{bs} no BC. Este resultado confirma o contributo das leguminosas para a melhoria do perfil de aminoácidos essenciais em produtos de

pastelaria, uma vez que a lisina é frequentemente o aminoácido limitante em formulações à base de cereais. Outros aminoácidos não essenciais, como a alanina e a prolina, também evidenciaram aumentos significativos no BT. O aumento da prolina, que ultrapassou os 65 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$, é particularmente relevante, uma vez que este aminoácido desempenha um papel importante na estrutura das proteínas e na estabilidade das redes matriciais, podendo influenciar características tecnológicas como a textura e a retenção de umidade do produto final (Shrestha et al., 2021).

Por outro lado, a leucina apresentou uma redução significativa no BT, com valores a diminuir de cerca de 88 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$ no BC para aproximadamente 80 $\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$ no BT. No caso da isoleucina, apesar de se observar uma diminuição dos valores médios no BT relativamente ao BC, esta diferença não foi estatisticamente significativa, indicando apenas uma tendência associada ao perfil proteico das matérias-primas utilizadas (Sujak et al., 2006). Estas variações podem estar relacionadas com a composição característica das proteínas do trigo, que apresentam, de forma geral, um teor relativo mais elevado destes aminoácidos de cadeia ramificada.

A maioria dos restantes aminoácidos, incluindo glutamina, ácido glutâmico, metionina e asparagina, apresentou valores semelhantes entre as duas formulações, não se observando diferenças estatisticamente significativas.

5.3.5. Perfil de textura dos brownies

Com o objetivo de caracterizar e comparar o perfil de textura dos *brownies*, procedeu-se à análise dos parâmetros texturais das formulações BC e BT, conforme apresentado na **Tabela 10**.

Tabela 10: Perfil de textura da parte frontal dos *brownies*.

Parâmetros	BC	BT
Dureza (g)	2455,79±106,35 ^a	766,38±11,53 ^b
Adesividade (g.s)	-1,39±0,54 ^a	-10,44±5,88 ^a
Elasticidade	0,79±0,01 ^a	0,69±0,04 ^b
Coesividade	0,68±0,01 ^a	0,35±0,02 ^b
Gomosidade (g)	1751,12±70,06 ^a	276,45±14,14 ^b
Mastigabilidade (g)	1389,21±46,99 ^a	192,70±13,10 ^b
Resiliência	0,30±0,01 ^a	0,11±0,01 ^b

Os resultados são apresentados como média ± desvio-padrão. Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha apresentam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), de acordo com o teste *t de Student*.

A análise do perfil de textura dos *brownies* evidenciou diferenças significativas entre o BC e BT para a maioria dos parâmetros avaliados. O BC apresentou valores mais elevados ($p < 0,05$) de dureza, coesividade, gosmosidade, mastigabilidade e resiliência. Parte dessa discrepância pode ser observada na **Figura 18**.

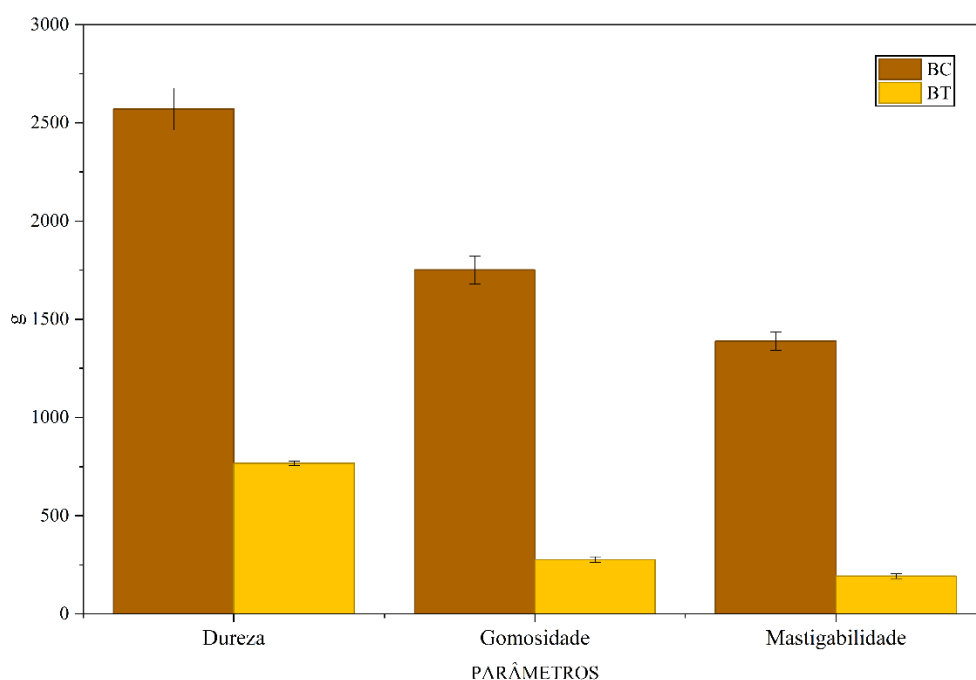


Figura 18: Diferenças com relação a BT e BC em parâmetros de textura. **Fonte:** a autora (2026).

A dureza inferior observada no BT indica que a substituição da farinha de trigo pela farinha de tremçoço tratada resultou num produto menos rígido, efeito que pode ser atribuído, principalmente, à ausência de glúten e à consequente formação de uma matriz estrutural menos contínua. No trigo, o glúten, constituído por gliadinas e gluteninas, forma uma rede viscoelástica capaz de conferir resistência mecânica, elasticidade e capacidade de retenção de gases (Marta et al., 2024).

Os valores inferiores de coesividade, gomosidade e mastigabilidade observados no BT corroboram esta interpretação, refletindo uma menor integridade estrutural e uma menor energia necessária para a desintegração do produto durante a mastigação (Marta et al., 2024). A menor resiliência do BT reforça este comportamento, indicando uma capacidade reduzida de recuperação da forma original após a compressão, característica frequentemente associada a produtos isentos de glúten, cuja estrutura depende mais da gelatinização do amido e da retenção de humidade do que da elasticidade proteica (Moraes et al., 2023). Relativamente à adesividade, não se observaram diferenças estatisticamente significativas ($p \geq 0,05$) entre as formulações na face frontal do produto. O BC apresentou um valor médio de $-1,4$ g.s, enquanto o BT registou $-10,4$ g.s. Apesar da diferença numérica, a elevada variabilidade dos dados e a análise estatística indicam um comportamento tecnológico semelhante para este parâmetro específico.

Este resultado pode estar associado ao papel dominante dos lípidos e dos açúcares na definição da adesividade. Ao contrário de parâmetros como a dureza ou a mastigabilidade, que dependem fortemente da formação de uma rede de glúten estável, a adesividade está relacionada com a capacidade do produto aderir a superfícies, sendo influenciada pela lubricidade conferida pelas gorduras e pela viscosidade dos açúcares fundidos (Martínez et al., 2025). Além disso, o maior teor lipídico da FTT com relação a FC pode explicar os menores valores de dureza e resiliência observados no BT, uma vez que o aumento da gordura pode resultar em uma estrutura de miolo e mais macia e menos elástica, resultados similares também evidenciados em estudos realizados com a substituição da farinha de trigo por farinha de tremoço, em pães, resultou na diminuição da dureza, elasticidade e resiliência do miolo (Nigro et al., 2025).

5.3.6. Índice glicémico

Os resultados na **Tabela 11** evidenciaram diferenças claras no índice glicémico entre as formulações de *brownie* analisadas.

Tabela 11: Efeito da incorporação de tremoço no índice glicémico dos *brownies*.

	IG %
BC	94,40 ± 2,10
BT	14,50 ± 0,80

O BC apresentou um índice glicémico elevado (94,4%), classificando-se como um alimento de alto índice glicémico (>70), comportamento típico de produtos de pastelaria formulados com farinha de trigo refinada e sacarose. Este resultado está associado ao elevado teor de amido disponível da farinha de trigo, que representa cerca de 72–74% da sua composição, favorecendo uma rápida digestão e absorção da glicose (Hall MHN et al., 2005), bem como ao elevado teor de sacarose do produto.

Em contraste, o BT evidenciou uma redução acentuada do índice glicémico, apresentando um valor de apenas 14,5%, enquadrando-se claramente na categoria de baixo índice glicémico (≤54) (Krawęcka et al., 2022). Esta diferença expressiva entre as formulações, apesar de ambas conterem a mesma quantidade de sacarose, pode ser atribuída à substituição integral da farinha de trigo por farinha de tremoço, cuja matriz nutricional se caracteriza por um teor de amido substancialmente inferior (entre 5 e 12%) e por um elevado conteúdo em proteínas e fibras alimentares (Hall MHN et al., 2005).

O elevado teor proteico do tremço contribui para a reduo da resposta glicmica, uma vez que as protenas retardam o esvaziamento gstrico e promovem uma libertao mais gradual da glicose (Hall MHN et al., 2005). Estudos demonstraram que a γ -conglutina, uma protena bioativa caracterstica do tremço, apresenta efeitos insulino-mimticos, favorecendo a captao celular de glicose e contribuindo para a diminuio da resposta glicmica ps-prandial (Krawecka et al., 2022). Paralelamente, a frao fibrosa aumenta a viscosidade do contudo intestinal, dificultando a digesto e absoro dos hidratos de carbono.

Sob a perspectiva tecnolgica e nutricional, a incorporao de farinhas de leguminosas ricas em protena, em substituio da farinha de trigo, reconhecida por reduzir a carga glicmica global dos produtos, no s pela diluio do amido disponvel, mas tambm pelo aumento da densidade proteica e fibrosa da matriz alimentar, como demonstra a literatura que refere redues de 20% no ndice glicmico e o alcance de uma carga glicmica baixa (inferior a 10%) em formulaes com 20% de farinha de tremço (Krawecka et al., 2022; Yaver & Bilgili, 2021). Assim, os resultados demonstram que o *brownie* com tremço se destaca como uma alternativa adequada para estratgias alimentares orientadas para o controlo glicmico e para dietas com reduzida carga glicdica.

5.3.7. Anlise sensorial

5.3.7.1. Participantes

A anlise sensorial dos *brownies* de chocolate foi efetuada com 141 julgadores para avaliar a sua aceitabilidade por parte dos consumidores. Analisaram-se as duas amostras de *brownie* produzidas (BC e BT). Conforme evidenciado na **Figura 19**, a composio do painel sensorial apresentou predominncia do gnero feminino, que representou 58,2% dos respondentes, enquanto 41,8% corresponderam ao gnero masculino. A distribuio etria dos participantes (**Figura 19b**) indicou concentrao majoritria na faixa de 26 a 35 anos, a qual abrangeu 67,4% do total. As demais faixas etrias apresentaram menor representatividade, sendo 12,8% para indivduos com 56 anos ou mais, 10,5% para aqueles entre 46 e 55 anos e 9,3% para participantes de 36 a 45 anos. Esses resultados demonstram que o painel foi constituído essencialmente por adultos jovens, perfil frequentemente observado em estudos de aceitao sensorial de produtos como o *brownie* de chocolate.

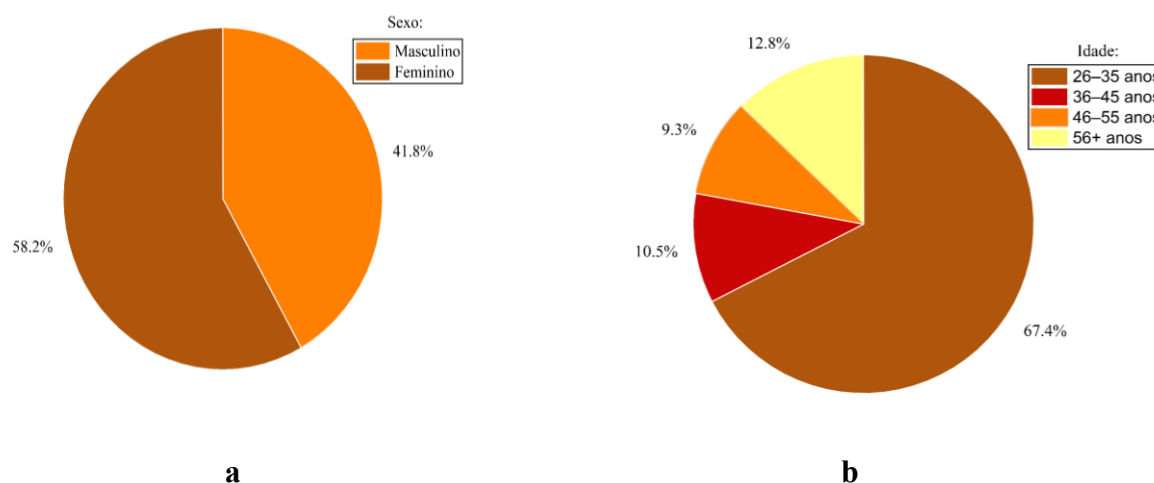


Figura 19: a) Sexo dos participantes; b) Idade dos participantes. **Fonte:** a autora (2026).

5.3.7.2. Aceitação sensorial

Com o objetivo de avaliar o impacto da substituição da farinha de trigo pela FTT nas características sensoriais dos *brownies*, foi realizada uma análise sensorial comparativa das formulações BC e BT. Os escores obtidos para os diferentes atributos avaliados encontram-se apresentados na **Tabela 12**.

Tabela 12: Escores sensoriais da avaliação de *brownie* de chocolate com diferentes farinhas em sua composição.

Parâmetros	BT	BC
Aparência	7,59±1,52 ^a	7,89±1,10 ^a
IA (%)	84,32	87,63
Odor	7,30±1,46 ^a	7,52±1,26 ^b
IA (%)	81,17	83,61
Sabor	7,32±1,37 ^a	7,86±1,28 ^a
IA (%)	81,40	87,31
Textura	6,89±1,78 ^a	7,44±1,64 ^a
IA (%)	76,60	82,66
Impressão global	7,48±1,28 ^a	7,85±1,06 ^a
IA (%)	83,06	87,23

Letras minúsculas distintas na linha indicam diferença significativa pelo teste de *t de Student* ($p < 0,05$) para as formulações. Os resultados são apresentados como média±desvio padrão.

Os resultados da avaliação sensorial demonstraram a substituição de farinha de trigo por farinha de tremoço em *brownies* não apresentaram diferenças significativas para os atributos de aparência, sabor, textura e para a aceitação global. Esta constatação é sustentada pelos valores do Índice de Aceitabilidade (IA), que se mantiveram superiores a 70% em todos os atributos avaliados para ambas as amostras, BC e BT. Este valor é reconhecido na literatura como o limite mínimo para que um produto seja considerado sensorialmente aceite (Amaral et al., 2012). Particularmente no que diz respeito à textura, frequentemente afectada em formulações sem glúten pela ausência da rede proteica responsável pela viscoelasticidade da massa, os resultados podem ter sido favorecidos pelo elevado teor de fibra alimentar da FTT, a qual contribui para o aumento da viscosidade da massa e para a estrutura densa e húmida (“fudgy”) típica do *brownie*, ajudando a compensar a ausência do glúten (Fatima et al., 2025).

Relativamente ao odor, observou-se a única diferença estatisticamente significativa entre as amostras, com o BC a apresentar uma média ligeiramente superior

em comparação com o BT. (como evidenciado nos comentários dos julgadores deixados na ficha da sensorial- **Anexo 2**), essa diferença pode ter sido percebida devido ao odor do tremço. Apesar desta disso, ambos os produtos apresentaram níveis elevados de aceitação, com IA de 83,61% para o BC e 81,17% para o BT. Esta variação pode estar associada à presença natural de compostos voláteis característicos das leguminosas, como aldeídos e cetonas (por exemplo, hexanal e nonenal), frequentemente relacionados com notas aromáticas descritas como “*beany*” (feijão) ou “*green*” (verde). Estes compostos resultam, em grande parte, da oxidação enzimática de lípidos catalisada pela lipoxigenase durante o processamento das sementes de tremço para obtenção da farinha (Wanniarachchi et al., 2025). No entanto, considerando que os valores de IA se mantiveram bem acima do limite de aceitação, conclui-se que esta diferença não comprometeu a aceitação global do produto.

Assim, o *brownie* de tremço apresentou um desempenho sensorial comparável ao produto tradicional, evidenciando que a sua utilização não compromete a aceitação sensorial e representa uma estratégia promissora para o desenvolvimento de produtos de confeitaria.

5.3.7.3. Intenção de compra

Com o objetivo de avaliar a intenção de compra dos consumidores relativamente às diferentes formulações de *brownie*, procedeu-se à análise das respostas obtidas no inquérito sensorial. Os resultados referentes à decisão de compra encontram-se apresentados em gráfico, na **Figura 20**.

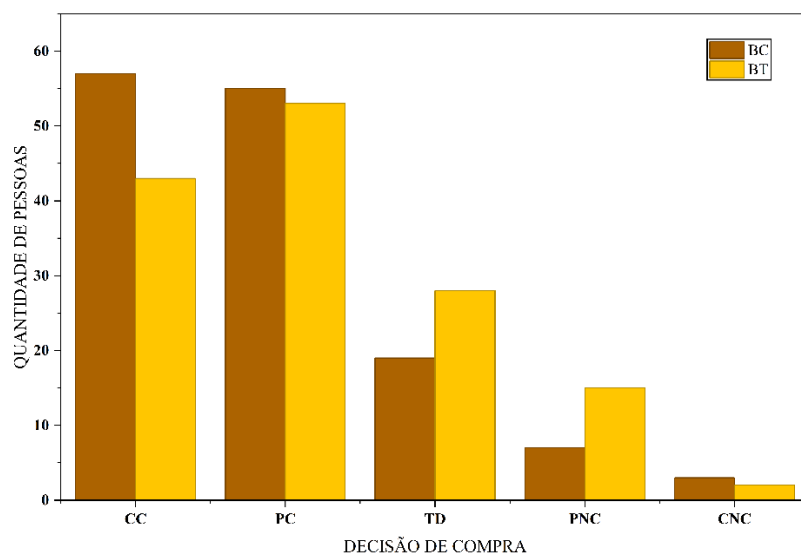


Figura 20: Gráfico da decisão de compras dos consumidores. Sendo CC: Certamente compraria, PC: Provavelmente compraria, TD: Tenho dúvidas se compraria, PNC: Provavelmente não compraria, CNC: Certamente não compraria. **Fonte:** a autora (2026).

O BC apresentou maior intenção de compra do que o BT (maior frequência da alternativa “certamente compraria”), enquanto nas categorias intermédias de intenção de compra (provavelmente compraria; tenho dúvidas se compraria), esta diferença é minimizada ou revertida. Este comportamento sugere que, embora ambas as formulações tenham apresentado aceitações sensoriais equivalentes, o consumidor mostrou-se mais cauteloso ao *brownie* inovador. Alguns fatores, como por exemplo a textura diferenciada de BT, caracterizada por menor dureza e coesividade, e a granulosidade mais acentuada provocada pela presença de FTT, podem ter contribuído para este resultado. Ademais, embora a aceitação do sabor não tenha diferido entre as formulações, é possível que o consumidor tenha percebido algum sabor residual atribuído à FTT.

De forma global, os resultados indicam que o *brownie* elaborado com FTT apresenta viabilidade tecnológica e boa aceitação sensorial, embora a sua intenção de compra seja ligeiramente inferior à do produto tradicional. Entretanto, a valorização dos atributos nutricionais poderá desempenhar um papel no aumento da intenção de compra e na aceitação deste produto, como já demonstrado em estudos anteriores (Capitani et al., 2025).

O presente estudo contribuiu para o avanço no desenvolvimento de produtos de pastelaria sem glúten através da investigação da farinha de tremço tratada (FTT) como substituto integral da farinha de trigo na formulação de *brownies*. A crescente procura por alternativas isentas de glúten, motivada tanto por necessidades clínicas como por escolhas alimentares, reforça a importância de explorar matérias-primas nutricionalmente superiores e tecnologicamente viáveis. Neste contexto, o tremço revelou-se uma fonte relevante de proteínas, fibras e compostos funcionais, mostrando elevado potencial para aplicações em produtos alimentares inovadores.

A caracterização físico-química das farinhas demonstrou que o tratamento térmico aplicado ao tremço promoveu melhorias nutricionais significativas, nomeadamente a redução dos hidratos de carbono totais, a eliminação de açúcares solúveis e o aumento do teor de fibras. Esta composição refletiu diretamente no perfil nutricional do produto final. O *brownie* formulado com FTT apresentou composição nutricional superior relativamente ao controlo de trigo, evidenciada pelos maiores teores de proteína e fibra, menor concentração de hidratos de carbono e manutenção do valor energético. Destaca-se também o efeito marcado no índice glicémico: enquanto o *brownie* controlo apresentou um valor elevado, o *brownie* de tremço exibiu um índice glicémico substancialmente reduzido, classificando-se como um alimento de baixo impacto glicémico. Esta diferença é especialmente relevante no contexto de produtos destinados a consumidores com necessidades metabólicas específicas.

Do ponto de vista tecnológico, embora o *brownie* de tremço tenha apresentado menor dureza e inferior coesividade relativamente ao controlo, manteve parâmetros estruturais adequados e compatíveis com a categoria de produto. A aceitação sensorial revelou-se positiva, evidenciando que as diferenças físicas não comprometeram a percepção global do consumidor. A impressão global e a intenção de compra apresentaram valores comparáveis aos do *brownie* tradicional, reforçando a viabilidade deste produto como alternativa comercial.

Este trabalho demonstra, assim, a eficácia da FTT na produção de um *brownie* sem glúten nutricionalmente valorizado, tecnologicamente adequado e sensorialmente

bem aceite. Adicionalmente, destaca o potencial do tremço enquanto ingrediente estratégico para diversificar a oferta de produtos sem glúten.

Para investigações futuras, pretende-se realizar a produção do *brownie* em escala piloto, de modo a avaliar o desempenho da formulação em condições industriais e a sua estabilidade ao longo do armazenamento. Sugere-se ainda a realização de estudos de vida útil e análises microbiológicas completas. Além disso, a exploração de combinações com outras matérias-primas de elevado valor nutricional poderia contribuir para o desenvolvimento de produtos que atendam a demanda dos consumidores.

Referências bibliográficas

- Abreu, B., Lima, J., & Rocha, A. (2023). Consumer Perception and Acceptability of Lupin-Derived Products: A Systematic Review. In *Foods* (Vol. 12, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods12061241>
- Al-Dmoor, H. M. (2013). Cake flour: functionality and quality (review). In *European Scientific Journal* (Vol. 9, Issue 3).
- Ali, A. S., & Elozeiri, A. A. (2017). Metabolic processes during seed germination. In *Advances in seed biology*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70653>. AOAC. (2016). Official methods of analysis of AOAC international. Gaithersburg: AOAC, 20th ed.
- Almeida Do Amaral, D., Letícia, M., Pereira, S., Ferreira, C. C., & Gregório, E. L. (2012). *Análise sensorial de geleia de polpa e de casca de maracujá*.
- André Cremonez, P., Feroldi, M., Feiden, A., de Rossi, E., Nadaleti, W. C., & Antonelli, J. (2013). Tremoço: Manejo e Aplicações. *Acta Iguazu*, 98–108. <http://dias-com-arvores.blogspot.com.br/2008/03/manifestao-de-bravos.html>
- Annicchiarico, P., Manunza, P., Arnoldi, A., & Boschini, G. (2014). Quality of *Lupinus albus* L. (White Lupin) seed: Extent of genotypic and environmental effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(28), 6539–6545. <https://doi.org/10.1021/jf405615k>
- Antonio, C., Pinheiro, C., Chaves, M. M., Ricardo, C. P., Ortuño, M. F., & Thomas-Oates, J. (2008). Analysis of carbohydrates in *Lupinus albus* stems on imposition of water deficit, using porous graphitic carbon liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1187(1–2), 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.02.010>
- Arcand, J., Scourboutakos, M. J., Au, J. T. C., & L'Abbe, M. R. (2014). Trans Fatty acids in the Canadian food supply: An updated analysis. *American Journal of Clinical Nutrition*, 100(4), 1116–1123. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.088732>
- Awad-Allah, M. A. A., & Elkatry, H. (2013). Effect of Debittering Process on Characterization of Egyptian Lupine Seeds Oil (*Lupinus albus*). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(2), 728–734.
- Barros, L., Baptista, P., Correia, D. M., Casal, S., Oliveira, B., & Ferreira, I. C. F. R. (2007). Fatty acid and sugar compositions, and nutritional value of five wild edible mushrooms from Northeast Portugal. *Food Chemistry*, 105(1), 140–145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.052>
- Battochio, J. R. (2006). *Perfil Sensorial de pão de forma integral*.

- Bloothoof, M., Cremers, P., Güven, S., Stoutjesdijk, S. J., Jiron, M., Wessel, M., & van der Heyden, M. A. G. (2025). Lupin poisoning: a review. In *Frontiers in Toxicology* (Vol. 7). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/ftox.2025.1547535>
- Boukid, F., & Pasqualone, A. (2022). Lupine (*Lupinus* spp.) proteins: characteristics, safety and food applications. In *European Food Research and Technology* (Vol. 248, Issue 2, pp. 345–356). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03909-5>
- Cakmak, Y. S., Guler, G. O., Yigit, S., Caglav, G., & Aktumsek, A. (2011). Fatty acid composition and trans fatty acids in crisps and cakes in Turkey's markets. *International Journal of Food Properties*, 14(4), 822–829. <https://doi.org/10.1080/10942910903453389>
- Campêlo, W. F. (2004). *Efeito da adição de ferro e ácido fólico nas características da qualidade do bolo*.
- Capitani, C. D., Corrêa Altemari, G., Rodrigues Moreira, M., & Ariel Rostagno, M. (2025). Aceitação e intenção de compras de *brownies* veganos adicionados de chia (*Salvia hispanica* L.). *DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde*, 20, e84868. <https://doi.org/10.12957/demetra.2025.84868>
- Chamone, M. E. R., Ascheri, J. L. R., Vargas-Solórzano, J. W., Stephan, M. P., & Carvalho, C. W. P. (2023). Chemical Characterization of White Lupin (*Lupinus albus*) Flour Treated by Extrusion Cooking and Aqueous Debitting Processes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 78(2), 292–298. <https://doi.org/10.1007/s11130-023-01050-0>
- Chiofalo, B., Presti, V. lo, Chiofalo, V., & Gresta, F. (2012). The productive traits, fatty acid profile and nutritional indices of three lupin (*Lupinus* spp.) species cultivated in a Mediterranean environment for the livestock. *Animal Feed Science and Technology*, 171(2–4), 230–239. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.11.005>
- Chukwuejim, S., Utioh, A., Choi, T. D., & Aluko, R. E. (2024). Lupin Seed Proteins: A Comprehensive Review of Composition, Extraction Technologies, Food Functionality, and Health Benefits. In *Food Reviews International* (Vol. 40, Issue 2, pp. 691–714). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2191701>
- Curti, C. A., Curti, R. N., Bonini, N., & Ramón, A. N. (2018). Changes in the fatty acid composition in bitter *Lupinus* species depend on the debittering process. *Food Chemistry*, 263, 151–154. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.118>
- da Silva, L. A., da Silva Scapim, M. R., Stafussa, A. P., & Madrona, G. S. (2022). Drying effects on Camu-camu residue: An approach of mathematical modeling, thermodynamic properties, and color evaluation in order to obtain a natural food dye. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16599>

- Das, M., Duodu, S. O., Santra, S., Lalsangi, S., & Banerjee, R. (2024). Gluten proteins: A comprehensive review. In *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* (Vol. 62). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103437>
- Dervas, G., Doxastakis, G., Hadjisavva-Zinoviadi, S., & Triantaflakos, N. (1999). *Lupin flour addition to wheat flour doughs and effect on rheological properties*.
- Dhillon, B., Choudhary, G., & Sodhi, N. S. (2020). A study on physicochemical, antioxidant and microbial properties of germinated wheat flour and its utilization in breads. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 2800–2808. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04311-x>
- dos Santos, G. F. (2019). *Brownie de açaí e castanha sem glúten, sem leite e com redução lipídica: perfil sensorial e estudo de consumidores*.
- dos Santos, S. S., Paraíso, C. M., Rodrigues, L. M., & Madrona, G. S. (2021). Agro-industrial waste as a source of bioactive compounds: Ultrasound-assisted extraction from blueberry (*vaccinium myrtillus*) and raspberry (*rubus idaeus*) pomace. *Acta Scientiarum - Technology*, 43. <https://doi.org/10.4025/ACTASCITECHNOL.V43I1.55567>
- Drake, M. A. (2007). Invited review: Sensory analysis of dairy foods. In *Journal of Dairy Science* (Vol. 90, Issue 11, pp. 4925–4937). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0332>
- Dutra, T. V., Pante, G. C., Reck, I. M., Bánkuti, F. I., & Madrona, G. S. (2020). Elaboração e avaliação sensorial de *brownie* de alfarroba isento de glúten e lactose. *Research, Society and Development*, 9(10), e4829108693. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8693>
- el Khoury, D., Balfour-Ducharme, S., & Joye, I. J. (2018). A review on the gluten-free diet: Technological and nutritional challenges. In *Nutrients* (Vol. 10, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu10101410>
- Erbaş, M., Certel, M., & Uslu, M. K. (2005a). Some chemical properties of white lupin seeds (*Lupinus albus* L.). *Food Chemistry*, 89(3), 341–345. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.040>
- Fatima, S., Altemimi, A. B., Ali, K., Inam-Ur-Raheem, M., Mukhtar, F., Yıkmış, S., Abdi, G., & Aadil, R. M. (2025). A comprehensive review on effect of chia seed, flaxseed, sesame seed and their derivatives on quality of bakery products. *Applied Food Research*, 5(2), 101534. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101534>
- Felfoul, I., Ammar, I., Bouzid, L., Attia, H., & Masmoudi, M. (2023). Physical, structural and sensory characteristics of gluten-free madeleines made from colored flours. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(2), 1831–1843. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01751-1>

Ferchichi, N., Toukabri, W., Vrhovsek, U., Nouairi, I., Angeli, A., Masuero, D., Mhamdi, R., & Trabelsi, D. (2021). Proximate composition, lipid and phenolic profiles, and antioxidant activity of different ecotypes of *Lupinus albus*, *Lupinus luteus* and *Lupinus angustifolius*. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 1241–1257. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00722-8>

Gélinas, P., & Théolier, J. (2024). How to reduce gluten in foods: a critical review of patents. In *International Journal of Food Science and Technology* (Vol. 59, Issue 11, pp. 8069–8081). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17550>

Gómez, M. (2022). Gluten-free bakery products: Ingredients and processes. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 99, pp. 189–238). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.11.005>

Gong, K., Chen, L., Li, X., Sun, L., & Liu, K. (2018). Effects of germination combined with extrusion on the nutritional composition, functional properties and polyphenol profile and related in vitro hypoglycemic effect of whole grain corn. *Journal of Cereal Science*, 83, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.07.002>

Gresta, F., Oteri, M., Scordia, D., Costale, A., Armone, R., Meineri, G., & Chiofalo, B. (2023). White Lupin (*Lupinus albus* L.), an Alternative Legume for Animal Feeding in the Mediterranean Area. *Agriculture (Switzerland)*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/agriculture13020434>

Guardianelli, L. M., Carbas, B., Brites, C., Puppo, M. C., & Salinas, M. v. (2023). White Lupine (*Lupinus albus* L.) Flours for Healthy Wheat Breads: Rheological Properties of Dough and the Bread Quality. *Foods*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/foods12081645>

Gunathunga, C., Senanayake, S., Jayasinghe, M. A., Brennan, C. S., Truong, T., Marapana, U., & Chandrapala, J. (2024). Germination effects on nutritional quality: A comprehensive review of selected cereals and pulses changes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 128, 106024. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2024.106024>

Haixi, L., Ahmed, S., Shahbaz, M., Abid, J., Jahangir, M., & Khan, S. (2025). Quality Improvement in Gluten-Free Bread: A Comprehensive Review of Modern Techniques and Ingredients. In *Food Reviews International*. Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/87559129.2025.2537966>

Hall MHN, R. S., Thomas MND, S. J., & Johnson, S. K. (2005). Australian sweet lupin flour addition reduces the glycaemic index of a white bread breakfast without affecting palatability in healthy human volunteers. In *Asia Pac J Clin Nutr* (Vol. 14, Issue 1).

He, L., Hu, Q., Yu, Y., Zhang, J., Yu, N., & Chen, Y. (2025). Lipidomic characteristics of eight major legumes and alterations of lipid profiles in legumes in response to soaking and cooking. *Food Chemistry*, 490. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145009>

- Hu, Y., Song, Y., Cao, Y., Yang, Y., Shan, Y., Wang, X., Zhang, R., & Zhao, J. (2025). Effects of plant polysaccharides on gluten proteins, dough, and flour products. In *Journal of Food Composition and Analysis* (Vol. 148). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108150>
- Imeneo, V., Tokatli, F., Ozen, B., Cappa, C., Aguiló-Aguayo, I., & Alamprese, C. (2025). Incorporating legume and nut flours into pasta, bakery products, and snacks: Opportunities and challenges. *Future Foods*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100811>
- Isaskar, R., Darwanto, D. H., Waluyati, L. R., & Irham, I. (2021). The Effects of Sensory Attributes of Food on Consumer Preference. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 8(3), 1303–1314. <https://doi.org/10.13106/jafeb.2021.vol8.no3.1303>
- Ivanova, P., & Lazova-Borisova, I. (n.d.). Application and benefits of vegetable flours embedded in rye bakery products. In *Bulgarian Journal of Crop Science* (Vol. 2022, Issue 4).
- Ivanova, P., & Lazova-Borisova, I. (2022). Application and benefits of vegetable flours embedded in rye bakery products. In *Bulgarian Journal of Crop Science* (Vol. 2022, Issue 4).
- Kamil, K. M., Rohana, A. J., Mohamed, W. M. I. W., & Ishak, W. R. W. (2023). Effect of incorporating dietary fiber sources in bakery products on glycemic index and starch digestibility response: a review. In *Nutrire* (Vol. 48, Issue 2). Springer Nature. <https://doi.org/10.1186/s41110-023-00220-z>
- Kaur, S., Kumar, K., Singh, L., Sharanagat, V. S., Nema, P. K., Mishra, V., & Bhushan, B. (2024). Gluten-free grains: Importance, processing and its effect on quality of gluten-free products. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 64, Issue 7, pp. 1988–2015). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2119933>
- Keller, J., Marmit, S. P., & Bunzel, M. (2022). Structural Characterization of Dietary Fiber from Different Lupin Species (*Lupinus* sp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(27), 8430–8440. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c02028>
- Kemp, S. E. (2008). Application of sensory evaluation in food research: Editorial. In *International Journal of Food Science and Technology* (Vol. 43, Issue 9, pp. 1507–1511). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01780.x>
- Khan, M. K., Karnpanit, W., Nasar-Abbas, S. M., Huma, Z. e., & Jayasena, V. (2015). Phytochemical composition and bioactivities of lupin: A review. In *International Journal of Food Science and Technology* (Vol. 50, Issue 9, pp. 2004–2012). <https://doi.org/10.1111/ijfs.12796>

- Khedr, T., Gao, L. L., Kamphuis, L. G., Bose, U., Juhász, A., & Colgrave, M. L. (2024). Evaluation of alkaloid levels in commercial and wild genotypes of narrow-leaved lupin. *Journal of Food Composition and Analysis*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106600>
- Khedr, T., Juhász, A., Singh, K. B., Foley, R., Nye-Wood, M. G., & Colgrave, M. L. (2023). Development and validation of a rapid and sensitive LC-MS/MS approach for alkaloid testing in different *Lupinus* species. *Journal of Food Composition and Analysis*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105391>
- Kim, H. Y., Hwang, I. G., Kim, T. M., Woo, K. S., Park, D. S., Kim, J. H., Kim, D. J., Lee, J., Lee, Y. R., & Jeong, H. S. (2012). Chemical and functional components in different parts of rough rice (*Oryza sativa* L.) before and after germination. *Food Chemistry*, 134(1), 288–293. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2012.02.138>
- Kim, M. A., Sim, H. M., & Lee, H. S. (2015). Affective discrimination methodology: Determination and use of a consumer-relevant sensory difference for food quality maintenance. *Food Research International*, 70, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.027>
- Kohajdová, Z., Karovičová, J., & Schmidt, Š. (2011a). Lupin Composition and Possible Use in Bakery-A Review. In *Czech J. Food Sci* (Vol. 29, Issue 3).
- Kohajdová, Z., Karovičová, J., & Schmidt, Š. (2011b). Lupin Composition and Possible Use in Bakery-A Review. In *Czech J. Food Sci* (Vol. 29, Issue 3).
- Krawęcka, A., Sobota, A., & Zarzycki, P. (2022). The Effect of the Addition of Low-Alkaloid Lupine Flour on the Glycemic Index In Vivo and the Physicochemical Properties and Cooking Quality of Durum Wheat Pasta. *Foods*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/foods11203216>
- Kroc, M., Rybiński, W., Wilczura, P., Kamel, K., Kaczmarek, Z., Barzyk, P., & Świącicki, W. (2017). Quantitative and qualitative analysis of alkaloids composition in the seeds of a white lupin (*Lupinus albus* L.) collection. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 64(8), 1853–1860. <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0473-1>
- Kumari, R., Jeyarani, T., Soumya, C., & Indrani, D. (2011). Use of vegetable oils, emulsifiers and hydrocolloids on rheological, fatty acid profile and quality characteristics of pound cake. *Journal of Texture Studies*, 42(5), 377–386. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2011.00297.x>
- Large, M. (2021a). *Effects of Chickpea Flour Replacement on Physical and Sensory Characteristics of Brownies*. https://ideaexchange.uakron.edu/honors_research_projects/1450

Large, M. (2021b). *Effects of Chickpea Flour Replacement on Physical and Sensory Characteristics of Brownies*.
https://ideaexchange.uakron.edu/honors_research_projects/1450

Leonova, S., Badamshina, E., Koshchina, E., Kalugina, O., Gareeva, I., & Leshchenko, N. (2022). Triticale flour in bakery and rusk products. *Food Science and Technology International*, 28(6), 524–534. <https://doi.org/10.1177/10820132211023273>

Liberal, Â., Fernandes, Â., Pires, T. S. P., Ferreira, I. C. F. R., Vívar-Quintana, A. M., & Barros, L. (2025). Biotechnological approaches for reducing antinutrients and enhancing lentil (*Lens culinaris*) flours quality. *Food Bioscience*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106720>

Luna Pizarro, P., Almeida, E. L., Sammán, N. C., & Chang, Y. K. (2013). Evaluation of whole chia (*Salvia hispanica* L.) flour and hydrogenated vegetable fat in pound cake. *LWT*, 54(1), 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.04.017>

Macfe, H.; Bratchell, N. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carryover effects in hall tests. *Journal of Sensory Studies*, v.4, n. p.129-148, 1989.

Magalhães, A. E. R., Gasparetto, B. dos R., Neves, M. I. L., Steel, C. J., & Cunha, R. L. (2025). Technological Aspects of the Bakery Industry Affecting Gluten Structure, Digestibility, and Immunogenicity. In *ACS Food Science and Technology* (Vol. 5, Issue 4, pp. 1222–1238). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.4c01007>

Malekipoor, R., Johnson, S. K., & Bhattarai, R. R. (2022). Lupin Kernel Fibre: Nutritional Composition, Processing Methods, Physicochemical Properties, Consumer Acceptability and Health Effects of Its Enriched Products. In *Nutrients* (Vol. 14, Issue 14). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu14142845>

Marta, H., Yusnia, S. A., Fetriyuna, F., Arifin, H. R., Cahyana, Y., & Sondari, D. (2024). Application of Flour Blends from Modified Cassava and Suweg Flours in Gluten-Free Steamed Brownies. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 74(2), 188–196. <https://doi.org/10.31883/pjfn/188615>

Martínez, E., Pardo, J. E., Álvarez-Ortí, M., Martínez-Navarro, M. E., & Rabadán, A. (2025). Sensory and Lipid Profile Optimization of Functional Brownies Through Cold-Pressed Nut Oil Substitution for Butter. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/app15010454>

Maurício, A. A., Bucharles, P. B., Maria, H., Bolini, A., & Caselato De Sousa, V. M. (2012). *Bolo de cenoura com e sem glúten: desenvolvimento da formulação e aceitação do produto Carrot cake with and without gluten: development of formulas and acceptance of product*. www.agroambiente.ufrr.br

- Medina, J. J. R., Ramírez, K., Rangel-Peraza, J. G., & Aguayo-Rojas, J. (2018). *Incremento del valor nutrimental, actividad antioxidante y potencial inhibitorio de α -glucosida en brownies a base de leguminosas cocidas* (Vol. 68).
- Menaka, U., Wijesekara, I., Navaratne, S. B., & Wickramasinghe, I. (2024). Gluten-Free Bakery Foods Enriched with Plant Proteins: An Overview. In *Food Reviews International* (Vol. 40, Issue 10, pp. 3847–3868). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/87559129.2024.2374814>
- Mohamed, A. A., & Rayas-Duarte, P. (1995). *Composition of Lupinus albus*.
- Monteiro, M. R. P., Alves, F. D., & Silva, M. R. (2020). Evaluation of technological properties of lupine flour (*Lupinus albus* and *Lupinus angustifolius*). *Scientific Electronic Archives*, 13(5), 46. <https://doi.org/10.36560/1352020882>
- Moraes, E. de M. ; D. S. L. H. (2023). Substituintes da farinha de trigo na elaboração de produtos de panificação sem glúten - uma revisão. *Research, Society and Development*. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.28931>
- Moreira, M. R., Sanches, V. L., Strieder, M. M., Rostagno, M. A., & Capitani, C. D. (2023). Vegan brownie enriched with phenolic compounds obtained from a chia (*Salvia hispanica* L.) coproduct: Nutritional, technological, and functional characteristics and sensory acceptance. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100835>
- Musco, N., Cutrignelli, M. I., Calabrò, S., Tudisco, R., Infascelli, F., Grazioli, R., lo Presti, V., Gresta, F., & Chiofalo, B. (2017). Comparison of nutritional and antinutritional traits among different species (*Lupinus albus* L., *Lupinus luteus* L., *Lupinus angustifolius* L.) and varieties of lupin seeds. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(6), 1227–1241. <https://doi.org/10.1111/jpn.12643>
- Nascimento, D. dos S., Oliveira, S. D., & Oliveira, M. E. G. de. (2020). Caracterização físico-química e avaliação sensorial de *brownies* potencialmente funcionais elaborados com farinha de linhaça marrom (*Linum usitatissimum*) e farinha de chia (*Salvia hispanica* L.). *Research, Society and Development*, 9(9), e215997146. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7146>
- Nigro, G., Gasparre, N., Vurro, F., Pasqualone, A., & Rosell, C. M. (2025). Lupin flour as a wheat substitute in conventional and sourdough breadmaking: impact on bread physicochemical properties and volatile profile. *European Food Research and Technology*, 251(6), 1145–1156. <https://doi.org/10.1007/s00217-025-04694-1>
- Okagu, I. U., Ndefo, J. C., Aham, E. C., Obeme-Nmom, J. I., Agboinghale, P. E., Aguchem, R. N., Nechi, R. N., & Lammi, C. (2021). Lupin-derived bioactive peptides: Intestinal transport, bioavailability and health benefits. In *Nutrients* (Vol. 13, Issue 9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu13093266>

- Osorio, C. E., & Till, B. J. (2022). A Bitter-Sweet Story: Unraveling the Genes Involved in Quinolizidine Alkaloid Synthesis in *Lupinus albus*. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 12). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.795091>
- Pereira, A., Ramos, F., & Sanches Silva, A. (2022). Lupin (*Lupinus albus* L.) Seeds: Balancing the Good and the Bad and Addressing Future Challenges. In *Molecules* (Vol. 27, Issue 23). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules27238557>
- Pereira, J. D. C. (2012). *Implementação do sistema de segurança alimentar ISO 22000 na Miroliva*.
- Petka, K., & Topolska, K. (2025). Vegetable-Enriched Brownies: A Healthier Twist on a Classic Treat. *Nutrients*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/nu17010184>
- Pismag, R. Y., Polo, M. P., Hoyos, J. L., Bravo, J. E., & Roa, D. F. (2023). Effect of extrusion cooking on the chemical and nutritional properties of instant flours: a review. *F1000Research*, 12, 1356. <https://doi.org/10.12688/f1000research.140748.1>
- Prusinski, J. (2017). White lupin (*Lupinus albus* L.) - Nutritional and health values in human nutrition - A review. In *Czech Journal of Food Sciences* (Vol. 35, Issue 2, pp. 95–105). Czech Academy of Agricultural Sciences. <https://doi.org/10.17221/114/2016-CJFS>
- R. Ahmed, A. (2014). Influence of Chemical Properties of Wheat-Lupine Flour Blends on Cake Quality. *American Journal of Food Science and Technology*, 2(2), 67–75. <https://doi.org/10.12691/ajfst-2-2-4>
- Ribeiro Freitas, A. M., Pereira Rodrigues, C. A., Cunha, L. C., Soares, M. S., & Monteiro Cavalcante, R. B. (2024). Physicochemical, microbiological and sensorial characterization of vegan brownies with high dietary fiber content. Introduction. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 74(3), 165–175. <https://doi.org/10.37527/2024.74.3.002>
- Rodés-Bachs, C., & van der Fels-Klerx, H. J. (2023). Impact of environmental factors on the presence of quinolizidine alkaloids in lupins: a review. In *Food Additives and Contaminants - Part A* (Vol. 40, Issue 6, pp. 757–769). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/19440049.2023.2217273>
- Rodrigues, S. O. ; S. N. F. ; C. C. M. (2025). *Development of brownie formulated with soybean co-product and carob*.
- Santos, S. S. dos, Magalhães, F. de S., Mendes, S. F., Madrona, G. S., & Reis, M. H. M. (2023). Purification of bioactive compounds from blackberry pomace: Investigation of techniques to reduce fouling during flat membrane ultrafiltration process. *Food and Bioproducts Processing*, 137, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.11.005>

- Sanz, M. L., de Las Marinas, M. D., Fernández, J., & Gamboa, P. M. (2010). Lupin allergy: A hidden killer in the home. In *Clinical and Experimental Allergy* (Vol. 40, Issue 10, pp. 1461–1466). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.2010.03590.x>
- Savelli, E., Bravi, L., Francioni, B., Murmura, F., & Pencarelli, T. (2021). PDO labels and food preferences: results from a sensory analysis. *British Food Journal*, 123(3), 1170–1189. <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2020-0435>
- Selvakumaran, L., Shukri, R., Ramli, N. S., Pak Dek, M. S., & Wan Ibadullah, W. Z. (2019). Orange sweet potato (*Ipomoea batatas*) puree improved physicochemical properties and sensory acceptance of brownies. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(3), 332–336. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.09.006>
- Severino, D., Dias, H. v, Roque, M. F., & Esteves, M. C. (2011). Benefícios do Tremço-Mito ou Realidade? In *Revista Portuguesa de Diabetes* (Vol. 6, Issue 3). <http://www.lupins.org/lupins/>
- Sharoba, A. M., Farrag, M. A., & Abd El-Salam, A. M. A. (2013). Utilization of some fruits and vegetables wastes as a source of dietary fibers in cake making. In *J. Food and Dairy Sci., Mansoura Univ* (Vol. 4, Issue 9).
- Shrestha, S., Hag, L. van t., Haritos, V. S., & Dhital, S. (2021). Lupin proteins: Structure, isolation and application. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 116, pp. 928–939). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.035>
- Silva, K. B. H. M. A. (2006). *Avaliação sensorial de sorvete formulado com produto de soro ácido de leite bovino*.
- Simon, A., & Alegre, P. (2014). *Elaboração de brownie de chocolate sem glúten com a utilização de farinha de arroz e trigo sarraceno*.
- Sujak, A., Kotlarz, A., & Strobel, W. (2006). Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chemistry*, 98(4), 711–719. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.06.036>
- Taberner-Pibernat, P., Ribas-Agustí, A., Quinteros, G., Sabeña, G., López-Gómez, M., Domínguez-Valencia, R., & Bou, R. (2025). Compositional and nutritional value of lupin cultivars: Identifying high-protein seeds for enhanced protein isolate production and phytochemical valorisation. *Journal of Agriculture and Food Research*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102010>
- Tahmasian, A., Broadbent, J. A., Juhász, A., Nye-Wood, M., Le, T. T., Bose, U., & Colgrave, M. L. (2022). Evaluation of protein extraction methods for in-depth proteome analysis of narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius*) seeds. *Food Chemistry*, 367. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130722>

Teixeira e Silva, V. L., de Toledo, D. N. M., Pontes, W. M., Menezes, T. P., Perucci, L. O., Machado, B. A. A., Pinto, K. M. de C., & Talvani, A. (2022). Avaliação inflamatória e parasitológica da terapia com teracurmina em camundongos infectados pela cepa colombiana do *Trypanosoma cruzi*. *The Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 26, 102421. <https://doi.org/10.1016/J.BJID.2022.102421>

Torrico, D. D., Mehta, A., & Borssato, A. B. (2023). New methods to assess sensory responses: a brief review of innovative techniques in sensory evaluation. In *Current Opinion in Food Science* (Vol. 49). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100978>

Uzun, B., Arslan, C., Karhan, M., & Toker, C. (2007). Fat and fatty acids of white lupin (*Lupinus albus* L.) in comparison to sesame (*Sesamum indicum* L.). *Food Chemistry*, 102(1), 45–49. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.059>

Vargas, F. M. de, Cardoso, L. T., Didoné, A., Vieira, L. Z., Lima, J. P. M., Venzke, J. G., & Oliveira, V. R. de. (2025). International standards and safety protocols for gluten-free food: providing protection for people with gluten related disorders and learning from successful practices in countries worldwide. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2025.2566385>

Wanniarachchi, P. C., Shea, G., Mocerino, M., Bennett, S. J., Bhattarai, R. R., & Coorey, R. (2025). What Makes Lupins Less Palatable to Consumers? Can the Sensory Quality of Lupin be Improved and Commercialized? In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (Vol. 24, Issue 5). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70265>

Wijewardana, R. M. N. A., Nawarathne, S. B., & Wickramasinghe, I. (2016). Development and Quality Evaluation of Ready to Bake Vegetarian Cake Mix. In *The Journal of Agricultural Sciences* (Vol. 11, Issue 1).

Wu, Y. v., Bett, K. L., Palmquist, D. E., & Ingram, D. A. (2002). Sensory analysis of brownies fortified with corn gluten meal. *Cereal Chemistry*, 79(4), 496–499. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.4.496>

Yaver, E., & Bilgiçli, N. (2021). Effect of ultrasonicated lupin flour and resistant starch (type 4) on the physical and chemical properties of pasta. *Food Chemistry*, 357. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129758>

Yilmaz, S., Atak, M., & Erayman, M. (2015). *Comparison of Chemical Composition in Lupin (Lupinus spp.) Species*. <http://www.revistadechimie.ro>

Yorgancilar, M., & Bilgiçli, N. (2014). Chemical and nutritional changes in bitter and sweet lupin seeds (*Lupinus albus* L.) during bulgur production. *Journal of Food Science and Technology*, 51(7), 1384–1389. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0640-0>

Zhang, D., Li, P., Li, S., Zhou, H., Tao, H., & Cai, W. H. (2026). Unveiling the binding mechanism between egg white proteins and wheat glutes during the dough mixing process. *Food Hydrocolloids*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111813>

Zhang, Y., Wu, H., & Fu, L. (2025). A review of gluten detoxification in wheat for food applications: approaches, mechanisms, and implications. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 65, Issue 11, pp. 2100–2116). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2326618>

Anexos

Anexo 1: Ficha da análise sensorial.



Nome: _____ Idade: _____ Sexo: _____

Caro participante, foi-lhe solicitado que preencha o seguinte documento, referente aos parâmetros de avaliação de duas amostras de brownie de chocolate. Este estudo foi realizado no âmbito do projeto 3Rs (Regenerar, Reformular e Reinventar) e está a ser conduzido no Centro de Investigação da Montanha (CIMO). Avalie as amostras (da esquerda para direita) relativamente aos atributos indicados utilizando escala hedónica apresentada abaixo:

- 9- Gostei extremamente
- 8- Gostei muito
- 7- Gostei moderadamente
- 6- Gostei ligeiramente
- 5- Nem gostei / nem desgostei
- 4- Desgostei ligeiramente
- 3- Desgostei moderadamente
- 2- Desgostei muito
- 1- Desgostei extremamente

Código da amostra _____

Impressão global _____

Você compraria este produto?

Aparência _____

() Certamente compraria

Odor _____

() Provavelmente compraria

Sabor _____

() Tenho dúvidas se compraria

Textura _____

() Provavelmente não compraria

() Certamente não compraria

Código da amostra _____

Impressão global _____

Você compraria este produto?

Aparência _____

() Certamente compraria

Odor _____

() Provavelmente compraria

Sabor _____

() Tenho dúvidas se compraria

Textura _____

() Provavelmente não compraria

() Certamente não compraria

O que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?

Anexo 2: Alguns dos comentários escritos pelos julgadores na ficha da sensorial.

O que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?

Q. que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?

Cujo gosto de amendoim, o amendoim defumado, e o salado, e 374 e umas cantinas, gosto muito

What did you most like and what did you most dislike about our product?

What did you most like and what did you most dislike about our product?
~~They both taste good, 634 has a specific color~~
~~and taste like but it's smell isn't like that~~
~~much the other one is normal~~
 but not
 bad

O que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?

Q: que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?
Na amostra 234 gostei mais da natureza
e menos do odor.

O que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?

O que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?

Na amostra 944 gostei de ter tudo em talheado?
 Na amostra 942 gostei no geral principalmente o
 sabor e o ar

() Certamente não compraria

O que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?

O que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?

934 - O que mais gostei foi da comida, mais húmida, o que menos gostei foi a carne.

932 - O que menos gostei foi do aspeto seco.

☐ Certamente não compraria

O que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?

O que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?

Na amostra 702 a mistura é perolada um pouco muito por ser mais e irregular e que é muito perolada. Na amostra 704 um pouco e pouco por ser muito perolada e não boa.

Q: que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?

Q que mais gostaste e o que menos gostaste em cada amostra?
 O 263 é muito rico no cor (1 + intenso), enquanto que o 265 é
 menos rico, porém tem um cor + diferenciado e uma textura
 que me agrada mais. O ~~cor~~ color do 265 é muito diferente por
 o 263. O aspeto do 263 é mais uniforme