

Desenvolvimento e caracterização físico-química, microbiológica e sensorial de muesli de castanha

Adalgiza Boa Morte Do Nascimento Luiz

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de
Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Qualidade e
Segurança Alimentar*

Orientado por
Professora Doutora Elsa Cristina Dantas Ramalhosa
Professora Doutora Ermelinda Pereira

**Bragança
2024**

Este trabalho foi suportado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC): UIDB/00690/2020 (DOI:10.54499/UIDB/00690/2020) e UIDP/00690/2020 (DOI: 10.54499/UIDP/00690/2020); e SusTEC, LA/P/0007/2020 (DOI: 10.54499/LA/P/0007/2020). Elsa Ramalhosa agradece também o financiamento do Programa Promove da Fundação “la Caixa”, em colaboração com o BPI e com a Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), no âmbito do projeto CyChest - Gestão integrada do ciclo do castanheiro no Parque Natural de Montesinho.



Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por estar sempre presente na minha vida, e pelas bênçãos que me tem concedido.

Aos meus pais Adalberto Ferreira Nascimento Luiz e Jacinta Boa Morte Pinto Tiólo do Nascimento Luiz, agradeço pelo amor incondicional, apoio moral e incentivo.

Ao IPB, particularizando a Escola Superior Agrária de Bragança, agradeço pela oportunidade de qualificação e aprendizagem.

À minha orientadora Professora Doutora Elsa Cristina Dantas Ramalhosa, quero expressar os meus profundos agradecimentos pela oportunidade que me proporcionou em realizar este estágio, por todos os ensinamentos partilhados, incentivo, paciência, simpatia e disponibilidade. Sua orientação foi fundamental não apenas para o desenvolvimento desta dissertação, mas também para o meu crescimento académico e pessoal. Sou eternamente grata.

À minha coorientadora Professora Doutora Ermelinda Pereira, gostaria de agradecer por todos os ensinamentos partilhados durante este percurso, pela disponibilidade constante, paciência, correções, incentivo e por estar sempre ao par do trabalho.

Aos colegas de laboratório Adalcy Luís, Filipe Lema, Auryo Gomes, Diana Carneiro, Halana Florindo e Jhonatan gostaria de agradecer pela ajuda disponibilizada, incentivo e pela amizade, foram dias de muita risadas e aprendizado.

À técnica laboratorial Maria do Céu Fidalgo, agradeço pela ajuda disponibilizada e pelos momentos de muitas risadas no laboratório.

Aos professores do curso de Mestrado em Qualidade e Segurança Alimentar da Escola Superior Agrária de Bragança, agradeço pelos ensinamentos passados.

Agradeço ao meu namorado Odair Fernandes, que foi minha inspiração e motivação. Obrigada por incentivo e todos os dias de apoio e carinho.

Aos meus irmãos Adalcy, Adolfo, Abel, Adriano, Adriana, Adalton José e Adalina, agradeço pelo carinho que têm por mim, motivação e apoio moral.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização desta jornada académica. Muito obrigada a todos.

Resumo

O muesli, conhecido por ser um alimento saudável e nutritivo, consiste em uma mistura de cereais, grãos (geralmente aveia em flocos), nozes, sementes e frutas secadas, como uvas passas e tâmaras. O presente trabalho teve como objetivo principal desenvolver um muesli inovador que incorporasse castanha (*Castanea sativa* Mill.). Para se atingir este objetivo, começou-se por caracterizar três amostras de muesli comerciais para melhor conhecer os componentes geralmente presentes neste produto, bem como as suas proporções. Em seguida, avaliou-se a secagem de castanhas inteiras (1º ensaio) e partidas (2º ensaio), modelando-se o processo, visando definir o método de secagem a utilizar posteriormente para se obter a castanha a incluir no muesli. Após se ter verificado que o método de secagem mais adequado consistiu em desidratar os frutos já partidos durante 40 minutos, prepararam-se diferentes formulações segundo um desenho experimental de misturas, onde foram testadas várias proporções de aveia, castanha e figo, para encontrar a combinação ideal. Os parâmetros avaliados incluíram a cor, atividade da água, teor de humidade e análise sensorial. Após as análises feitas e tratamento dos dados, a proporção indicada pelo otimizador de resposta, considerando que a formulação final deveria ter uma atividade de água entre 0,4 e 0,6, uma intensidade do aroma a castanha entre 4 e 10 e uma intensidade do sabor a castanha entre 3 e 10, foi de 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo (Formulação A). De seguida, caracterizou-se esta formulação em termos de cor, atividade da água, teores de humidade, cinzas, gordura, proteína, metais (K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn), perfil de ácidos gordos, análise microbiológica e análise sensorial, bem como mais duas, designadamente: B - 84,5% aveia e 15,5% figo e C - 84,5% aveia e 15,5% castanha. Os resultados mostraram que os valores de atividade de água variaram entre 0,61 e 0,65, a proteína entre 12,0 e 12,4%, p.f., e a gordura entre 5,8 e 8,1%, p.f., não existindo diferenças significativas entre formulações. Os ácidos gordos maioritários nas três formulações foram o ácido linoleico (C18:2n6c) e o ácido oleico (C18:1n9c). Relativamente à análise sensorial, os três mueslis apresentaram valores médios de aparência geral elevados (entre 7,9 e 8,2) e uma boa apreciação geral (entre 7,3 e 8,1), indicando boa aceitação. Contudo, a Formulação B (só com figo e aveia) foi a preferida por 44% dos provadores, seguindo-se a Formulação A (aveia, figo e castanha) (33%). Em termos microbiológicos, apenas a formulação A apresentou qualidade microbiológica satisfatória, sugerindo que na elaboração de formulações futuras deva existir um maior controlo das matérias-primas, e o cumprimento de boas práticas de higiene e de fabrico.

Em conclusão, a presente dissertação demonstrou que a incorporação da castanha no muesli pode resultar em um produto inovador e saudável, mas também promover a valorização da identidade cultural e das tradições alimentares locais, oferecendo uma alternativa nutritiva e saborosa para os consumidores.

Palavras-chave: Muesli; Castanha; Secagem; Desenho Experimental de Misturas; Propriedades nutricionais; Análise sensorial.

Abstract

Muesli, known for being a healthy and nutritious food, consists of a mixture of cereals, grains (usually rolled oats), nuts, seeds and dried fruits, such as raisins and dates. The main objective of this work was to develop an innovative muesli that incorporated chestnuts (*Castanea sativa* Mill.). To achieve this objective, we began by characterizing three samples of commercial muesli to better understand the components generally present in this product, as well as their proportions. Next, the drying of whole (1st test) and broken (2nd test) chestnuts was evaluated, modeling the process, aiming to define the drying method to be used later to obtain the chestnut to be included in the muesli. After verifying that the most appropriate drying method consisted of dehydrating the already broken fruits for 40 minutes, different formulations were prepared according to an experimental design of mixtures, where various proportions of oat, chestnut and figs were tested, to find the ideal combination. The parameters evaluated included colour, water activity, moisture content and sensory analysis. After the analyzes carried out and data processing, the proportion indicated by the response optimizer, considering that the final formulation should have a water activity between 0.4 and 0.6, a chestnut aroma intensity between 4 and 10 and an intensity of chestnut flavor between 3 and 10, it was 84.5% oat, 10.0% chestnut and 5.5% fig (Formulation A). This formulation was then characterized in terms of colour, water activity, moisture content, ash, fat, protein, metals (K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn), fatty acid profile, microbiological analysis and sensory analysis, as well as two more formulations, namely: B - 84.5% oat and 15.5% figs and C - 84.5% oat and 15.5% chestnut. The results showed that water activity values varied between 0.61 and 0.65, protein between 12.0 and 12.4%, f.w., and fat between 5.8 and 8.1%, f.w., with no significant differences between the formulations. The major fatty acids in the three formulations were linoleic acid (C18:2n6c) and oleic acid (C18:1n9c). Regarding sensory analysis, the three mueslis presented high average values for general appearance (between 7.9 and 8.2) and good general appreciation (between 7.3 and 8.1), indicating good acceptance. However, Formulation B (only with figs and oat) was preferred by 44% of tasters, followed by Formulation A (oat, figs and chestnuts) (33%). In microbiological terms, only formulation A presented satisfactory microbiological quality, suggesting that when preparing future formulations there must be greater control of raw materials, and compliance with good hygiene and manufacturing practices. In conclusion, this dissertation demonstrated that the incorporation of chestnuts in muesli can result in an

innovative and healthy product, but also promote the appreciation of cultural identity and local food traditions, offering a nutritious and tasty alternative for consumers.

Keywords: Muesli; Chestnut; Drying; Mixture Experimental Design; Nutritional properties; Sensory analysis.

Índice Geral

Resumo	iii
Abstract	v
Índice de Tabelas	x
Índice de Figura	xii
Lista de símbolos, siglas e abreviaturas	xv
1. Enquadramento do tema e principais objetivos do trabalho.....	1
2. Introdução	2
2.1. Formulações de muesli e composição nutricional.....	3
2.2 Produção de muesli.....	6
2.3. Potenciais problemas associados à produção e consumo de muesli	8
2.4. Castanha.....	10
2.4.1. Produção nacional	10
2.4.2. Produtos à base de castanha	11
3. Parte Experimental	13
3.1 Caracterização de amostras de muesli comerciais.....	13
3.2. Preparação das castanhas.....	13
3.2.1. Primeiro Ensaio - Secagem das castanhas inteiras.....	14
3.2.2. Segundo Ensaio - Secagem das castanhas partidas	16
3.3. Elaboração de diferentes preparações de muesli – Desenho Experimental de Misturas	16
3.4. Parâmetros físico-químicos, microbiológicos e sensoriais avaliados nas amostras elaboradas.....	18
3.4.1. Cor	18
3.4.2. Atividade da água (a_w).....	19
3.4.3. Teor de humidade	19
3.4.4. Teor de cinzas.....	19
3.4.5. Teor de gordura	19

3.4.5.1. Perfil de ácidos gordos	20
3.4.6 Teor de proteínas	20
3.4.7. Metais	21
3.4.8. Análises microbiológicas	21
3.4.9. Análise sensorial	22
3.5. Análise Estatística	22
4. Resultados e Discussão	24
4.1. Caracterização de amostras de muesli comerciais	24
4.1.1. Constituintes individuais das amostras de muesli comerciais	26
4.1.2. Atividade da água dos constituintes de amostras de muesli comerciais	27
4.2. Preparação das castanhas a incorporar no muesli	29
4.2.1. Primeiro Ensaio - Secagem das castanhas inteiras	29
4.2.2. Segundo Ensaio - Secagem das castanhas partidas	38
4.3. Desenho Experimental da Mistura - Elaboração de diferentes preparações de muesli	45
4.3.1. Cor e atividade da água nas diferentes formulações de muesli de castanha	45
4.3.2. Análise Sensorial	47
4.3.3. Modelos de regressão aplicados aos parâmetros físico-químicos e sensoriais	49
4.3.4. Otimização da formulação	55
4.4. Elaboração de três novas formulações de muesli	57
4.4.1. Cor e atividade da água das três novas formulações de muesli de castanha	58
4.4.2. Teores de Humidade, Cinzas, Proteína e Gordura	59
4.4.3 Perfil de ácidos gordos	60
4.4.4. Metais	61
4.4.5. Análises microbiológicas	62
4.4.6. Análise sensorial	63

5. Conclusão final	Erro! Marcador não definido.
6. Referências bibliográficas.....	66
Anexos.....	70

Índice de Tabelas

Tabela 1. Formulações de muesli descritas em trabalhos científicos e em produtos comerciais e sua composição nutricional.....	4
Tabela 2. Formulações de muesli disponíveis no Blog BodyScience.....	6
Tabela 3. Diferentes proporções aplicadas no desenho experimental de mistura do programa Minitab.....	17
Tabela 4. Três novas formulações de muesli.....	18
Tabela 5. Ingredientes e declarações nutricionais das amostras de muesli comerciais.....	25
Tabela 6. Valores referentes à atividade de água de diferentes constituintes das amostras de muesli comerciais analisadas no presente trabalho.....	28
Tabela 7. Modelos matemáticos de secagem aplicados à desidratação da castanha inteira.....	33
Tabela 8. Modelos matemáticos de secagem aplicados à desidratação da castanha partida.....	42
Tabela 9. Valores (média \pm desvio padrão) referentes aos parâmetros de cor instrumental e da atividade da água das dez formulações de muesli analisadas no presente trabalho.....	46
Tabela 10. Valores (média \pm desvio padrão) dos parâmetros analisados durante a análise sensorial.....	48
Tabela 11. Análise dos modelos de regressão aplicados à atividade de água e intensidades do aroma e sabor a castanha.....	51
Tabela 12. Coeficientes e valores de p para os modelos escolhidos para a a_w , intensidade do aroma a castanha e intensidade do sabor a castanha.....	53
Tabela 13. Valores (média \pm desvio padrão) referentes aos parâmetros de cor instrumental e da atividade da água das três novas formulações de muesli preparadas no presente trabalho.....	58
Tabela 14. Valores (média \pm desvio padrão) referentes aos teores de humidade, cinzas, proteína e gordura das três novas formulações de muesli preparadas no presente trabalho.....	59
Tabela 15. Percentagens (média \pm desvio padrão) referentes aos ácidos gordos presentes nas três novas formulações de muesli preparadas no presente trabalho.....	60
Tabela 16. Valores (média \pm desvio padrão) (mg metal/ 100 g p.s.) referentes aos metais presentes nas três novas formulações de muesli preparadas no presente trabalho.....	61

Tabela 17. Contagem média (log ufc/g±desvio padrão) por parâmetro microbiológico analisado, nas diferentes formulações de muesli de castanha..... 62

Índice de Figura

Figura 1. Área e produção de castanha (1986-2022) (INE, 2022).....	11
Figura 2. Frutos inteiros colocados em placas de Petri.....	14
Figura 3. Mistura de frutos partidos (A) e frutos partidos colocados na placa de Petri (B).	16
Figura 4. Amostras de muesli comerciais: A) <i>Alpen Swiss Style Muesli</i> ; B) <i>Crunchy Muesli Frutas Pingo Doce</i> ; e C) <i>Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce</i>	24
Figura 5. Componentes presentes nas amostras de muesli comerciais: A) <i>Alpen (azul) Swiss Style Muesli</i> ; B) <i>Crunchy Muesli Frutas Pingo Doce</i> ; e C) <i>Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce</i>	26
Figura 6. Percentagens dos diferentes componentes presentes nas amostras de muesli comerciais: A) <i>Alpen (azul) Swiss Style Muesli</i> ; B) <i>Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce</i> ; e C) <i>Crunchy Muesli Frutas Pingo Doce</i>	26
Figura 7. Castanhas inteiras após secagem aos 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 minutos	29
Figura 8. Secagem de castanhas inteiras: A) Quantidade de água presente na amostra ao longo do tempo de secagem (W , $g_{\text{água}}/g_{\text{matéria seca}}$); e B) Velocidade de secagem ($g_{\text{água}} / (g_{\text{matéria seca}} \cdot \text{min})$).....	30
Figura 9. Gráficos referentes à análise de resíduos da função W versus tempo relativa à Equação 6.....	31
Figura 10. Valores de MR ao longo do tempo de secagem com as linhas relativas a vários modelos matemáticos de secagem.....	34
Figura 11. Parâmetros da cor avaliados na parte externa do tegumento ao longo da secagem das castanhas inteiras.....	35
Figura 12. Parâmetros da cor avaliados na parte interna do tegumento ao longo da secagem das castanhas inteiras.....	37
Figura 13. Valores referentes à atividade de água obtidos durante a secagem das castanhas inteiras.....	38
Figura 14. Aparência geral das castanhas partidas ao longo da secagem.....	38

Figura 15. Secagem de castanhas partidas: A) Quantidade de água presente na amostra ao longo do tempo de secagem (W , $g_{\text{água}}/g_{\text{matéria seca}}$); e B) Velocidade de secagem ($g_{\text{água}}/(g_{\text{matéria seca}} \cdot \text{min})$).....	39
Figura 16. Valores de MR ao longo do tempo de secagem de castanhas partidas com as linhas relativas a vários modelos matemáticos de secagem.....	41
Figura 17. Parâmetros da cor avaliados ao longo da secagem das castanhas partidas.....	43
Figura 18. Valores referentes à atividade de água do 2º Ensaio (Secagem das castanhas partidas).....	44
Figura 19. Diferentes formulações de muesli de castanha elaboradas no presente trabalho: A) 80,00% aveia, 10,00% castanha e 10,00% figo; B) 85,00% aveia, 5,00% castanha e 10,00% figo; C) 90,00% aveia, 5,00% castanha e 5,00% figo; D) 90,00% aveia, 0% castanha e 10,00% figo; E) 88,33% aveia, 3,33% castanha e 8,33% figo; F) 88,33% aveia, 8,33% castanha e 3,33% figo; G) 86,67% aveia, 6,67% castanha e 6,67% figo; H) 85,00% aveia, 10,00% castanha e 5,00% figo; I) 83,33% aveia, 8,33% castanha e 8,33% figo; J) 90,00% aveia, 10,00% castanha e 0% figo.....	45
Figura 20. Modelos de regressão ajustados à a_w : (A) Cúbico completo e (B) Quártico especial.....	52
Figura 21. Modelos de regressão ajustados à intensidade do aroma à castanha (A) Quadrático; (B) Cúbico completo e (C) Quártico especial.....	54
Figura 22. Modelos de regressão ajustados à intensidade do sabor a castanha: (A) Linear e (B) Quadrático.....	55
Figura 23. Gráfico de contorno de mistura sobreposto para atividade de água, intensidade do aroma a castanha e intensidade do sabor a castanha.....	56
Figura 24. Gráfico obtido do otimizador de resposta.....	57
Figura 25. Três novas formulações de muesli de castanha: A) 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo; B) 84,5% aveia e 15,5% figo, e C) 84,5% aveia e 15,5% castanha.....	58
Figura 26. Parâmetros avaliados durante a análise sensorial nas diferentes formulações de muesli de castanha: (A) 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo; (B) 84,5% aveia, 15,0% figo; e (C) 84,5% aveia, 15,0% castanha.....	64

Figura 27. Amostra indicada como preferida (% de provadores) em relação às diferentes formulações de muesli de castanha: (A) 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo; (B) 84,5% aveia, 15,0% figo; e (C) 84,5% aveia, 15,0% castanha..... 65

Lista de símbolos, siglas e abreviaturas

% - Percentagem

ANOVA - Análise de Variância

AOAC - *Association of Official Analytical Chemists* (Associação de Químicos Analíticos Oficiais)

a_w -Atividade da Água

BPHF- Boas Práticas de Higiene e de Fabrico

CIELAB - Sistema de Modelo de Cor

DG18 - *Dichoran Glycerol Agar* 18%

DGAV - Direção Geral de Agricultura e Veterinária

DNA - Ácido desoxirribonucleico

DOP - Denominação de Origem Protegida

ELISA - Ensaio imunoenzimático ligado a enzima

FID - Detecção por Ionização de Chama

GC - Cromatografia Gasosa

INE - Instituto Nacional de Estatística

MR - *Moisture Ratio* (razão de teores de humidade)

MSE - *Mean Square of the Error* (erro quadrado médio ou quadrado médio do erro ajustado)

MUFA- Ácidos Gordos Monoinsaturados

N - Número total de observações

P - Número de parâmetros livres (não bloqueados)

p.f. - Peso Fresco

p.s. -Peso Seco

PCA - *Plate Count Agar* (agar para contagem em placa)

PCR - Reação em Cadeia da Polimerase

PUFA - Ácidos Gordos Polinsaturados

R^2 - Coeficiente de Determinação

SFA - Ácidos Gordos Saturados

SSE - Soma dos quadrados do erro dos resíduos

UFC/g - Unidades formadoras de colónias por grama

W - Quantidade de água presente na amostra ao longo do tempo de secagem (g
água/ g matéria seca)

1. Enquadramento do tema e principais objetivos do trabalho

Os produtos de cereais para o pequeno-almoço, prontos a servir ou prontos a comer são alimentos que são naturalmente estáveis e geralmente têm um longo tempo de validade (Ebrahimi Monfared *et al.*, 2022). Os benefícios mais importantes deste tipo de produtos alimentícios são a eliminação de qualquer preparação prévia ao consumo e também à sua riqueza em vários nutrientes e compostos promotores da saúde. Além disso, os produtos prontos a consumir são geralmente enriquecidos e apresentam sabores atraentes, o que aumenta a sua popularidade (Adeoye *et al.*, 2019).

Atualmente, na maioria dos países e com base nos gostos dos consumidores, esses produtos de cereais prontos a comer são oferecidos numa ampla variedade de produtos, como arroz tufado, flocos de milho, muesli, entre outros (Ebrahimi Monfared *et al.*, 2022).

O muesli consiste numa mistura de grãos de aveia crus, frutos secos e oleaginosos, que pretende substituir os tradicionais cereais de pequeno-almoço (Ebrahimi Monfared *et al.*, 2021), estes últimos mais ricos em açúcares adicionados. Hoje, o muesli é um alimento popular e versátil, estando sujeito a alterações de modo a atender às preferências dos consumidores.

Adicionar castanha portuguesa ao muesli pode originar um produto inovador e interessante. Uma das principais zonas de produção de castanha em Portugal é a região de Trás-os-Montes. Além da castanha refletir a identidade cultural e estar muito ligada a tradições alimentares locais, a elaboração de um produto inovador à base de castanha irá incentivar a produção agrícola regional, originar um produto que pode promover benefícios nutricionais, diversificar a dieta com ingredientes locais e contribuir para a preservação da identidade alimentar da região. Incorporar a castanha ao muesli não apenas poderá ressaltar a importância cultural deste fruto, mas também a nutricional, resultado da sua riqueza em amido (hidrato de carbono de absorção lenta) e ausência de glúten, fortalecendo a ligação entre a produção local e a alimentação saudável.

Assim sendo, no presente trabalho pretende-se desenvolver um muesli que incorpore castanha e realizar a sua caracterização físico-química, microbiológica e sensorial.

2.Introdução

O muesli é um produto tradicionalmente suíço, desenvolvido por volta do ano de 1900 por um médico suíço Maximilian Bircher-Benner. Este produto tornou-se popular nos países ocidentais a partir da década de 1960, como parte do crescente interesse em alimentos saudáveis e dietas vegetarianas (Adeoye *et al.*, 2019).

O muesli é um alimento considerado saudável e nutritivo que consiste numa mistura de cereais, grãos (geralmente aveia em flocos), nozes, sementes e frutas secas, como uvas passas e tâmaras, sendo classificado no grupo de produtos de cereais matinais prontos a consumir (Ebrahimi Monfared *et al.*, 2021, 2022; Adeoye *et al.*, 2019). Ao contrário da granola, não são adicionados óleo ou açúcar ao muesli, porque o muesli contém um conjunto de compostos crus e não passa por nenhum processo de cozimento, sendo assim considerado um produto saudável (Adeoye *et al.*, 2019).

O muesli contém todos os nutrientes básicos como hidratos de carbono, proteínas, gorduras, minerais, vitaminas e fibras e pode ser misturado com leite de vaca, bebida de soja, bebida de amêndoa, outras bebidas vegetais e iogurte ou sumo de frutas (Adeoye *et al.*, 2019). O consumo de muesli ao pequeno-almoço está associado ao aumento do consumo de fibras e hidratos de carbono e à diminuição do consumo de gorduras ao longo do dia, além de melhorar o desempenho mental e físico (Senhofa *et al.*, 2015) e a saciedade (Miranda *et al.*, 2023). Isso deve-se ao muesli ser uma boa fonte de grãos integrais, que são comumente consumidos com leite. Os grãos integrais são ricos em fibra dietética e tanto os grãos quanto o leite melhoram a ingestão de micronutrientes (Senhofa *et al.*, 2015). A inclusão na dieta de uma maior proporção de grãos integrais tem sido incentivada, em vários países, para promover a saúde dos consumidores. Uma das funções dos grãos integrais, recentemente descoberta, refere-se à sua atividade prebiótica, que é fundamental para o bem-estar do hospedeiro (Carceia, 2020). Além disso, estudos realizados por Quatela *et al.* (2018) reportam que o muesli pode reduzir o risco de diabetes devido ao seu alto teor de fibras e alta densidade de nutrientes, designadamente fitoquímicos, vitaminas e minerais.

As fibras presentes nos cereais integrais, como o muesli, parecem melhorar a resposta glicémica no pequeno-almoço, potencialmente diminuindo o desenvolvimento da diabetes tipo 2. Por outro lado, o estudo sugere que o consumo de grãos refinados pode aumentar o risco de diabetes, devido ao baixo teor de fibras e ao alto índice glicémico

desses produtos. Outros estudos relatam que o consumo de grãos integrais e frutas diminui o risco de doenças cardiovasculares, cancro e inflamação (Mrázková *et al.*, 2021).

Assim, o muesli pode ser uma fonte de fibras solúveis, como as betaglucanas, que estão ligadas a efeitos hipoglicêmicos em indivíduos diabéticos e saudáveis, bem como a propriedades hipocolesterolêmicas, com redução do colesterol LDL (*low-density lipoprotein*) (Miranda *et al.*, 2023).

Os produtos de cereais como o muesli são geralmente acondicionados em embalagens de papel/polietileno. Os materiais de embalagem para flocos podem ser combinados, implicando o uso de dois tipos de materiais diferentes: o primeiro é previsto para proteção do produto e o segundo para facilidade de uso pelo consumidor (Senhofa *et al.*, 2015). O papel pode ser combinado com camadas de polietileno de baixa densidade (LDPE) e alumínio para fazer sacos e bolsas selados que oferecem uma barreira mais eficaz contra a humidade e oxigénio (Senhofa *et al.*, 2015), parâmetros que devem ser controlados para garantir a qualidade e a segurança alimentar do produto.

Senhofa *et al.* (2015) ao avaliarem o efeito do tipo de embalagem (saco de papel, tubo de papel e *Doypack*¹) na qualidade do muesli de cereais durante o seu armazenamento, concluíram que o muesli com chocolate e damasco embalado em tubo de papel ou *Doypack* apresentou uma vida útil de nove meses, enquanto embalado em saco de papel foram observadas alterações na qualidade do produto.

2.1. Formulações de muesli e composição nutricional

Na **Tabela 1** encontram-se apresentadas diferentes formulações de muesli elaboradas no âmbito de trabalhos científicos e comercializados no mercado, bem como a sua composição nutricional.

¹ Os *doypacks* são um tipo de embalagem flexível, sustentável, fácil de personalizar e que é uma excelente solução para diversos produtos alimentares. Os *Doypacks* podem ser criados a partir de uma ou mais camadas de diferentes tipos de materiais, além de poderem incluir características extra, como válvulas, pegas perfuradas e outros acessórios. Os *Doypacks* são por vezes também chamados de *stand up pouches*, *stand pouches* ou *doypack pouches* (SPS Pouches, 2024).

Tabela 1. Formulações de muesli descritas em trabalhos científicos e em produtos comerciais e sua composição nutricional.

Ingredientes	Composição nutricional	Referência / Marca
Trabalhos científicos		
Grãos (trigo, milho, sorgo) 60%; Frutas (banana, mamão, tâmaras) (20 e 30%); Nozes, coco e castanha de caju (10 e 20%).	Teor de humidade: 6,5-7,2%; Proteína bruta: 6,78-9,93%; Gordura bruta: 11,87-14,67%; Fibra bruta: 6,39-7,05%; Teor de cinzas: 5,25-6,13%; Hidratos de carbono: 55,57-62,51%; Energia: 383,99-394,03 kcal/g	Adeove <i>et al.</i> (2019)
Ingredientes secos: Aveia em flocos laminada (24,2%) ou floco de arroz (24,9%); semente de abóbora sem casca (7,3%); linhaça marrom (4,8%); uvas passas tintas (7,3%); canela em pó (0,7%); Ingredientes húmidos: mel (7,3%), Leite integral UHT (48,4%) (cada porção fornece 3 a 3,5 g de betaglucanas). Nota: vinte minutos antes de servir foram adicionados os ingredientes húmidos.		Miranda <i>et al.</i> (2023)
Aveia, xarope de sacarose (50%), leite em pó (3%), mel (40%), nozes em pó (1%), óleo essencial de baunilha (0,02%), cacau e caramelo (2%), folhas de matcha em pó, solução fisiológica e células probióticas encapsuladas ou livres.		Ebrahimi Monfared <i>et al</i> 2022
Produtos comerciais		
Cereais (67%): flocos de trigo, de cevada e de aveia. Frutos secos (16%): sultanas, uvas passas, pedaços de tâmaras, amêndoas laminadas ou inteiras, avelãs assadas.	Energia: 1544 kJ – 366 kcal; Lípidos: 3,9 g dos quais 0,6 g ácidos gordos saturados; Hidratos de Carbono: 68,0 g dos quais 10,4 g açúcares; Fibras: 9,2 g; Proteínas: 10,0 g; Sal 0,03 g.	Jordans natural muesli
Trigo integral (43%), flocos de aveia integral (37%), passas de uva (15%), leite desnatado em pó, soro de leite em pó, frutos secos torrados laminados (2%) (amêndoas, avelãs), sal.	Energia: 1556 kJ – 369 kcal; Lípidos: 5,8 g dos quais 0,9 g ácidos gordos saturados; Hidratos de Carbono: 63,0 g dos quais 16,0 g açúcares; Fibras: 8,3 g; Proteínas: 12,0 g; Sal: 0,28 g.	Alpen (azul) Swiss Style

<p>Flocos de trigo e arroz (arroz [60%], trigo integral [15%], açúcar, glúten de trigo, cevada maltada, farinha de trigo, leite em pó desnatado, sal, gérmen de trigo e emulsionante [mono e diglicerídeos de ácidos gordos]), arandos desidratados (açúcar, arando e óleo vegetal de girassol), morangos desidratados (açúcar, morangos, conservante [dióxido de enxofre], corante [vermelho-allura ac] e aroma natural).</p> <p>Teor total em frutos vermelhos desidratados (20%).</p>	<p>Energia: 360 Kcal; Proteína: 10,1 g; Gordura: 6,1 g; Hidratos de carbono 61,6 g; Açúcares 19,5 g; Fibra: 9 g.</p>	<p>Muesli frutos vermelho saltem</p>
<p>Sultanas; flocos de aveia; flocos de trigo; chips de coco desidratada; sementes de sésamo; sementes de girassol; flocos de milho extrudidos (farinha de milho, açúcar, extrato de malte de cevada, sal); arroz tufado (farinha de arroz, extrato malte de cevada, sal); ananás desidratado (ananás, açúcar, conservantes: ácido cítrico, metabissulfito de sódio (sulfito); papaia desidratada [papaia, açúcar, conservante: metabissulfito de sódio (sulfito)]; maçã desidratada (maçã, conservante: dióxido de enxofre); damasco desidratado (damasco, conservante: dióxido de enxofre); ameixa, amêndoa torrada; chips de banana (banana, manteiga de coco, açúcar, mel, aroma de banana); manga desidratada [manga, açúcar, conservantes: ácido metabissulfito de sódio (sulfito)]. Contém 40% de cereais, 39% de fruta e 13% de sementes.</p>	<p>Energia: 1649 KJ/394 Kcal; Lípidos: 14,1 g, dos quais saturados 5,5 g; Hidratos de Carbono: 54,2 g; dos quais açúcares 22,2 g; Fibra: 8,7 g; Proteínas: 9,1 g; Sal: 0,1 g.</p>	<p>Muesli tropical cem por cento</p>
<p>Cereais 65% (flocos aveia, farinha de trigo, flocos de milho (milho, açúcar, extrato de malte de cevada, sal, emulsionante (mono e diglicéridos de ácidos gordos), aromas, vitaminas (niacina (B3) 1,6 mg/100g, ácido pantoténico (B5) 0,5 mg/100g, vitamina B6 0,1 mg/100g, riboflavina (B2) 0,1 mg/100g, tiamina (B1), ácido fólico (B9) 21,6 µg/100g, biotina (H) 4,8 µg/100 g, vitamina B12), sais de ferro, antioxidantes (extrato rico em tocoferóis, galato de propilo, ésteres de ácidos gordos do ácido ascórbico), flocos de arroz torrado (arroz, açúcar, sal, extrato de malte de cevada, emulsionante (mono e diglicerídeos de ácidos gordos), antioxidantes (extrato rico em tocoferóis, ésteres de ácidos gordos do ácido ascórbico)], açúcar, óleo vegetal (girassol), melaço, sal, aromas.</p>	<p>Energia 1855 kJ / 441 kcal, Lípidos 14,9 g, dos quais saturados 1,6 g, Hidratos de carbono 65,7 g, dos quais açúcares 26,2 g, Fibras 7 g, Proteínas 7,7 g, Sal 0,3 g.</p>	<p>Crunchy Muesli Pingo Doce</p>

Como se pode observar, as diferentes formulações variam, essencialmente, no tipo e proporção dos frutos secos adicionados, destacando-se os grãos ou flocos de trigo, milho, sorgo, cevada e aveia, em conjunto com sementes de abóbora, linhaça, uvas passas, tâmaras, amêndoas e avelãs, entre outros frutos. No geral, o teor de proteína bruta varia entre 7 e 10% e o teor de fibra entre 6 e 9%.

Várias formulações de muesli estão disponíveis na internet. Na **Tabela 2**, encontram-se duas formulações disponíveis no Blog BodyScience (<https://blog.bodyscience.pt/muesli/>).

Tabela 2. Formulações de muesli disponíveis no Blog BodyScience.

Ingredientes	Modo de preparação
Muesli de aveia	
Aveia 400 g; Frutas desidratadas 100 g; Frutos secos picados 50 g; Sementes 25 g	Numa tigela grande, misturar a aveia, as frutas desidratadas, os frutos secos, as sementes e a canela (se desejar); armazenar a mistura num recipiente hermético.
Muesli de flocos de arroz	
Flocos de arroz 150 g; Flocos de aveia 50 g; Sementes de girassol: 40 g; Sementes de abóbora 40 g; Alperces secos 90 g; Nozes 60 g; Coco 4,5 g.	Colocar todos os ingredientes num recipiente hermético; tapar e agitar bem para que todos os ingredientes fiquem bem distribuídos; armazenar num armário, bem tapado, até 8 semanas.

2.2 Produção de muesli

Como referido anteriormente, o muesli é uma preparação à base de cereais. Nesse sentido, antes do processamento, os grãos de cereais devem ser limpos e lavados, removendo pedras, sujidades, palha, sementes estragadas e outros materiais estranhos. Em seguida, os cereais como o trigo, sorgo ou milho podem sofrer uma cozedura. Adeove *et al.* (2019) ao elaborarem muesli utilizaram 350 g de trigo ou sorgo, os quais foram fervidos com 2,5 L de água, separadamente. Já em relação ao milho, pesaram 350 g deste cereal que foram fervidos com 4,5 L de água, tendo sido adicionados 2 g de sal a cada um deles. A densidade da água que resultou após a fervura foi determinada para saber se houve ou não perda de grãos durante a fervura. Os grãos cozidos foram pesados e

combinados na proporção 2:1:2:1 para o trigo, milho, sorgo e noz de tigre (*Cyperus esculentus*), antes de serem misturados com 1 L de água. Posteriormente, a mistura foi seca a 80 °C por 24 horas (Adeove *et al.*, 2019).

Em relação à adição de frutas ao muesli, estas têm de sofrer uma prévia preparação. Por exemplo, ao utilizar coco, Adeove *et al.* (2019) retiraram a película castanha externa e posteriormente o fruto foi ralado, imerso em calda de açúcar, escorrido e seco a 80 °C por 6 h. Já a castanha de caju foi meramente triturada em tamanhos menores. Em relação à banana, aqueles autores referem que a mesma foi descascada e cortada em cubinhos e, em seguida, imersa em calda de açúcar (para evitar escurecimento), escorrida e seca em estufa a 80 °C por 24 horas. Os frutos como as tâmaras e mamão foram lavadas e retiradas as sementes e, em seguida, cortados em pequenos pedaços, imersos em calda de açúcar, escorridos e secos a 80 °C por 24 horas (Adeove *et al.*, 2019).

Ebrahimi Monfared *et al.* (2022) seguiram uma sequência para misturar os ingredientes. Em primeiro lugar, a aveia seca foi misturada com xarope de sacarose, leite em pó, mel, farinha de nozes, óleo essencial de baunilha, cacau e caramelo. Em seguida foi adicionado matcha e só depois adicionadas à mistura as bactérias probióticas encapsuladas (10^8 log UFC/g de *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus reuteri*, e/ou ambas as bactérias).

Miranda *et al.* (2023) referem a mistura de todos os ingredientes secos (aveia em flocos laminada ou floco de arroz; semente de abóbora sem casca, linhaça marrom, uvas passas tintas, canela em pó) e só depois de vinte minutos antes de servir foram adicionados os ingredientes húmidos (mel e leite integral UHT).

O armazenamento do muesli é outro fator a ter em conta para garantir a sua qualidade e segurança alimentar. Após a mistura de todos os ingredientes o muesli deverá ser armazenado em recipientes limpos e herméticos (Adeove *et al.*, 2019; Ebrahimi Monfared *et al.* (2022); Miranda *et al.*, 2023).

Até ao momento, não foram encontrados mueslis que tenham na sua composição castanha. Desse modo, considera-se que a adição deste fruto pode originar um produto inovador e com propriedades interessantes.

2.3. Potenciais problemas associados à produção e consumo de muesli

Os cereais possuem uma quantidade significativa de hidratos de carbono, que servem como substrato propício para o crescimento de fungos. Quando os fungos colonizam os cereais, há um potencial risco de contaminação por micotoxinas. Essas substâncias são metabolitos secundários produzidos por fungos que se formam em situações de stress, desequilíbrio nutricional e em ambientes favoráveis para o seu desenvolvimento (Cardoso Filho *et al.*, 2016). Os géneros fúngicos mais frequentemente associados à produção de micotoxinas em cereais são *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*. Mesmo que os fungos sejam inativados ou retirados durante o processamento e não estejam presentes no produto elaborado, as micotoxinas podem permanecer no alimento, pois são dificilmente destruídas (Cardoso Filho *et al.*, 2016).

A presença de microrganismos nos grãos está diretamente ligada às condições na fase de pré e pós-colheita. Fatores como poeira, insetos, contaminação fecal, uso inadequado de fertilizantes e condições de armazenamento desempenham um papel significativo no desenvolvimento de fungos e, por conseguinte, na formação de micotoxinas (Sassi, 2015).

Ao adicionar outros ingredientes extras ao muesli com elevado valor nutricional, como frutos secos, exemplo nozes, e outros, pode-se aumentar o risco microbiológico durante o armazenamento do muesli, pois estes ingredientes contêm mais humidade do que os flocos. Alguns dos microrganismos presentes nos cereais constituem um perigo potencial, uma vez que o seu desenvolvimento pode alterar as propriedades dos grãos, e as micotoxinas produzidas por alguns bolores podem representar um risco para a saúde. A entrada de micotoxinas no organismo é feita normalmente pela via digestiva e a sua absorção geralmente causa reações sob a forma de hemorragias ou necroses. Muitas destas micotoxinas têm afinidade por determinado órgão ou tecido, sendo o fígado, os rins e o sistema nervoso os órgãos mais frequentemente atingidos (Maziero e Bersot, 2010). Assim, estas toxinas podem ser carcinogénicas, mutagénicas, neurotóxicas e teratogénicas.

Foi relatado por Senhofa *et al.* (2015) que esses fungos estão localizados próximos da superfície do grão, mas a espessura real afetada pela contaminação microbiana não pode ser determinada.

A contaminação dos grãos durante o armazenamento, transporte e processamento afeta ainda mais a microflora de novos produtos desenvolvidos como, por exemplo, o muesli. A vida útil do muesli e dos cereais matinais é limitada por alterações químicas e físicas e a taxa de reações de deterioração depende da sua composição, bem como de fatores ambientais. O teor de umidade é identificado como o parâmetro crítico de qualidade e a umidade relativa do ar como o fator ambiental mais influente (Senhofa *et al.*, 2015).

A utilização de embalagens na cadeia de fornecimento alimentar é muito importante e é uma parte essencial do processamento de alimentos. Nos últimos tempos, têm-se observado desenvolvimentos significativos nos materiais de embalagem de alimentos, os quais têm funcionado como um meio de suprimir o crescimento microbiano, bem como proteger os alimentos da contaminação microbiana externa (Senhofa *et al.*, 2015). As condições de armazenamento e embalagem podem impactar a estabilidade e as propriedades do muesli, incluindo sua atividade antioxidante, viabilidade de probióticos, composição química e características sensoriais (Monfared *et al.*, 2022).

Um outro problema, que está associado ao muesli, são as alergias alimentares devido a determinados ingredientes que o constituem. As alergias alimentares definem-se como “respostas adversas do sistema imunitário que ocorrem de forma reprodutível em indivíduos sensibilizados/alérgicos, após reexposição a um dado alimento. Em teoria, qualquer alimento é suscetível de induzir respostas imunológicas, mas cerca de 90% das alergias alimentares são normalmente desencadeadas por alimentos pertencentes aos oito grupos: leite, ovos, peixes, crustáceos, soja, amendoim, frutos de casca rija e cereais contendo glúten (Costa *et al.*, 2016). Os alérgenos que podem estar presentes no muesli incluem cereais contendo glúten, como trigo, cevada e aveia, bem como frutos de casca rija, como amêndoas, avelãs, nozes, castanhas de caju e pistácio. A adição de sementes de sésamo também é comum. Estes produtos são mencionados no Regulamento (UE) N.º 1169/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro de 2011 como sendo substâncias ou produtos que provocam alergias ou intolerâncias e cuja presença deve estar destacada no rótulo.

Atualmente, existe uma ampla gama de abordagens analíticas para identificar e medir diversos alimentos alérgicos, centrando-se nas proteínas ou no DNA como alvos de análise. No caso dos frutos de casca rija, várias metodologias foram propostas utilizando ensaios imunológicos, como ELISA, PCR em tempo real e tecnologias

avançadas, incluindo espectrometria de massa e biossensores. Entretanto, a carência de materiais de referência e a ausência de métodos oficiais para detecção e quantificação representam grandes falhas na gestão de alergénios alimentares (Costa *et al.*, 2016).

A informação correta e clara da rotulagem representa uma das medidas mais importantes para garantir a segurança do consumidor alérgico (Costa *et al.*, 2016), por isso esses alergénios, já citados, devem ser declarados na rotulagem (DGAV, 2023).

2.4. Castanha

O castanheiro é uma árvore pertencente à família Fagaceae e ao género *Castanea*, sendo que na europa encontra-se a espécie *Castanea sativa* Mill (Choupina e Silva, 1992). Pensa-se que teve origem nas regiões montanhosas da China Central e Oriental e na América do Norte (Choupina, 1993) e que foi trazida para a Península Ibérica pelos Celtas. No entanto, a sua origem não está comprovada (Jorge, 2017).

A castanha é o fruto do castanheiro. Desde sempre teve grande importância ao nível nacional. Antigamente foi a base da alimentação antes do aparecimento e expansão da cultura da batata e do cereal (Jorge, 2017). Nos dias de hoje, tem grande relevo económico e extrema importância na alimentação humana (Jorge, 2017).

No que diz respeito à composição nutricional da castanha, esta pode trazer grandes benefícios para a alimentação. Apresenta alto teor de amido em oposição aos açúcares simples (recomendado na prevenção da diabetes), baixo teor de gordura e proteínas, e um teor de vitamina C semelhante à dos citrinos (Choupina, 1993).

2.4.1. Produção nacional

Portugal está entre os 10 maiores produtores mundiais, sendo o 3º maior produtor europeu. Trás-os-Montes é a região com maior área de produção (34 504 ha), tendo também algum significado a Beira Interior (3 683 ha) e o Alto Alentejo (520 ha) (INE, 2018).

É na região Norte de Portugal Continental que se encontra a maior concentração de castanheiros, representando cerca de 84% do volume de produção nacional, seguindo-se a região Centro com 9% e as restantes regiões do país com 7% (INE, 2016).

Segundo as Estatísticas Agrícolas do INE (2023), no ano 2022 a precipitação da segunda quinzena de outubro foi tardia para a maioria dos soutos, que se encontravam no início da queda de frutos, não evitando um decréscimo de produção de castanha de 39,9%, face à campanha anterior (Figura 1), tendo sido a campanha com menor produtividade dos últimos 37 anos, atingindo cerca de 26 mil toneladas em Portugal.

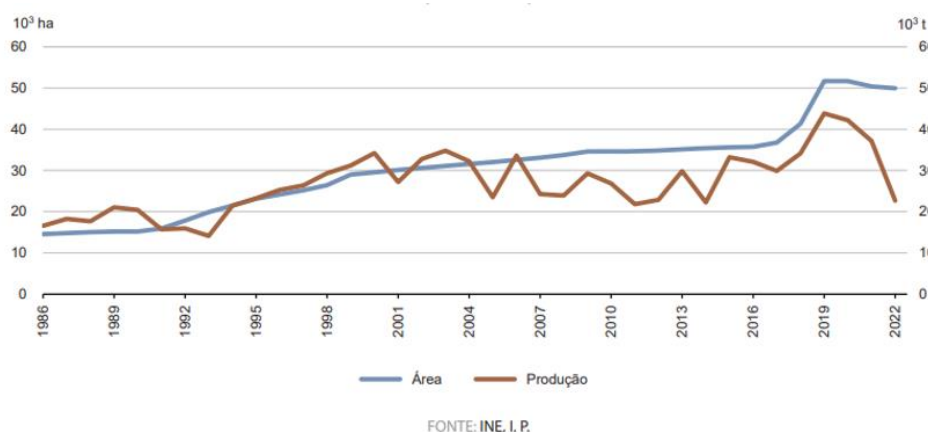


Figura 1. Área e produção de castanha (1986-2022) (INE, 2022).

Na região da Terra Fria existe uma castanha com denominação de origem protegida (DOP), intitulada “Castanha da Terra Fria DOP”, onde os frutos são obtidos a partir do castanheiro europeu (*Castanea sativa* Mill), das variedades Longal, Judia, Côta, Amarelal, Lamela, Aveleira, Boa Ventura, Trigueira, Martainha e Negral. Cada lote é constituído por 85% de uma das variedades, podendo os restantes 15% ser completados por uma das outras variedades mencionadas. Podem também beneficiar do uso da denominação as castanhas piladas, congeladas, confitadas ou em calda. A área geográfica de produção da Castanha da Terra Fria DOP está delimitada do ponto de vista administrativo a algumas freguesias dos concelhos de Alfândega da Fé, Bragança, Chaves, Macedo de Cavaleiros, Mirandela, Valpaços, Vimioso e Vinhais, dos distritos de Vila Real e Bragança (DGAV, 2023).

2.4.2. Produtos à base de castanha

Estudos feitos por Ramalhosa *et al.* (2020) relatam que a castanha e seus derivados são valorizados de diversas maneiras, tanto na indústria alimentar quanto em outros

setores. A castanha pode ser consumida de várias formas, como cozida, assada, frita, e também pode ser utilizada como ingrediente em pratos, substituindo o arroz, a massa ou a batata. Além disso, a castanha é processada industrialmente para a produção de diversos produtos, tais como castanha pilada, farinha, purés, cremes, doces, marron glacé, bebidas fermentadas, entre outros. A madeira e a casca do castanheiro também são valorizadas para o fabrico de mobiliário, utensílios, curtimento de peles e produção de pipas e barris.

Em Bragança, já existe uma loja totalmente dedicada à castanha, intitulada “Marron”, na qual é possível encontrar diversas compotas, doces, madalenas, bolo fofo, castanhas em calda, castanha cozida e guardada em frascos de vidro com canela e baunilha, bolachas de castanha com canela, com azeite ou com mel, licores feitos de forma caseira e cerveja de castanha da zona de Carrazedo de Montenegro (Andarilho, 2023).

A valorização da castanha tem despertado interesse devido à sua composição nutricional, ausência de glúten, baixo teor de gordura e versatilidade gastronómica e tecnológica. Este interesse tem levado ao desenvolvimento de novos produtos e tecnologias, contribuindo para a valorização dos recursos endógenos das zonas rurais (Ramalhosa *et al.*, 2020). Contudo, do nosso conhecimento, a castanha ainda não foi utilizada para produzir muesli.

3. Parte Experimental

Na presente secção estão descritos os parâmetros avaliados na presente dissertação e a metodologia aplicada em cada uma das análises efetuadas. O trabalho experimental foi realizado no Laboratório de Agroindústrias da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, onde se desenvolveu um muesli de castanha, tendo sido feita posteriormente a sua caracterização físico-química, microbiológica e sensorial, respetivamente. De seguida passa-se a descrever as diferentes atividades desenvolvidas.

3.1 Caracterização de amostras de muesli comerciais

Foram adquiridas numa superfície comercial (Pingo Doce), três amostras de muesli comerciais, designadamente a Alpen Swiss Style Muesli®, Crunchy Muesli Frutas Pingo Doce®, Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce®, tendo estas sido avaliadas em termos do rótulo (ingredientes e composição nutricional), percentagem dos diferentes constituintes e atividade da água.

Para o cálculo da percentagem dos diferentes constituintes, foram pesados aproximadamente 100 gramas de cada amostra de muesli, e em seguida, realizou-se a separação dos diferentes constituintes. Posteriormente, os constituintes foram pesados, tendo o procedimento sido repetido três vezes.

Para medir a atividade da água procedeu-se como indicado na Secção 3.4.2. Foram feitas três repetições para cada constituinte das amostras de muesli.

3.2. Preparação das castanhas

A castanha (*Castanea sativa* Mill.) utilizada no presente trabalho tinha origem Portuguesa e foi adquirida numa superfície comercial com a marca Pingo Doce®, em embalagens de 1 Kg, descascadas e congeladas. Para a realização dos ensaios, as castanhas foram previamente descongeladas para simular a situação, de no futuro, se utilizar castanha fresca descascada. De referir que na altura de início das atividades no laboratório já não havia disponível castanha fresca.

Como no muesli seria utilizada castanha secada, foi necessário proceder à secagem da mesma. Nas duas secções seguintes descrevem-se os ensaios relativos à secagem do fruto.

3.2.1. Primeiro Ensaio - Secagem das castanhas inteiras

No primeiro ensaio avaliou-se a secagem de castanhas inteiras. Assim, os frutos foram colocados em placas de Petri (Figura 2) com três frutos inteiros por placa. Todas as placas foram colocadas num forno elétrico (Flama) a 180 °C, sendo removidas a diferentes tempos de secagem, nomeadamente 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 minutos. A cada tempo de secagem, foram retiradas três placas (ensaio realizado em triplicado).



Figura 2. Frutos inteiros colocados em placas de Petri.

As castanhas utilizadas no ensaio foram pesadas antes e depois de serem colocadas no forno para se poder calcular a quantidade de água presente na amostra ao longo da secagem (W , g_{água}/g matéria seca). De referir que no início da experiência, uma porção de castanha foi utilizada para se determinar o teor de matéria seca presente na castanha utilizada nos ensaios. Para isso, determinou-se o teor de humidade por perda de peso a 105 °C, até se atingir peso constante, correspondendo o teor de matéria seca (% p.f.) = 100 – teor de humidade (% p.f.).

Após determinar os valores de W para cada tempo, representou-se graficamente o W versus tempo e aplicou-se a Equação 1 para determinar o W de equilíbrio (W_e), uma vez que $W_e = y_0$.

$$W = y_0 + a \cdot e^{-bt} \quad [1]$$

Determinaram-se também as velocidades de secagem ($-\frac{\partial W}{\partial t}$ (g_{água}/(g matéria seca·min))) através das seguintes equações:

$$\left(-\frac{dW}{dt}\right)_{t=0} = \frac{-3X_0 + 4X_1 - X_2}{2\Delta t} \quad [2]$$

$$\left(-\frac{dW}{dt}\right)_{t=t_1} = \frac{X_2 - X_0}{2\Delta t} \quad [3]$$

$$\left(-\frac{dW}{dt}\right)_{t=t_2} = \frac{X_0 - 4X_1 + 3X_2}{2\Delta t} \quad [4]$$

correspondendo o t_2 ao último tempo amostrado.

Após a determinação do W_e , determinaram-se os *Moisture Ratio (MR)* através da Equação 5:

$$MR = \frac{W - W_e}{W_0 - W_e} \quad [5]$$

Após o cálculo dos *MR* aplicaram-se diversos modelos, designadamente os modelos de Lewis, Page, Henderson & Pabis, Henderson & Pabis Modificado, Logarítmico, Dois termos (*Two-term*) e Wang & Singh, tendo sido avaliada a qualidade dos ajustes através dos seguintes parâmetros:

- p relativo à falta de ajuste ($p_{falta\ de\ ajuste}$). O valor de p -falta de ajuste deve ser $> 0,05$ para que a falta de ajuste não seja significativa;
- *MSE (Mean Square of the Error)* ou Erro Quadrado Médio ou Quadrado Médio do Erro Ajustado. Corresponde à variância em torno dos valores ajustados e mede a exatidão do modelo. Este parâmetro deve ser mínimo;
- Parâmetro S , o qual deve ser mínimo.

Também se consideraram os gráficos de resíduos *versus* os valores ajustados para se verificar a pressuposição de que os resíduos se encontravam aleatoriamente distribuídos e tinham variância constante. Idealmente, os pontos devem cair aleatoriamente em ambos os lados do valor 0, sem padrões reconhecíveis nos pontos. Também se analisaram os gráficos de probabilidade normal de resíduos para verificar a pressuposição de que os resíduos se encontravam distribuídos normalmente. Os gráficos de probabilidade normal dos resíduos devem seguir aproximadamente uma linha reta.

Depois da secagem das amostras, as mesmas foram avaliadas em termos de cor exterior e interior, e da atividade da água, segundo os métodos descritos nas Secções 3.4.1 e 3.4.2. Em paralelo foi determinado o teor de humidade da amostra inicial, tal como indicado na Secção 3.4.3.

3.2.2. Segundo Ensaio - Secagem das castanhas partidas

Neste ensaio avaliou-se a secagem de castanhas partidas. Assim, os frutos foram cortados em oito partes cada e misturados (Figura 3A). Posteriormente, foram colocados oito pedaços de diferentes frutos em cada placa de Petri (Figura 3B) e levados ao forno elétrico (Flama) a 180 °C. As amostras foram retiradas a diferentes tempos de secagem, designadamente: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 minutos. Para cada intervalo de tempo, a experiência foi repetida três vezes. Realizou-se a pesagem das castanhas antes e depois de serem levadas ao forno para determinar a quantidade de água (W) presente na amostra ao longo da secagem, tendo-se procedido de forma idêntica ao descrito na Secção anterior.

A cada tempo de secagem, avaliaram-se as amostras em termos da cor e atividade da água, tal como descrito nas Secções 3.4.1 e 3.4.2, respetivamente.

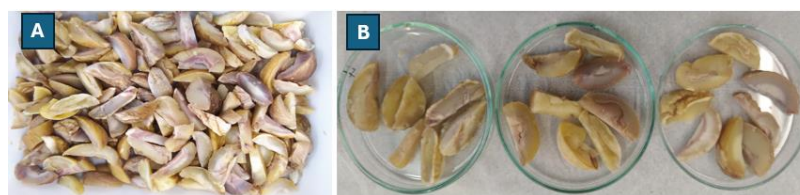


Figura 3. Mistura de frutos partidos (A) e frutos partidos colocados na placa de Petri (B).

3.3. Elaboração de diferentes preparações de muesli – Desenho Experimental de Misturas

Após análise dos componentes das amostras comerciais, decidiu-se preparar mueslis de castanha que incluíssem este fruto, aveia e figo secado, pois este também é um fruto característico da região (principalmente do Vale da Vilarça). Numa primeira fase do trabalho foram elaboradas diferentes formulações de muesli que envolveram diferentes proporções dos ingredientes referidos anteriormente. Foi aplicado um desenho experimental de mistura do Programa Minitab (versão 22.0), tendo sido estabelecidas as seguintes proporções para cada componente: Aveia (Máximo de 90%, Mínimo 80%); Castanha (Máximo de 10%, Mínimo 0%) e Figo (Máximo de 10%, Mínimo 0%).

Na preparação do muesli utilizaram-se castanhas partidas sujeitas a um tempo de secagem de 40 minutos. Após a secagem, as castanhas foram novamente partidas em

pedaços menores. Em seguida, o figo foi cortado em pequenos pedaços. De referir que os figos secos utilizados no presente trabalho foram adquiridos no Mercado Municipal, sendo provenientes do Vale da Vilariça. Todos os ingredientes foram então pesados nas proporções indicadas na Tabela 3, e misturados. Posteriormente, as diferentes misturas foram armazenadas em recipientes fechados e colocadas no exsiccador, tendo sido avaliadas em termos da cor (ver Secção 3.4.1), atividade da água (Secção 3.4.2) e parâmetros sensoriais (Secção 3.4.9).

Tabela 3. Diferentes proporções aplicadas no desenho experimental de mistura do programa Minitab.

OrdemPad	OrdemEns	TipoPt	Blocos	Aveia	Castanha	Figo
3	1	1	1	80,00	10,00	10,00
26	2	2	1	85,00	5,00	10,00
6	3	2	1	85,00	5,00	10,00
4	4	2	1	90,00	5,00	5,00
1	5	1	1	90,00	0,00	10,00
28	6	-1	1	88,33	3,33	8,33
22	7	1	1	90,00	10,00	0,00
13	8	1	1	80,00	10,00	10,00
11	9	1	1	90,00	0,00	10,00
14	10	2	1	90,00	5,00	5,00
9	11	-1	1	88,33	8,33	3,33
19	12	-1	1	88,33	8,33	3,33
23	13	1	1	80,00	10,00	10,00
21	14	1	1	90,00	0,00	10,00
27	15	0	1	86,67	6,67	6,67
24	16	2	1	90,00	5,00	5,00
8	17	-1	1	88,33	3,33	8,33
16	18	2	1	85,00	5,00	10,00
12	19	1	1	90,00	10,00	0,00
25	20	2	1	85,00	10,00	5,00
30	21	-1	1	83,33	8,33	8,33
17	22	0	1	86,67	6,67	6,67
18	23	-1	1	88,33	3,33	8,33
2	24	1	1	90,00	10,00	0,00
15	25	2	1	85,00	10,00	5,00
20	26	-1	1	83,33	8,33	8,33
10	27	-1	1	83,33	8,33	8,33
5	28	2	1	85,00	10,00	5,00
29	29	-1	1	88,33	8,33	3,33
7	30	0	1	86,67	6,67	6,67

Após serem feitas as avaliações nas formulações com as diferentes proporções dadas pelo desenho experimental de mistura do Minitab em termos de cor, atividade da

água e parâmetros sensoriais, foram elaboradas três novas formulações de muesli com as proporções indicadas na Tabela 4. De referir que a formulação A foi obtida após aplicação do otimizador de resposta do Minitab, no qual foi indicado que se desejavam obter as seguintes condições em simultâneo: atividade da água entre 0,4 e 0,6; intensidade do aroma de castanha entre 4 e 10, e uma intensidade do sabor a castanha entre 3 e 10.

Tabela 4. Três novas formulações de muesli.

Formulação	Aveia	Castanha	Figo
A	84,50%	10,00%	5,50%
B	84,50%	0,00%	15,50%
C	84,50%	15,50%	0,00%

Após preparação, as diferentes misturas foram armazenadas em recipientes fechados e colocadas no exsiccador. De seguida, foram avaliadas em termos de cor, atividade da água, composição nutricional, características microbiológicas e sensoriais, como descrito nas secções seguintes.

3.4. Parâmetros físico-químicos, microbiológicos e sensoriais avaliados nas amostras elaboradas

Na presente secção descrevem-se os métodos analíticos aplicados às diferentes amostras elaboradas ao longo do trabalho.

3.4.1. Cor

O parâmetro cor foi avaliado com recurso a um colorímetro portátil na castanha secada, bem como no muesli de castanha. Foi utilizado um colorímetro Minolta CR-400 (Osaka, Japão), o qual foi previamente calibrado, obtendo-se as coordenadas da cor do sistema CIELAB. Neste sistema, o valor de L^* representa a luminosidade, em que quanto maior o seu valor, mais clara é a amostra analisada, correspondendo o valor 0 ao preto e o 100 ao branco. O parâmetro a^* corresponde à variação da gama de cor entre vermelho (+) e verde (-) e o b^* corresponde à gama entre amarelo (+) e azul (-). Também foram avaliados os parâmetros C^* , o qual avalia a intensidade ou pureza da cor, e o h relativo à tonalidade ou cor propriamente dita.

3.4.2. Atividade da água (a_w)

Para medir a atividade da água nas amostras de castanha secada e no muesli de castanha, estas foram colocadas em caixinhas plásticas próprias do equipamento. De seguida, estas foram colocadas destapadas no medidor de atividade da água (Novasina, LabSwift-aw, Lachen, Suíça), previamente calibrado com os seguintes padrões (soluções saturadas de sais): LiCl a 11%, NaBr a 58% e KCl a 84%. Para todas as amostras foram feitas três repetições para precisão nos resultados.

3.4.3. Teor de humidade

Para determinar o teor de humidade nas amostras de castanhas (descongeladas), bem como nas amostras de muesli, pesaram-se aproximadamente duas gramas de cada amostra para cadinhos de porcelana previamente calcinados a 550 °C, uma vez que os mesmos foram usados para determinar as cinzas.

Os cadinhos com as amostras foram submetidos a uma temperatura de secagem de 105 °C em uma estufa de convecção natural (Memmert Basic UNB 100-500, Rosentritt, Eslováquia), sendo pesados em intervalos regulares até se alcançar peso constante, conforme descrito no método AOAC 925.40 (AOAC, 1995). Os resultados foram expressos em % de peso fresco (p.f.).

3.4.4. Teor de cinzas

O teor de cinzas dos mueslis foi determinado por incineração em mufla (Lenton Thermal designs LTD, Hope Valley, Reino Unido), à temperatura de 550 °C, durante 2 horas ou até se obterem cinzas brancas, utilizando o método AOAC 925.40 (AOAC, 1995). De referir que foram utilizados os mesmos cadinhos do teor de humidade.

3.4.5. Teor de gordura

O teor de gordura foi determinado através de uma extração de Soxhlet, utilizando éter de petróleo com di-*terc*-butil metil fenol (BHT) 0,01% (m/v), como solvente de extração. Pesaram-se aproximadamente 15 g de muesli triturado para cartuchos de papel de filtro com um pouco de algodão no fundo dos cartuchos. Posteriormente, os cartuchos foram colocados nos extratores do Soxhlet, tendo-se procedido à extração da gordura durante 12 horas. Após a extração, o balão de extração foi colocado num evaporador

rotativo (Heidolph, Schwabach, Alemanha) para retirar o solvente de extração. Em seguida, os balões foram colocados na estufa a 30 °C durante 30 min para evaporar algum solvente residual que ainda pudesse existir. Após arrefecimento em exsiccador, o balão, contendo a gordura extraída, foi pesado e o teor de gordura bruta calculado e expresso em termos de % (peso seco).

3.4.5.1. Perfil de ácidos gordos

A amostra de gordura obtida na secção anterior foi utilizada para se determinar os ácidos gordos. A determinação dos ácidos gordos existentes nas amostras preparadas foi realizada através de cromatografia gasosa (GC). Inicialmente realizou-se uma derivatização alcalina, seguida de Cromatografia Gasosa (GC) e deteção por ionização de chama (FID). A 0,1 g de gordura foi adicionado 2 mL de *n*-heptano e 200 µL de KOH (2 mol/L em metanol). Agitou-se a mistura durante cerca de 30 segundos e deixou-se em repouso até que a fase superior ficasse transparente. Posteriormente, fez-se a filtração da solução, usando-se filtros de seringa de Nylon 0,2 µm e transferiram-se cerca de 500 µL da fase orgânica para tubos de vidro âmbar rolhados. No final procedeu-se à sua análise por GC-FID, tendo sido utilizado um cromatógrafo Chrompack CP 9001, um injetor split-splitless, um detetor FID e um autosampler Chrompack CP-9050. A coluna capilar consistiu numa coluna de sílica Select FAME (50 m × 0.25 mm i.d.; Varian, Palo Alto, CA, USA). O gás utilizado foi hélio à pressão interna de 140 kPa. A temperatura do detetor foi de 270 °C, enquanto o injetor foi mantido a 250 °C. Foi utilizado um split de 1:50, tendo sido injetado 1 µL. Os resultados foram expressos em percentagem relativa de cada ácido gordo, calculado pela normalização interna da área do pico cromatográfico da amostra com uma mistura padrão de 37 ésteres metílicos de ácidos gordos (Supelco-37 FAME Mix).

3.4.6 Teor de proteínas

O teor de proteína dos mueslis elaborados foi determinado pelo método de Kjeldahl. Pesou-se aproximadamente 0,200 g de amostra de muesli para tubos de digestão. Em seguida, adicionaram-se 2 pastilhas do catalisador metálico (4,99g de K₂SO₄ e 0,005 g de selênio) para acelerar a reação e 15 mL de ácido sulfúrico puro. Transferiram-se os tubos para um bloco digestor, tendo os tubos permanecidos a 400 °C durante 70

minutos. Após digestão, os tubos foram arrefecidos e colocados no destilador de azoto, o qual realiza automaticamente a destilação e a titulação, tendo-se previamente diluído a amostra com 25 mL de água destilada. A solução foi tornada alcalina pela adição de NaOH a 40% (m/v) para converter o $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ formado na digestão em NH_3 , sendo a solução recolhida após a destilação a vapor em uma quantidade específica de H_3BO_3 a 0,5%. A fase de titulação envolveu a adição de HCl (solução padronizada) até que se observasse a mudança de cor do indicador, e a quantidade de proteína foi determinada multiplicando o valor obtido de azoto fornecido pelo equipamento pelo fator de conversão de 6,25, para transformar o teor de azoto total em teor total de proteínas.

3.4.7. Metais

Os metais foram determinados a partir das cinzas (Secção 3.4.4.). Em detalhe, as cinzas (previamente pesadas) foram transferidas para um balão volumétrico de 50 mL. Adicionou-se ácido nítrico (HNO_3) a 1,5% (v/v) e submeteu-se a mistura a ultrassons por 5 minutos para garantir uma boa homogeneização. Em seguida, completou-se o volume do balão com ácido nítrico e agitou-se a solução. Após essa etapa, transferiu-se a solução para um copo e filtrou-se para tubos de Falcon utilizando um filtro de Nylon de porosidade 0,2 μm . Por fim, analisaram-se os elementos de acordo com as recomendações do fabricante do espectrofotómetro de Absorção Atómica (Perkin Elmer). Em pormenor, determinaram-se os teores de potássio ($\lambda=766,5$ nm), cálcio ($\lambda=422,7$ nm), magnésio ($\lambda=285,2$ nm), ferro ($\lambda=248,3$ nm), manganês ($\lambda=279,5$ nm) e zinco ($\lambda=213,4$ nm) por espectrofotometria de emissão atómica (K) e espectrofotometria de absorção atómica (restantes metais), utilizando curvas padrão para cada um dos metais.

3.4.8. Análises microbiológicas

De modo a determinar a qualidade microbiológica dos diferentes tipos de muesli de castanha, pesaram-se aproximadamente 10 g de cada amostra triturada e, em seguida, adicionaram-se 90 mL de água peptonada (Liofilchem, Itália) estéril, de modo a obter uma diluição de 1/10. Após agitação das amostras, realizaram-se diluições decimais seriadas e alíquotas de 0,2 mL de cada diluição foram semeadas, em duplicado, para a superfície dos meios de cultura Plate Count agar (PCA, Liofilchem, Itália), para a contagem de microrganismos a 30 °C (ISO 4833:2, 2013), e Dichloran Glycerol Agar

(DG18, Liofilchem, Itália), para a contagem de bolores e leveduras (ISO 21527-2, 2008) em produtos com atividade de água inferior ou igual a 0,95. As placas foram incubadas durante 48 h a 30 °C (PCA) e durante 5 dias a 25 °C (DG18).

Para a detecção e quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli* utilizaram-se as placas 3M™ Petrifilm™®, tendo-se transferido 1mL de amostra de cada diluição e, em seguida, incubadas durante um período de 24-48h.

No final do período de incubação, procedeu-se à contagem de colónias nas placas e os resultados foram expressos em logaritmo do número de unidades formadoras de colónias (log 10 UFC/g).

3.4.9. Análise sensorial

Para a análise sensorial das formulações do desenho experimental, mobilizou-se um painel de nove provadores que avaliaram as amostras de muesli de castanha com base nos parâmetros descritos na folha de prova (Anexo I). Cada amostra consistiu em 7,5 g de muesli misturados com 30 ml de leite à temperatura ambiente, servidos em copos de papel. Cada parâmetro foi pontuado em uma escala não estruturada de 0 a 10, onde 0 representa a menor intensidade ou aceitação e 10 a maior intensidade ou aceitação. Os provadores realizaram a avaliação em condições controladas para minimizar as variações externas, garantindo que as avaliações fossem feitas de maneira objetiva e padronizada. Entre cada amostra, os provadores foram bebendo água para eliminar o sabor da amostra anterior. Os resultados foram recolhidos e analisados estatisticamente, proporcionando uma visão detalhada das percepções sensoriais dos mueslis de castanha preparados no presente trabalho.

As três formulações preparadas foram analisadas de forma idêntica, tendo sido aplicada a mesma folha de prova, além de se ter perguntado qual era a amostra preferida.

3.5. Análise Estatística

O software Minitab (versão 22) foi utilizado para realizar o desenho experimental de misturas e proceder à análise estatística dos resultados. Os resultados foram expressos em média \pm desvio padrão, tendo-se avaliado a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respetivamente. Após se ter verificado que os dados se mostraram normais e que se observou homogeneidade de

variâncias, aplicou-se a ANOVA para se detetarem ou não diferenças significativas entre amostras. Seguidamente, no caso de existirem diferenças significativas entre amostras ($p < 0,05$), aplicou-se o teste de Tukey.

O mesmo programa foi utilizado para prever os modelos de secagem, utilizando a regressão não linear. Utilizou-se o algoritmo de Gauss-Newton, com um máximo de iterações de 200 e tolerância de 1×10^{-5} . Para avaliar a qualidade dos ajustes procedeu-se como descrito na Secção 3.2.1.

4. Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos no presente trabalho de investigação, comparando-os com outros estudos feitos anteriormente em muesli.

4.1. Caracterização de amostras de muesli comerciais

Foram analisadas três amostras de muesli comerciais, designadamente a *Alpen Swiss Style Muesli*®, *Crunchy Muesli Frutas*® e *Crunchy Muesli Frutos Secos*®, representadas na Figura 4, com a indicação dos respetivos ingredientes e declaração nutricional, tal como descrito na Tabela 5.



Figura 4. Amostras de muesli comerciais: **A)** *Alpen Swiss Style Muesli*; **B)** *Crunchy Muesli Frutas Pingo Doce*; e **C)** *Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce*.

A marca comercial *Alpen Swiss Style Muesli*® apresenta uma composição mais simples (menor número de ingredientes) na sua elaboração, com maior foco em grãos integrais de trigo (43%) e floco de aveia (37%), representando aproximadamente 80% dos constituintes totais. Também contém uvas passas (15%) e um teor relativamente baixo de frutos secos (2%) para amêndoas e avelãs. Não contém açúcares adicionados, que é uma vantagem para quem procura um produto menos processado e com menor teor de açúcar refinado.

A marca comercial *Crunchy Muesli Frutas Pingo Doce*® apresenta aveia integral (42%) e trigo na forma de farinha (5,8%) e flocos (5,6%), incluindo uma variedade de frutas, como uvas passas (9,2%), coco laminado (4,5%), banana (4%) e avelã (2,1%). Como apresenta na sua constituição xarope de glucose, caramelo e açúcar caramelizado em pó, o seu teor de açúcares é mais elevado do que o do produto anterior.

Adicionalmente, contém óleo de girassol e óleo de coco que justifica o maior teor de lípidos face ao produto anterior, aumentando o valor energético.

Tabela 5. Ingredientes e declarações nutricionais das amostras de muesli comerciais.

Ingredientes	Declaração nutricional
<i>Alpen (azul) Swiss Style Muesli®</i>	
Trigo integral (43%), flocos de aveia integral (37%), passas de uva (15%), leite desnatado em pó, soro de leite em pó, frutos secos torrados laminados (2%) (amêndoas, avelãs), sal.	Energia: 1556 kJ – 369 kcal; Lípidos: 5,8 g dos quais 0,9 g ácidos gordos saturados; Hidratos de Carbono: 63,0 g, dos quais 16,0 g açúcares; Fibras: 8,3 g; Proteínas: 12,0 g; Sal: 0,28 g.
<i>Crunchy Muesli Frutas Pingo Doce®</i>	
Flocos de aveia integral (42%), açúcar, uvas passas (9,2%), óleo de girassol, farinha de trigo (5,8%), flocos de trigo (5,6%), coco laminado (4,5%), banana (4%), milho (3,2%), avelãs (2,1%), óleo de coco, semolina de arroz, xarope de glucose, coco em pó, sal, aromas, extrato de malte de cevada, caramelo (açúcar, água), farinha de malte de trigo, emulsionante (mono e diglicéridos de ácidos gordos), açúcar caramelizado em pó, antioxidante (extrato rico em tocoferóis)	Energia: 1912 kJ - 456 kcal; Lípidos: 18 g dos quais saturados 7,7 g; Hidratos de carbono: 62 g, dos quais açúcares 22 g; Fibras: 6,6 g; Proteínas: 8,2 g; Sal: 0,42 g,
<i>Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce®</i>	
Flocos de aveia integral (45%), açúcar, frutos secos em proporções variáveis (12%) (amêndoas, avelãs, nozes pécan, castanhas do Brasil), óleo de girassol (alto valor de ácido oleico) (9%), flocos de milho (7%) (milho, açúcar, sal, antioxidante (extrato rico em tocoferóis), vitaminas (B3, B5, B8, B1, B2, B6, B12, B9), ferro), farinha de trigo (6%), flocos de arroz torrado (5%) (arroz, açúcar, extrato de malte de cevada, sal), fibra de aveia, xarope de melado de cana, sal, aroma.	Energia: 1955 kJ - 467 kcal; Lípidos: 20 g dos quais saturados 2,1 g; Hidratos de carbono: 58 g, dos quais açúcares 18 g; Fibras: 7,6 g; Proteínas: 10 g; Sal: 0,20 g.

A marca comercial *Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce®*, tem um alto teor de aveia integral (45%) e uma boa quantidade de frutos secos (12%), referente à presença de amêndoas, avelãs, nozes pécan e castanhas do Brasil, o que pode ser interessante para quem procura uma maior variedade de nutrientes e gordura saudável (menor teor de ácidos gordos saturados). Tal como o produto comercial anterior, o produto *Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce* também apresenta óleo de girassol, além de açúcar e xarope de melado de cana na sua constituição, que explicam os maiores teores de lípidos e de açúcares determinados para este produto em relação ao primeiro produto comercial.

4.1.1. Constituintes individuais das amostras de muesli comerciais

Os diferentes constituintes de cada muesli foram separados com o objetivo de calcular a percentagem de cada um dos ingredientes, conforme representado nas Figuras 5 e 6.



Figura 5. Componentes presentes nas amostras de muesli comerciais: **A)** *Alpen (azul) Swiss Style Muesli*; **B)** *Crunchy Muesli Frutos Pingo Doce*; e **C)** *Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce*.

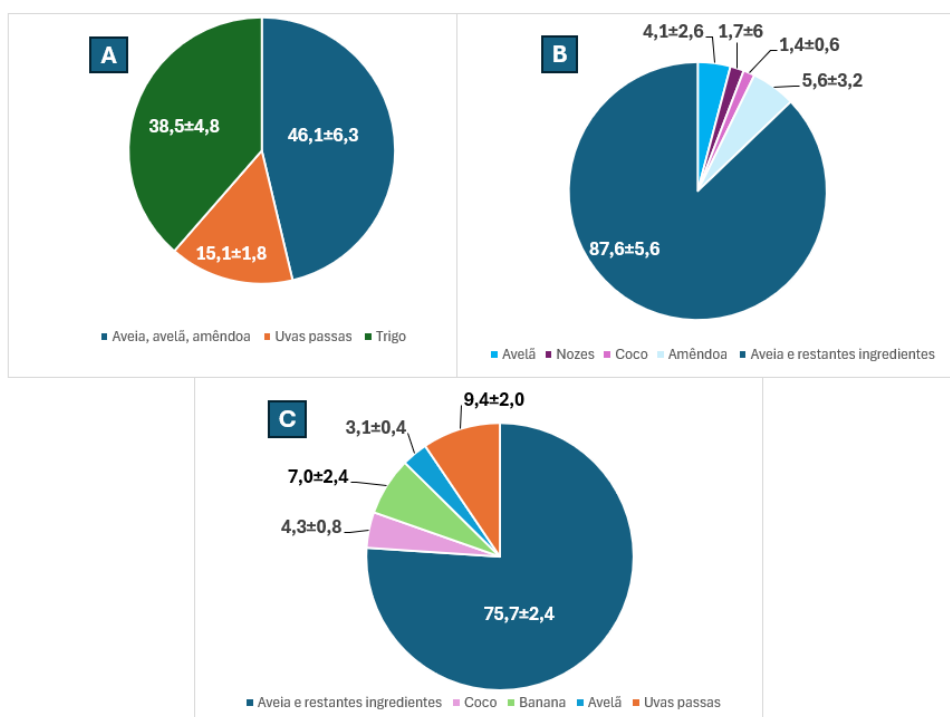


Figura 6. Percentagens dos diferentes componentes presentes nas amostras de muesli comerciais: **A)** *Alpen (azul) Swiss Style Muesli*; **B)** *Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce*; e **C)** *Crunchy Muesli Frutos Pingo Doce*.

Considerando a marca comercial *Alpen Swiss Style Muesli*®, apenas a uva passa apresentou um valor igual ao observado no rótulo, igual a 15%. Já o trigo integral apresentou um valor médio igual a 38,5%, estando um pouco abaixo do valor indicado no rótulo da embalagem (43%), bem como os flocos de aveia integral, avelã e amêndoa, que apresentaram um valor médio de 46,1%, um pouco acima do mencionado no rótulo (aveia integral - 37%, restantes ingredientes - 2%). Este resultado pode dever-se ao facto

de ser difícil proceder à separação desses ingredientes (aveia, avelã, amêndoa e restantes ingredientes), podendo causar variabilidade nos valores.

A marca comercial *Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce*®, apresentou percentagens médias de 4,1% de avelã, 1,7% de nozes, 1,4% de coco, 5,6% de amêndoa e 87,6% de aveia e restantes ingredientes. Portanto, para os frutos secos, considerando a avelã, nozes e amêndoa, no presente trabalho obteve-se um valor médio igual a 11,4%, valor bastante próximo ao indicado no rótulo (12%). Já a aveia (87,6%) apresentou um valor bastante diferente do mencionado no rótulo (45%), possivelmente devido à dificuldade de se separar a aveia dos restantes ingredientes, como flocos de milho, farinha de trigo, flocos de arroz torrado e fibra de aveia.

A marca comercial *Crunchy Muesli Frutas Pingo Doce*®, mostrou uma percentagem de 9,4% de uvas passas, sendo muito próximo ao valor indicado no rótulo (9,2%); 3,1% de avelã, um pouco acima do valor rotulado (2,1%); 7,0% de banana, superior ao valor mencionado no rótulo (4%); 4,3% de coco, valor muito próximo do rotulado (4,5%); e 75,7% para a aveia e restantes ingredientes. No rótulo, a aveia só é indicada a 42%, no entanto, tal como indicado anteriormente, é difícil a sua separação face a outros ingredientes presentes neste produto, tais como o açúcar, farinha de trigo, flocos de trigo, semolina de arroz, e coco em pó.

A separação dos ingredientes das diferentes marcas (Figura 6) mostrou que os ingredientes como os grãos integrais (aveia e trigo) são os componentes maioritários no muesli, variando entre 75,7 e 87,6%. Já os frutos secos e secados, se encontram em menores percentagens, variando entre 12,8 e 23,8% (neste cálculo só foram considerados os valores indicados nas Figuras 6B e 6C, pois na amostra *Alpen (azul) Swiss Style Muesli* (Figura 6A) não foi possível separar a aveia da avelã e amêndoa). Face a estes resultados, foi decidido estabelecer as seguintes restrições em termos de proporções no desenho experimental de mistura: Aveia - Máximo de 90%, Mínimo 80%; Castanha - Máximo de 10%, Mínimo 0%; e Figo - Máximo de 10%, Mínimo 0%.

4.1.2. Atividade da água dos constituintes de amostras de muesli comerciais

Os resultados obtidos para a atividade da água dos diferentes constituintes presentes nas amostras de muesli comerciais encontram-se descritos na Tabela 6.

Tabela 6. Valores referentes à atividade de água de diferentes constituintes das amostras de muesli comerciais analisadas no presente trabalho.

Marca	Constituintes	Média ± desvio padrão
<i>Alpen (azul) Swiss Style Muesli®</i>	Uvas passas	0,211±0,001
	Trigo	0,176±0,020
	Aveia, avelã, amêndoa	0,194±0,038
<i>Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce®</i>	Coco	0,199±0,006
	Avelã	0,133±0,003
	Nozes	0,255±0,069
	Amêndoa	0,131±0,004
	Aveia e restantes ingredientes	0,072±0,008
<i>Crunchy Muesli Frutas Pingo Doce®</i>	Coco	0,193±0,021
	Avelã	0,199±0,010
	Banana	0,168±0,015
	Uvas passas	0,206±0,001
	Aveia e restantes ingredientes	0,142±0,024

De forma geral, os valores da atividade da água dos três produtos comerciais foram inferiores a 0,26. Em mais detalhe, o produto da marca *Alpen* mostrou uma variação de 0,176 para o trigo e 0,211 para as uvas passas. Em relação ao produto *Crunchy Muesli Frutos Secos Pingo Doce*, observou-se um valor médio mínimo e máximo de 0,072 e 0,255 para a aveia e restantes ingredientes e as nozes, respetivamente. O coco, a avelã e a amêndoa apresentaram valores de atividade da água acima dos 0,130. No produto *Crunchy Muesli Frutas Pingo Doce*, a variação observada foi de 0,142 e 0,206 para a aveia e restantes ingredientes e uvas passas, respetivamente. Os demais ingredientes apresentaram valores médios acima dos 0,168.

Entre os ingredientes das três marcas comerciais, as nozes e as uvas passas apresentaram os maiores valores médios de atividade de água, quando comparado com os restantes ingredientes, indicando uma maior disponibilidade de água livre, o que pode afetar a estabilidade e a conservação do produto. Pelo contrário, a amêndoa e a aveia combinada com outros ingredientes, mostraram valores médios mais baixos, sugerindo uma menor disponibilidade de água e, portanto, apresentando uma maior estabilidade ao longo do tempo de prateleira.

Contudo, os valores de a_w determinados são baixos, sendo inferiores a 0,6, indicando estarmos na presença de produtos microbiologicamente estáveis. No entanto, é sempre importante garantir a aplicação de um tipo de embalagem que permita a estanquicidade, e a não entrada do vapor de água que possa aumentar a atividade da água neste género de produtos. Além disso, valores de atividade de água baixos para os diferentes ingredientes

são cruciais para garantir a textura e o sabor característicos deste tipo de produto, além da sua vida útil.

4.2. Preparação das castanhas a incorporar no muesli

4.2.1. Primeiro Ensaio - Secagem das castanhas inteiras

Em relação ao primeiro ensaio de secagem, na Figura 7 encontram-se apresentadas as castanhas inteiras sujeitas a secagem ao longo do tempo.

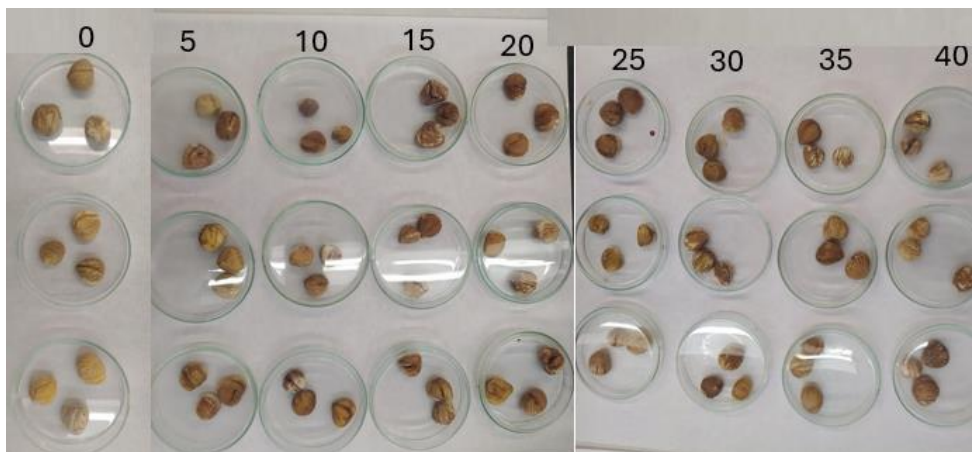


Figura 7. Castanhas inteiras após secagem aos 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 minutos.

Nas Figuras 8A e 8B encontram-se apresentadas a quantidade de água presente na amostra ao longo do tempo de secagem (W) e a velocidade de secagem ($-\frac{dW}{dt}$).

A Figura 8A mostra a curva de diminuição do teor de água presente nas castanhas inteiras ao longo da secagem, apresentando uma diminuição exponencial com o tempo. O modelo teórico representado pela Equação 1 ajustou-se aos dados experimentais (pontos pretos) até ao final da secagem. A equação do modelo obtida foi a seguinte:

$$W = -0,518 + 1,672 \times e^{-0,0189 \times t} \quad [6]$$

O modelo indicado apresentou um valor de $p_{\text{falta de ajuste}}$ igual a 0,064, indicando que a falta de ajuste não era significativa, um MSE igual a 0,00540 e um S igual a 0,0735, ambos os parâmetros próximos de zero, como desejado.

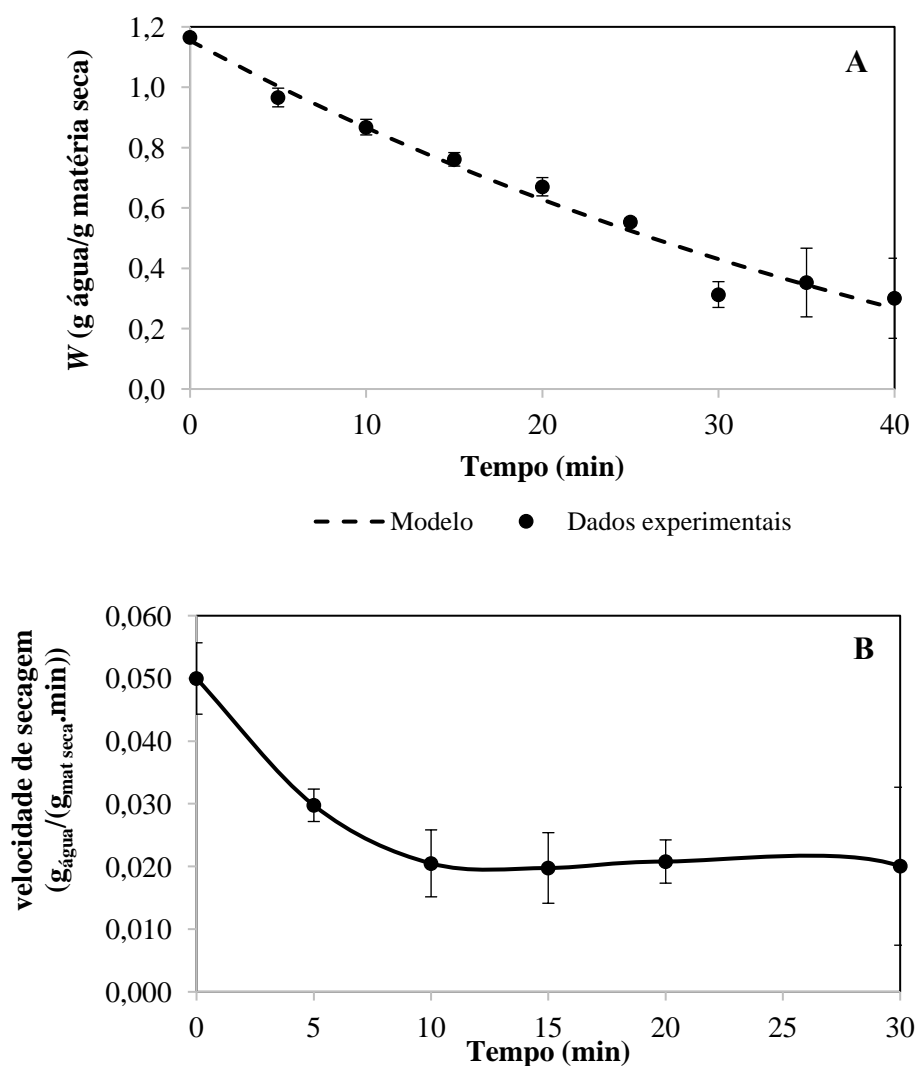


Figura 8. Secagem de castanhas inteiras: A) Quantidade de água presente na amostra ao longo do tempo de secagem (W , g_{água}/g_{matéria seca}); e B) Velocidade de secagem (g_{água} / (g_{matéria seca}·min)).

Ao analisar os erros (Figura 9) verificou-se que no gráfico da probabilidade normal de resíduos, os valores estão distribuídos sobre a linha reta e os resíduos estão na sua maioria distribuídos de forma aleatória em torno do valor zero. Contudo, verificou-se que nas determinações referentes aos maiores tempos de secagem, 35 e 40 minutos, os erros são mais significativos, devido ao facto dos valores de W serem já baixos.

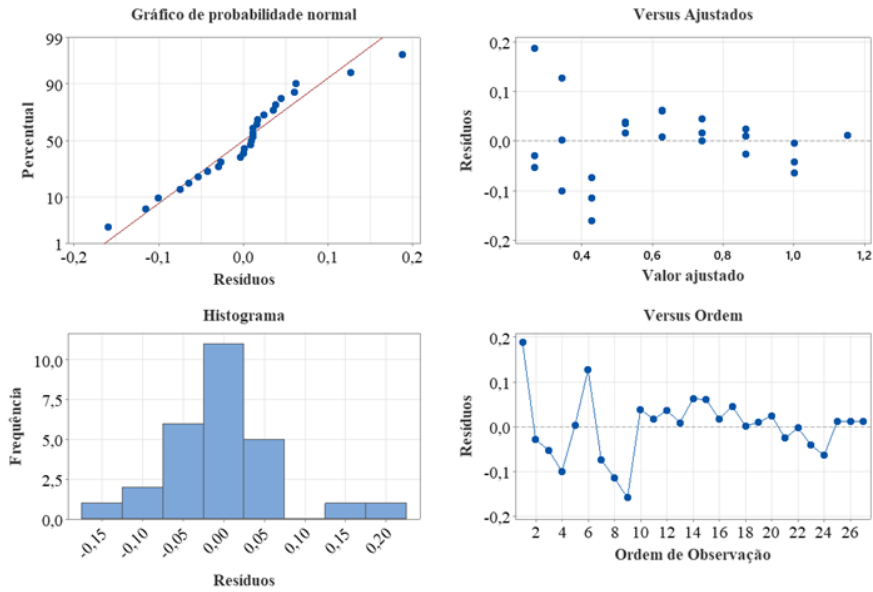


Figura 9. Gráficos referentes à análise de resíduos da função W versus tempo relativa à Equação 6.

Como o y_0 deu um valor negativo, considerou-se nos cálculos posteriores que o W_e fosse igual a zero. Ainda se determinou um novo modelo, retirando o parâmetro y_0 , passando a equação a ter o seguinte formato:

$$W = a \times e^{-bt} \quad [7]$$

A equação obtida foi a seguinte:

$$W = 1,182 \times e^{-0,0335 \times t} \quad [8]$$

Contudo, para essa equação o valor de $p_{falta\ de\ ajuste}$ já foi igual a 0,044, indicando que a falta de ajuste já foi significativa, e apresentando um MSE igual a 0,00580 e um S de 0,0761, valores superiores aos obtidos no modelo anterior. Assim, o modelo da Equação 6 ajustou-se de forma mais adequada aos dados experimentais do que o referente à Equação 8.

A Figura 8B representa a curva da velocidade de secagem da castanha em função do tempo, identificando-se um período de velocidade decrescente nos primeiros 10 minutos. A velocidade no tempo inicial atingiu o valor máximo, igual a $0,050 \pm 0,006$ $\text{g}_{\text{água}}/(\text{g}_{\text{matéria\ seca}} \cdot \text{min})$, baixando continuamente até aos 10 minutos. Estes resultados indicam que o processo de secagem das castanhas inteiras é mais rápido no início, quando há mais água disponível para evaporação, e se torna mais lento à medida que a quantidade

de água presente no produto diminui, resultado da dificuldade da água migrar do centro do fruto para a superfície.

Na Figura 10 encontram-se representados os valores de MR versus tempo, estando na Tabela 7 apresentadas as equações calculadas para vários modelos de secagem, apresentando-se os valores de $p_{falta\ de\ ajuste}$, MSE e S . As linhas relativas aos modelos de secagem indicados na Tabela 7 encontram-se representadas também na Figura 10.

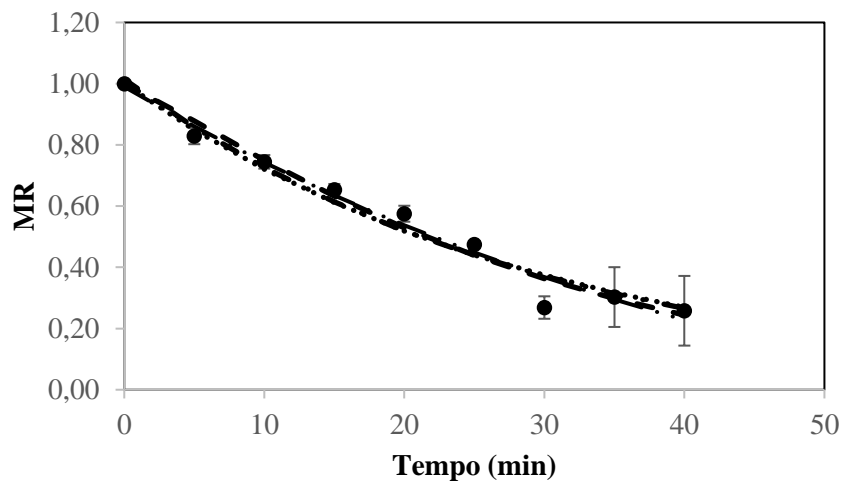
Todos os modelos testados apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, com exceção dos Modelos Henderson & Pabis, *Two-term* e Henderson & Pabis Modificado pelo facto de apresentarem valores de $p_{falta\ de\ ajuste}$ significativos ($<0,05$). Pelo contrário, de entre os modelos com valores de $p_{falta\ de\ ajuste}$ não significativos, o modelo de Wang & Singh foi aquele que apresentou o menor MSE (0,00379) e S (0,0616), seguido do Modelo Logarítmico ($MSE = 0,00398$ e $S = 0,0631$), apresentando maior precisão.

Os modelos *Two-term* e Henderson & Pabis Modificados, que apresentam maior complexidade devido à inclusão de múltiplos expoentes, apresentaram faltas de ajuste significativas, sugerindo não ser os mais adequados aos dados experimentais obtidos.

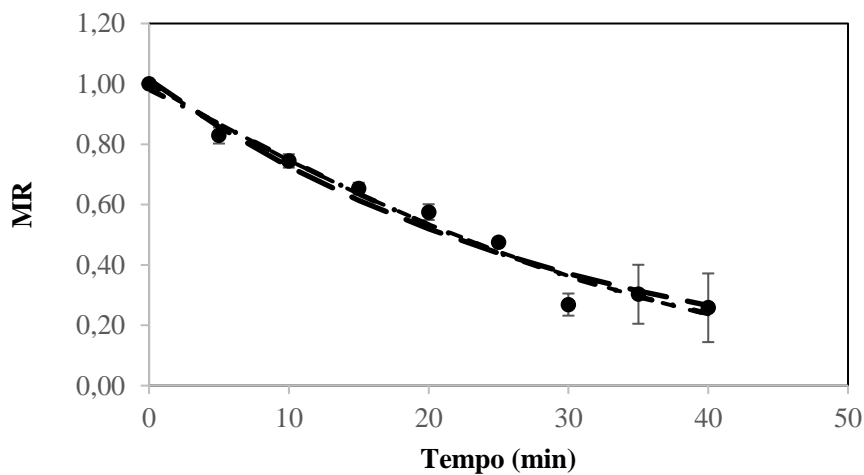
Mesmo tendo em conta os factos acima descritos, ao observar a Figura 10, todos os modelos seguem um padrão de decaimento da MR ao longo do tempo de secagem idêntico, aproximando-se de forma muito satisfatória aos dados experimentais.

Tabela 7. Modelos matemáticos de secagem aplicados à desidratação da castanha inteira.

Modelo e equação teórica	Equação calculada	<i>P</i> falta de ajuste	MSE	S
Lewis $MR = e^{-kt}$	$MR = e^{-0,0328t}$	0,061	0,00415	0,0644
Page $MR = e^{-kt^n}$	$MR = e^{-0,0258t^{1,146}}$	0,081	0,00448	0,0669
Henderson & Pabis $MR = a \times e^{-kt}$	$MR = 1,014e^{-0,0335t}$	0,044	0,00427	0,0653
Logarítmico $MR = a \times e^{-kt} + c$	$MR = 1,434e^{-0,0189t} - 0,444$	0,064	0,00398	0,0631
Two-term $MR = a \times e^{-k_0t} + b \times e^{-k_1t}$	$MR = 0,292e^{-0,0335t} + 0,722e^{-0,0335t}$	0,017	0,00464	0,0681
Henderson & Pabis Modificado $MR = a \times e^{-kt} + b \times e^{-gt} + c \times e^{-ht}$	$MR = -2,854 \times e^{-0,0634t} + 1,920 \times e^{-0,0530t} + 1,916 \times e^{-0,0525t}$	0,012	0,00454	0,0673
Wang & Singh $MR = 1 + a \times t + b \times t^2$	$MR = 1 - 0,0274 \times t + 0,000208 \times t^2$	0,100	0,00379	0,0616



● Dados experimentais Lewis
 - - Page - · - Henderson & Pabis
 - · · Logaritmica



● Dados experimentais - - - Wang and Singh
 - · - Modified Henderson & Pabis - - Two Term

Figura 10. Valores de MR ao longo do tempo de secagem com as linhas relativas a vários modelos matemáticos de secagem.

4.2.1.1. Cor exterior do tegumento sem a película (castanha inteira)

No que se refere à cor externa das castanhas inteiras sujeitas a secagem no primeiro ensaio (Figura 11), verificou-se que os valores médios da luminosidade (L^*) variaram entre 40 e 55 (Figura 11A), apresentando alguma variabilidade. Contudo não se observaram diferenças significativas entre os tempos de secagem. Pelo contrário, para o parâmetro a^* (Figura 11B) observou-se um aumento para os tempos maiores, principalmente aos 35 e 40 minutos, com diferenças significativas face aos primeiros

tempos, sugerindo que a castanha foi adquirindo uma cor externa mais avermelhada ao longo da secagem, possivelmente devido a ocorrência de Reações de Maillard.

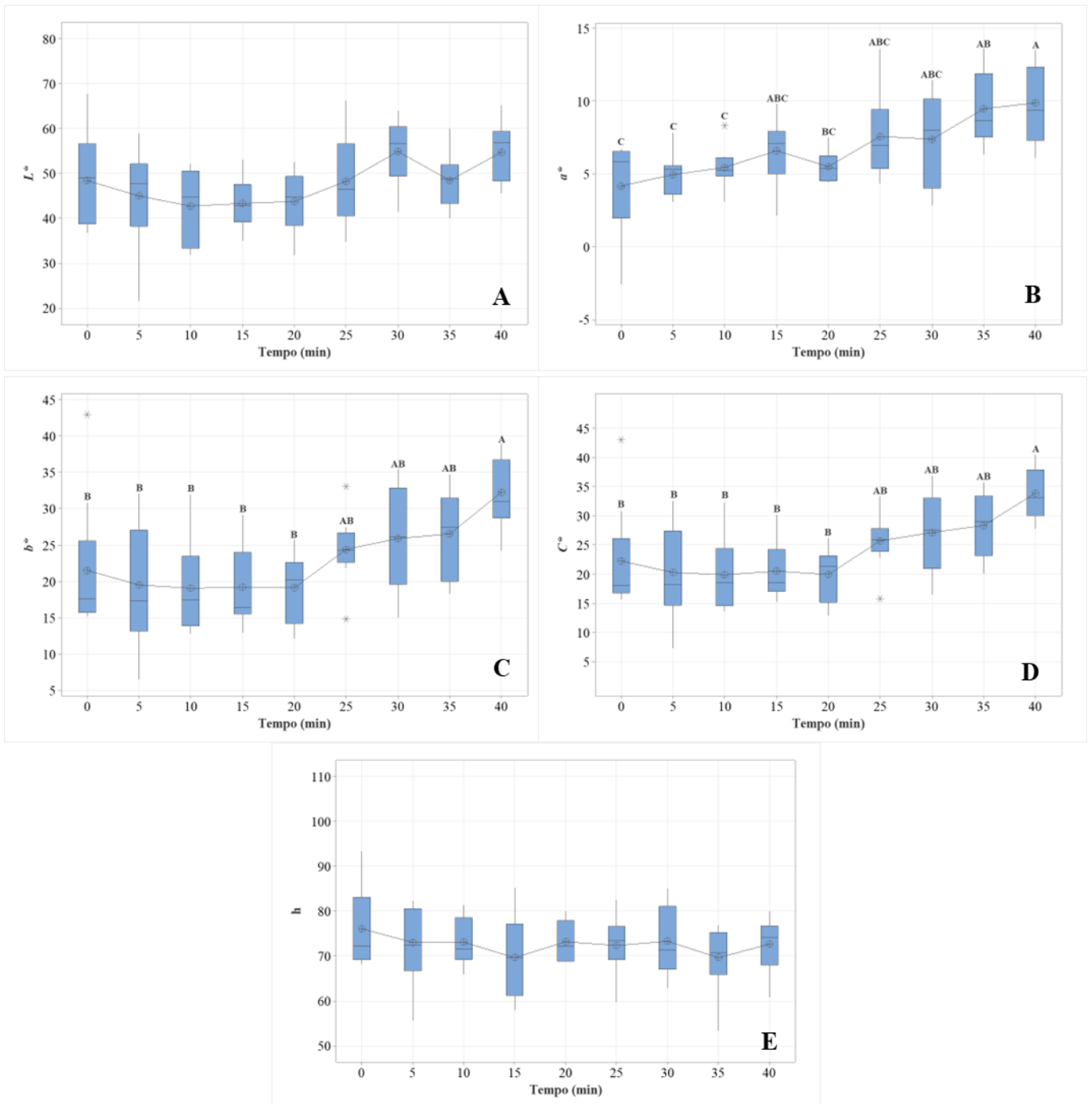


Figura 11. Parâmetros da cor avaliados na parte externa do tegumento ao longo da secagem das castanhas inteiras.

Para o parâmetro b^* (parâmetro que mede os tons amarelados (valores positivos) e azulados (valores negativos)) (Figura 11C), verificou-se que este foi predominante face ao a^* , resultado dos maiores valores do b^* . Além disso, as castanhas foram adquirindo

uma tonalidade mais amarelada à medida que foram desidratando. Contudo, só aos 40 minutos se observaram diferenças significativas face aos primeiros 20 minutos. A intensidade da cor avaliada pelo parâmetro C^* (Figura 11D) também aumentou com o tempo de secagem, principalmente após 20 minutos de desidratação. No entanto, mesmo com estas variações, não se observaram diferenças significativas entre os valores de tonalidade, avaliados pelo parâmetro h .

4.2.1.3. Cor interior do tegumento sem a película

No que se refere à cor interna das castanhas desidratadas no primeiro ensaio (Figura 12), verificou-se que a luminosidade (L^*) apresentou um valor inicial elevado (em torno de 56) e diminuiu para os 43 e 46 (Figura 12A), principalmente aos 30 e 35 minutos, respetivamente, indicando o escurecimento do fruto. Contudo, aos 40 minutos não se observaram diferenças significativas face ao tempo zero. No entanto, no tempo de 40 minutos se observou uma maior variabilidade nos valores, indicando que o interior dos frutos apresentou distintos valores de luminosidade, possivelmente resultado do tratamento térmico ou da própria cor do tegumento.

Em relação ao parâmetro a^* (Figura 12B), observou-se uma variação considerável ao longo do tempo de secagem, iniciando em valores médios próximos de zero e aumentando entre 2,5 e 5,0, indicando o aparecimento de alguns tons mais avermelhados ao longo da secagem. Contudo, como a amostra inicial apresentou uma grande variabilidade de valores, não foi possível identificar diferenças significativas entre o início e o final da secagem. Em relação aos valores obtidos no exterior do fruto (Figura 11B), esses valores foram superiores aos determinados no interior, indicando que o exterior adquiriu tons mais avermelhados do que o interior.

O parâmetro b^* (Figura 12C) permaneceu relativamente estável, com pequenas flutuações, ao contrário do observado no exterior (Figura 11C), onde o amarelecimento do exterior foi mais evidente, tal como era esperado.

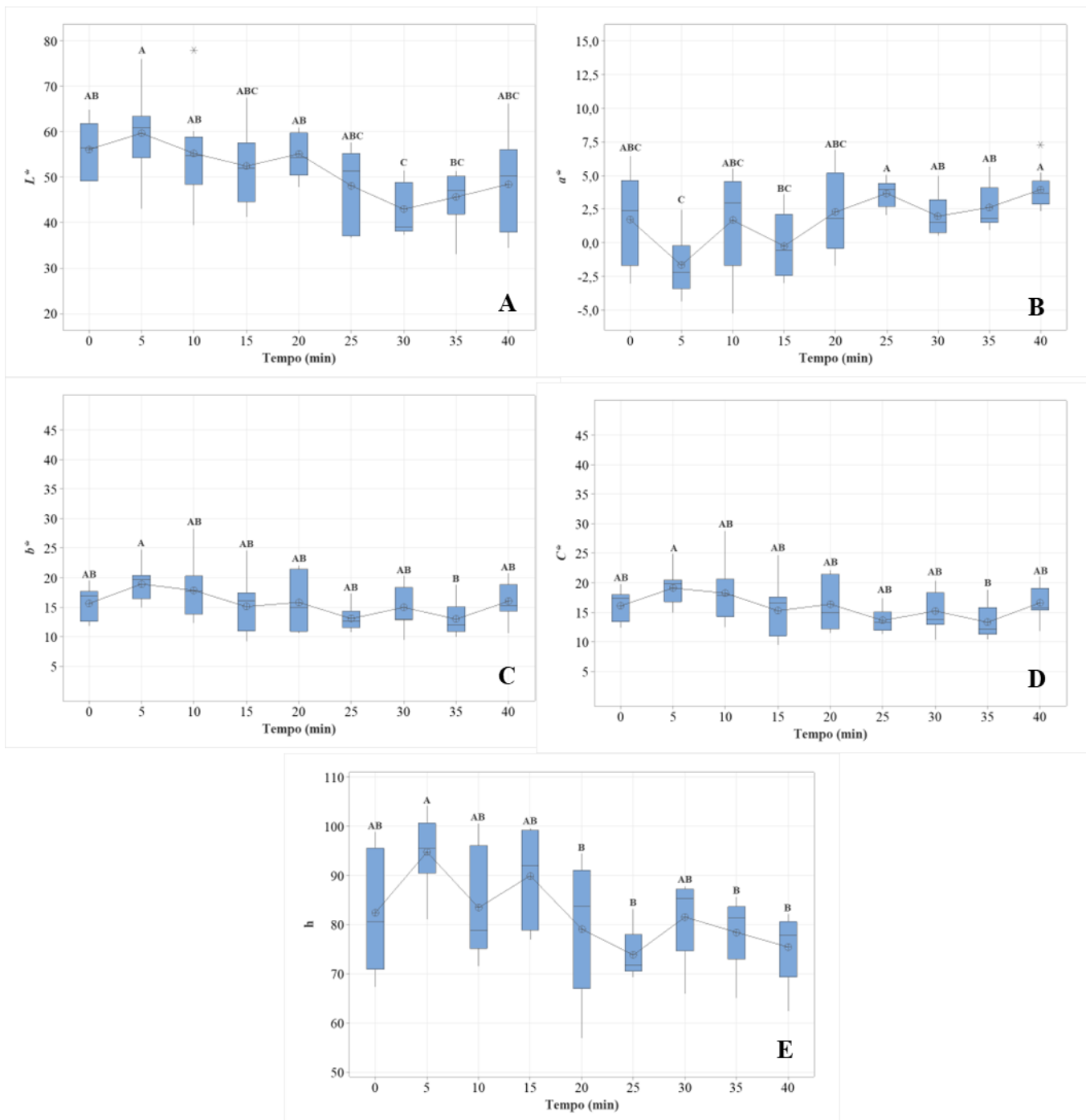


Figura 12. Parâmetros da cor avaliados na parte interna do tegumento ao longo da secagem das castanhas inteiras.

Para a intensidade da cor (C^*) (Figura 12D), observaram-se resultados similares ao do parâmetro b^* mantendo-se os valores médios no intervalo de aproximadamente de 12 a 19 ao longo do tempo, e inferiores ao observado no exterior. Já a tonalidade da cor (h) (Figura 12E) mostrou uma diminuição ligeira ao longo do tempo de secagem. Contudo, tal como já indicado anteriormente, resultado da maior variabilidade observada no tempo zero, não se observaram diferenças significativas entre o início e os 40 minutos.

4.2.1.3. Atividade da água

Os valores referentes à atividade da água ao longo do tempo encontram-se apresentados na Figura 13. Observou-se um valor de a_w elevado no início da secagem ($0,913 \pm 0,006$), indicando um alto nível de água disponível para o desenvolvimento microbiano. Só após 30 minutos, se observou um decréscimo para $0,784 \pm 0,037$. Contudo, o valor permaneceu acima dos 0,7, mesmo após 40 minutos de secagem.

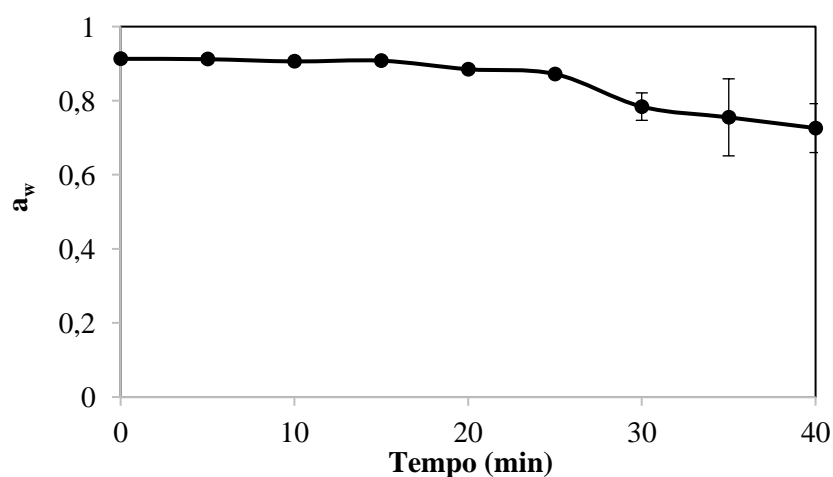


Figura 13. Valores referentes à atividade de água obtidos durante a secagem das castanhas inteiras.

4.2.2. Segundo Ensaio - Secagem das castanhas partidas

Tendo em conta os resultados anteriores da atividade da água, decidiu-se proceder à secagem da castanha já partida antes de iniciar a secagem. Na Figura 14 apresentam-se as castanhas partidas após a secagem por distintos tempos de secagem.

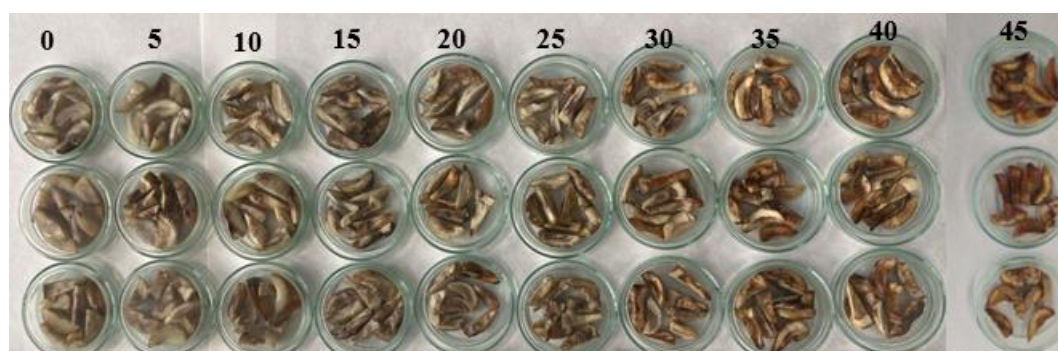


Figura 14. Aparência geral das castanhas partidas ao longo da secagem.

Nas Figuras 15A e 15B encontram-se apresentadas a quantidade de água presente na amostra ao longo do tempo de secagem (W) e a velocidade de secagem ($-\frac{dW}{dt}$).

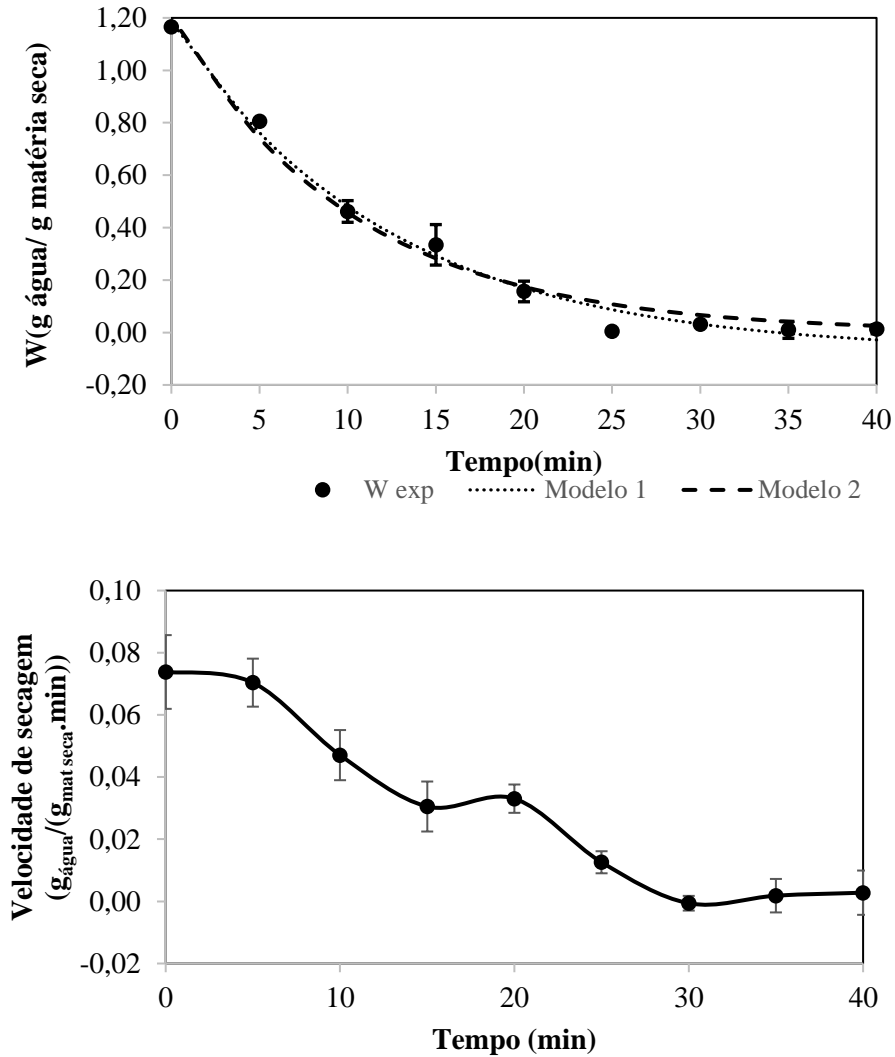


Figura 15. Secagem de castanhas partidas: A) Quantidade de água presente na amostra ao longo do tempo de secagem (W , g_{água}/g_{matéria seca}); e B) Velocidade de secagem (g_{água} / (g_{matéria seca}.min)).

A Figura 15A mostra a curva de diminuição do teor de água presente nas castanhas partidas ao longo da secagem, observando-se novamente uma diminuição exponencial com o tempo. O modelo teórico, representado pela Equação 1, ajustou-se aos dados experimentais (pontos a preto) até ao final da secagem. A equação do modelo obtida foi a seguinte:

$$W = -0,0761 + 1,262 \times e^{-0,0818 \times t} \quad [9]$$

O modelo indicado apresentou um valor de $p_{falta\ de\ ajuste}$ igual a 0,002, indicando que a falta de ajuste era significativa. Contudo, o MSE foi igual a 0,00257 e o S igual a 0,0507, ambos os parâmetros próximos de zero, como desejado.

Como o y_0 deu um valor negativo, considerou-se retirar o parâmetro y_0 nos cálculos posteriores, passando a equação a ter o formato indicado na Equação 7 e sendo igual à Equação 10:

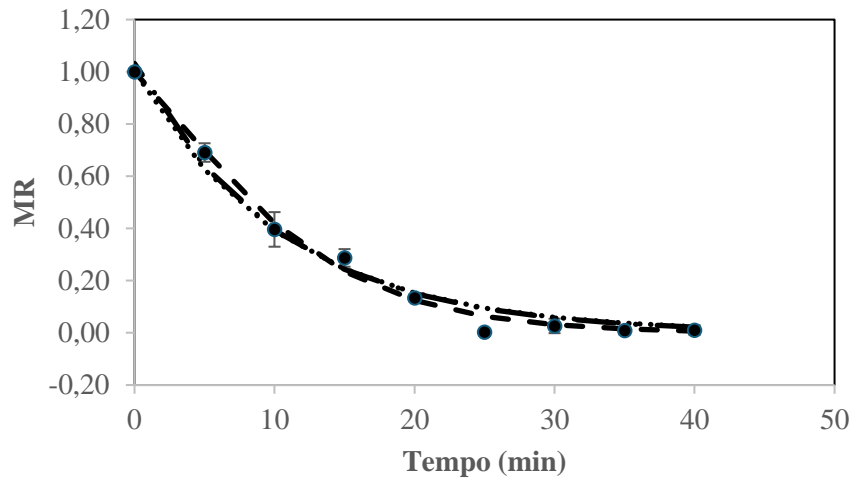
$$W = 1,202 \times e^{-0,0965 \times t} \quad [10]$$

Contudo, para essa equação o valor de $p_{falta\ de\ ajuste}$ foi igual a 0,000 ($< 0,001$), indicando que a falta de ajuste continuou a ser significativa. O MSE foi igual a 0,00346 e o S a 0,0589, valores superiores aos obtidos no modelo anterior. Mesmo que ambos os modelos pareceram ajustar-se de forma adequada aos dados experimentais (Figura 15), o modelo da Equação 9 ajustou-se de forma mais adequada aos dados experimentais do que o referente à Equação 10.

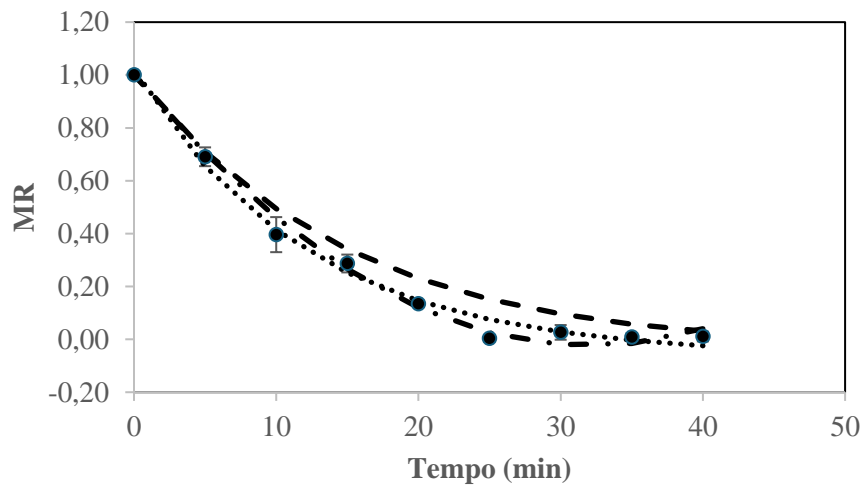
A Figura 15B representa a curva da velocidade de secagem da castanha em função do tempo, identificando-se um pequeno período de velocidade constante em torno dos 0,07 $\text{g}_{\text{água}}/(\text{g}_{\text{matéria\ seca}} \cdot \text{min})$ durante aproximadamente 5 minutos, resultado do teor elevado de água presente nas amostras. De seguida, observaram-se dois períodos de velocidade decrescente, o primeiro até aos 15 minutos e o seguinte dos 20 a 30 minutos. Este comportamento pode dever-se a alterações no amido, constituinte maioritário da castanha. Os valores de velocidade obtidos com a castanha partida foram superiores aos determinados com a castanha inteira, tal como seria esperado, pois a velocidade de saída da água será superior quando o fruto se encontra em pequenas porções pelo facto de se aumentar a área de transferência de massa.

Na Figura 16 encontram-se representados os valores de MR versus tempo, estando na Tabela 8 apresentadas as equações calculadas para vários modelos de secagem, apresentando-se os valores de $p_{falta\ de\ ajuste}$, MSE e S . As linhas relativas aos modelos de secagem indicados na Tabela 8 encontram-se representadas também na Figura 16.

Todos os modelos apresentaram valores de $p_{falta\ de\ ajuste}$ significativos ($< 0,05$). Contudo, os modelos de Page e Wang & Singh foram aqueles que apresentaram os menores MSE (0,00170 e 0,00173) e S (0,0412 e 0,0416), respetivamente, ajustando-se de forma adequada aos dados experimentais.



● Dados Exp Lewis - - Page - · - Henderson & Pabis



● Dados Exp Logarítmico - - Two-term - · - Wang & Singh

Figura 16. Valores de MR ao longo do tempo de secagem de castanhas partidas com as linhas relativas a vários modelos matemáticos de secagem.

Tabela 8. Modelos matemáticos de secagem aplicados à desidratação da castanha partida.

Modelo e equação teórica	Equação calculada	<i>P</i> falta de ajuste	<i>MSE</i>	<i>S</i>
Lewis $MR = e^{-kt}$	$MR = e^{-0,0940t}$	<0,001	0,00260	0,0510
Page $MR = e^{-kt^n}$	$MR = e^{-0,0473t^{1,264}}$	0,022	0,00170	0,0412
Henderson & Pabis $MR = a \times e^{-kt}$	$MR = 1,032e^{-0,0965t}$	<0,001	0,00255	0,0505
Logarítmico $MR = a \times e^{-kt} + c$	$MR = 1,083e^{-0,0818t} - 0,0653$	0,002	0,00189	0,0435
Two-term $MR = a \times e^{-k_0t} + b \times e^{-k_1t}$	$MR = 13,540e^{-0,0496t} - 12,538e^{-0,0481t}$	<0,001	0,00826	0,0909 ²
Henderson & Pabis Modificado $MR = a \times e^{-kt} + b \times e^{-gt} + c \times e^{-ht}$	—	—	—	— ³
Wang & Singh $MR = 1 + a \times t + b \times t^2$	$MR = 1 - 0,0640 \times t + 0,00100 \times t^2$	0,006	0,00173	0,0416

² Algumas estimativas dos parâmetros estão altamente correlacionadas. Os parâmetros devem ser reduzidos para reduzir colinearidades.

³ Não foi possível estimar este modelo.

4.2.2.1. Cor da castanha partida

Os valores referentes aos parâmetros de cor obtidos no segundo ensaio relativo às castanhas partidas encontram-se apresentados na **Figura 17**. A luminosidade (L^*) (Figura 17A) permaneceu praticamente constante até os 30 minutos (variando os valores médios entre 54 e 58), seguindo-se uma queda bastante pronunciada no valor da luminosidade aos 35 e 40 minutos, atingindo-se o valor final de $36,1 \pm 4,7$, indicando que a castanha escureceu com a secagem.

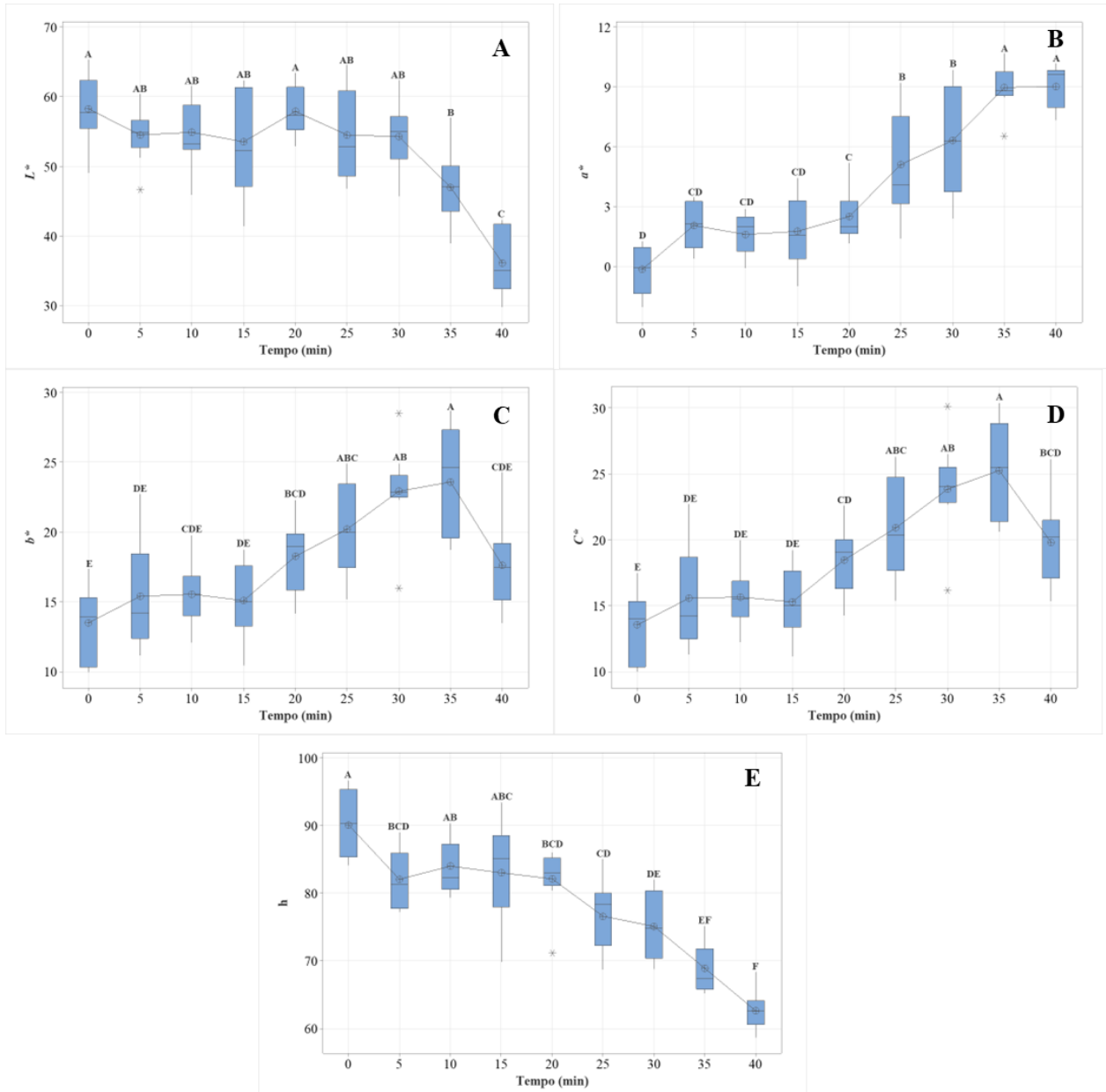


Figura 17. Parâmetros da cor avaliados ao longo da secagem das castanhas partidas.

Em relação ao parâmetro a^* (Figura 17B), este mostrou um aumento progressivo da proporção de vermelho em relação ao verde ao longo do tempo de secagem, especialmente após 20 minutos, indicando uma mudança de cor possivelmente devido a um processo de oxidação ou da ocorrência de Reações de Maillard que possam favorecer a tonalidade vermelha. Em relação ao parâmetro b^* (Figura 17C), tal como nas castanhas inteiras demonstrou ter um peso mais importante do que o a^* , observando-se um aumento ao longo do tempo de secagem, principalmente entre os 15 e os 35 minutos. Para a intensidade da cor (C^*) (Figura 17D), também se observou uma tendência crescente até cerca dos 35 minutos, diminuindo aos 40 minutos. Quanto à tonalidade da cor (h) (Figura 17E), observou-se um decréscimo após os 25 minutos, sugerindo que a castanha começou a mudar de cor de forma mais significativa.

4.2.2.2. Atividade da água

Os valores referentes à atividade da água ao longo do tempo do segundo ensaio encontram-se apresentados na Figura 18. Inicialmente, a a_w começou em torno de $0,962 \pm 0,008$, o que indica um elevado valor de água disponível para os microrganismos. A partir dos 10 minutos, observou-se uma redução gradual da atividade de água até aproximadamente 25 minutos, momento em que a curva começa a decrescer de forma mais acentuada. Aos 40 minutos, um valor médio de $0,540 \pm 0,015$ foi observado. Na Figura 18 também se representou o ponto referente à atividade da água de 0,6, pois abaixo deste valor não se observa proliferação microbiana (Beuchat, 1981). Decidiu-se no ensaio seguinte aplicar uma secagem de 40 minutos.

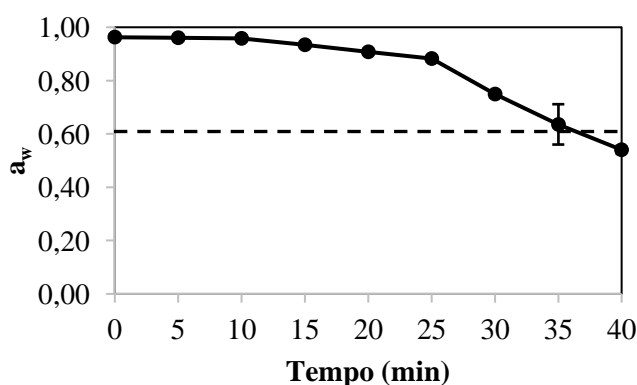


Figura 18. Valores referentes à atividade de água do 2º Ensaio (Secagem das castanhas partidas).

4.3. Desenho Experimental da Mistura - Elaboração de diferentes preparações de muesli

Na Figura 19 são apresentadas as diferentes formulações de muesli de castanha elaboradas no presente trabalho, com as proporções determinadas pelo desenho experimental de mistura. Em termos visuais foi possível observar diferenças entre as diversas formulações.

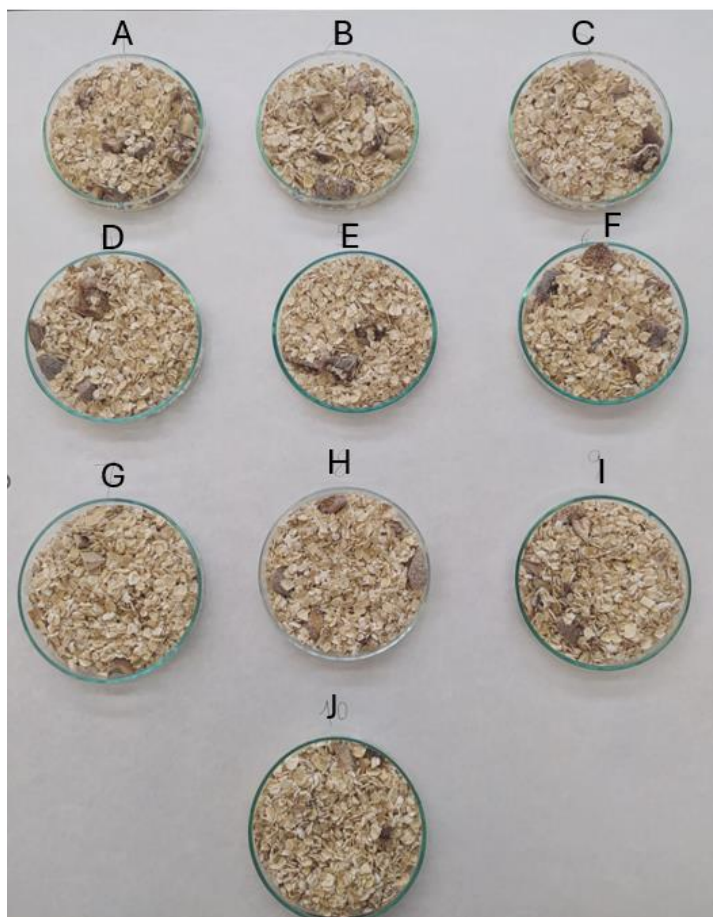


Figura 19. Diferentes formulações de muesli de castanha elaboradas no presente trabalho: **A)** 80,00% aveia, 10,00% castanha e 10,00% figo; **B)** 85,00% aveia, 5,00% castanha e 10,00% figo; **C)** 90,00% aveia, 5,00% castanha e 5,00% figo; **D)** 90,00% aveia, 0% castanha e 10,00% figo; **E)** 88,33% aveia, 3,33% castanha e 8,33% figo; **F)** 88,33% aveia, 8,33% castanha e 3,33% figo; **G)** 86,67% aveia, 6,67% castanha e 6,67% figo; **H)** 85,00% aveia, 10,00% castanha e 5,00% figo; **I)** 83,33% aveia, 8,33% castanha e 8,33% figo; **J)** 90,00% aveia, 10,00% castanha e 0% figo.

4.3.1. Cor e atividade da água nas diferentes formulações de muesli de castanha

Os valores referentes aos parâmetros de cor instrumental (L^* , a^* , b^* , C^* e h) e atividade de água (a_w) das dez formulações de muesli preparadas no presente trabalho, com diferentes proporções de aveia, castanha e figo, encontram-se apresentados na **Tabela 9**.

Tabela 9. Valores (média \pm desvio padrão) referentes aos parâmetros de cor instrumental e da atividade da água das dez formulações de muesli analisadas no presente trabalho.

Formulação	Aveia	Castanha	Figo	L*(C)	a*(C)	b*(C)	C*(C)	h(C)	a _w
1	80,00	10,00	10,00	73,4 \pm 9,1	2,1 \pm 1,2	12,5 \pm 1,6	12,7 \pm 1,7	80,6 \pm 4,7	0,607 \pm 0,002 ^{a,b,c}
2	85,00	5,00	10,00	76,1 \pm 4,5	2,0 \pm 0,8	16,2 \pm 0,4	16,3 \pm 0,3	83,0 \pm 3,0	0,636 \pm 0,014 ^a
3	90,00	5,00	5,00	76,9 \pm 2,4	1,9 \pm 1,0	16,4 \pm 0,5	16,6 \pm 0,6	83,4 \pm 3,0	0,616 \pm 0,018 ^{a,b}
4	90,00	0,00	10,00	76,2 \pm 3,0	2,2 \pm 1,0	15,7 \pm 3,6	15,8 \pm 3,7	82,5 \pm 1,9	0,618 \pm 0,009 ^{a,b}
5	88,33	3,33	8,33	69,3 \pm 7,3	3,2 \pm 1,2	17,3 \pm 1,9	17,6 \pm 1,7	79,1 \pm 5,2	0,619 \pm 0,004 ^{a,b}
6	88,33	8,33	3,33	74,6 \pm 2,0	2,5 \pm 0,6	16,3 \pm 3,1	16,5 \pm 3,1	81,2 \pm 1,4	0,631 \pm 0,006 ^a
7	86,67	6,67	6,67	74,4 \pm 4,2	2,2 \pm 0,3	16,3 \pm 3,3	16,4 \pm 3,3	82,1 \pm 0,8	0,571 \pm 0,005 ^{b,c,d}
8	85,00	10,00	5,00	76,8 \pm 2,9	1,5 \pm 0,4	14,1 \pm 1,8	14,1 \pm 1,8	84,0 \pm 1,2	0,588 \pm 0,019 ^{a,b,c}
9	83,33	8,33	8,33	71,0 \pm 5,5	2,5 \pm 0,4	17,5 \pm 1,5	17,7 \pm 1,6	82,0 \pm 1,0	0,528 \pm 0,042 ^d
10	90,00	10,00	0,00	71,4 \pm 5,3	2,8 \pm 1,0	17,2 \pm 1,6	17,4 \pm 1,6	80,9 \pm 3,2	0,559 \pm 0,027 ^{c,d}
Valor-p				0,598	0,492	0,217	0,208	0,662	<0,001

Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey (p<0,05).

Não se observaram diferenças estatisticamente significativas para os parâmetros de cor ($p > 0,05$), indicando que as variações nas proporções de ingredientes não afetaram de forma significativa a cor do produto. Estes resultados possivelmente se devem ao facto da aveia, castanha desidratada e figo terem cores idênticas, além da aveia ser sempre o componente maioritário.

A a_w , um indicador crítico de estabilidade e segurança microbiológica dos alimentos, variou em termos de valores médios, entre 0,528 (83,33% aveia, 8,33% castanha, 8,33% figo) a 0,636 (85,00% aveia, 5,00% castanha, 10,00% figo), com diferenças significativas entre si ($p < 0,001$). Estes valores conferem estabilidade aos produtos desenvolvidos, uma vez que os microrganismos patogénicos não podem crescer a valores de atividade da água inferiores a 0,86 e que as leveduras e bolores não podem desenvolver a atividades da água inferiores a 0,62 (Barbosa-Cánovas et al., 2003).

4.3.2. Análise Sensorial

Na Tabela 10 encontram-se descritos os valores (média \pm desvio padrão) dos parâmetros analisados durante a análise sensorial das dez formulações. Para a maior parte dos parâmetros foi solicitado que o provador avaliasse em termos de aceitabilidade. Em algumas situações também foi pedido aos provadores que avaliassem a intensidade do aroma a castanha, da doçura e do sabor a castanha.

A maioria dos parâmetros analisados, como aparência geral, cor, aroma, textura, crocância, sabor e doçura, não apresentaram diferenças significativas entre as formulações (valores- $p > 0,05$). Contudo, a intensidade do aroma de castanha e a intensidade do sabor a castanha mostraram diferenças significativas ($p = 0,004$ e $p = 0,021$, respetivamente), indicando que formulações com maiores quantidades de castanha (como as formulações 6, 7, 8, 9 e 10) foram as que originaram maior perceção desses atributos.

Tabela 10. Valores (média ± desvio padrão) dos parâmetros analisados durante a análise sensorial.

Formulação	Aveia	Castanha	Figo	Aparência geral	Cor	Aroma/cheiro	Intensidade do aroma a castanha	Textura	Crocância	Sabor	Doçura	Intensidade da doçura	Intensidade do sabor a castanha	Apreciação geral
1	80,00	10,00	10,00	7,33±2,45	7,57±1,60	7,76±1,62	1,47±1,32 ^{a,b}	6,86±2,52	3,27±1,53	6,78±1,82	7,37±2,11	3,63±1,95	2,29±2,31 ^{a,b}	6,64±2,40
2	85,00	5,00	10,00	6,97±2,32	7,49±1,65	7,24±1,81	1,39±1,22 ^{a,b}	6,42±0,92	2,91±2,47	6,49±1,39	6,10±2,59	3,49±2,18	1,72±1,66 ^{a,b}	6,06±1,84
3	90,00	5,00	5,00	6,20±1,81	7,52±1,78	7,43±1,69	1,80±1,89 ^{a,b}	6,23±1,98	2,99±2,46	6,30±1,47	6,07±2,10	3,61±2,28	1,84±2,11 ^{a,b}	6,10±2,54
4	90,00	0,00	10,00	6,69±2,50	7,48±1,86	7,31±1,88	0,73±0,90 ^b	5,42±2,13	2,04±2,12	6,59±2,21	6,09±2,47	3,43±1,96	0,73±0,93 ^b	5,48±2,46
5	88,33	3,33	8,33	6,47±2,34	6,97±1,75	6,51±1,74	1,37±1,73 ^{a, b}	5,12±2,33	2,66±2,32	5,66±1,87	5,56±2,85	3,52±2,11	2,02±1,46 ^{a,b}	6,11±1,98
6	88,33	8,33	3,33	7,24±0,87	7,32±1,32	7,44±1,13	3,10±2,91 ^{a, b}	6,84±1,09	3,67±2,26	6,57±1,38	5,86±2,39	3,33±2,54	2,89±2,37 ^{a,b}	7,03±1,52
7	86,67	6,67	6,67	7,37±1,27	7,57±1,14	7,22±1,43	3,89±3,31 ^{a,b}	7,19±1,11	4,09±2,34	7,46±1,29	6,49±2,95	4,60±2,88	3,49±2,63 ^{a,b}	7,40±1,31
8	85,00	10,00	5,00	7,51±0,91	7,66±0,99	6,98±1,21	4,84±3,07 ^a	7,08±1,03	4,57±2,15	7,44±0,94	7,00±1,83	5,02±2,57	4,79±3,06 ^a	7,48±1,33
9	83,33	8,33	8,33	7,36±1,04	7,32±1,18	6,97±1,33	2,81±2,97 ^{a,b}	6,71±1,39	3,63±2,30	6,48±1,73	5,53±2,53	4,40±2,36	2,68±2,94 ^{a,b}	6,61±1,34
10	90,00	10,00	0,00	7,06±1,58	7,38±1,04	6,54±1,11	3,78±2,84 ^{a,b}	6,22±1,02	4,33±2,08	6,07±1,61	5,29±2,74	3,83±2,99	4,01±2,97 ^{a,b}	6,48±1,78
valor-p				0,859	0,997	0,785	0,004	0,167	0,339	0,422	0,766	0,857	0,021	0,451

Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey (p<0,05).

Estes resultados indicam que a quantidade de castanha influencia diretamente a percepção do aroma e sabor a castanha nas formulações, tal como seria esperado, contudo, a sua presença não acarreta necessariamente uma maior valoração em relação a outros parâmetros, tais como aparência geral, textura e sabor, sugerindo que os consumidores classificam de forma idêntica a castanha e o figo seco. Possivelmente são dois produtos que valorizam de forma semelhante.

4.3.3. Modelos de regressão aplicados aos parâmetros físico-químicos e sensoriais

Através dos dados obtidos no desenho experimental foi possível avaliar o ajuste dos dados experimentais aos seguintes modelos:

$$\text{Modelo Linear} \quad \eta = \beta_0 \left(\sum_{i=1}^q x_i \right) + \sum_{i=1}^q \beta_i x_i = \sum_{i=1}^q \beta_i^* x_i \quad [11]$$

$$\text{Modelo Quadrático} \quad \eta = \sum_{i=1}^q \beta_i^* x_i + \sum_{i<j} \sum_j \beta_{ij}^* x_i x_j \quad [12]$$

Modelo Cúbico Especial

$$\eta = \sum_{i=1}^q \beta_i^* x_i + \sum_{i<j} \sum_j \beta_{ij}^* x_i x_j + \sum_{i<j<k} \sum_j \beta_{ijk}^* x_i x_j x_k \quad [13]$$

Modelo Cúbico Completo

$$\eta = \sum_{i=1}^q \beta_i^* x_i + \sum_{i<j} \sum_j \beta_{ij}^* x_i x_j + \sum_{i<j} \sum_j \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{i<j<k} \sum_j \beta_{ijk}^* x_i x_j x_k \quad [14]$$

Modelo Quártico Especial

$$\eta = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i<j} \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i<j<k} \sum_k \beta_{iijk} x_i^2 x_j x_k + \sum_{i<j<k} \sum_k \beta_{ijjk} x_i x_j^2 x_k + \sum_{i<j<k} \sum_k \beta_{ijkk} x_i x_j x_k^2 \quad [15]$$

Modelo Quártico Completo

$$\eta = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i<j} \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i<j} \sum_j \gamma_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{i<j} \sum_j \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j)^2 + \sum_{i<j<k} \sum_k \beta_{iijk} x_i^2 x_j x_k + \sum_{i<j<k} \sum_k \beta_{ijjk} x_i x_j^2 x_k + \sum_{i<j<k} \sum_k \beta_{ijkk} x_i x_j x_k^2 + \sum_{i<j<k<l} \sum_l \beta_{ijkl} x_i x_j x_k x_l \quad [16]$$

Na Tabela 11 encontram-se apresentados os parâmetros que permitem avaliar os diferentes modelos aplicados à a_w , intensidade do aroma a castanha e intensidade do sabor a castanha, propriedades às quais se detetaram diferenças significativas entre si face às dez formulações testadas. No Anexo II encontram-se os modelos determinados para os outros parâmetro.

Tal como seria de esperar, a qualidade dos ajustes das restantes propriedades não foi adequada, apresentando faltas de ajuste significativas (p -falha de ajuste $< 0,05$) e baixos coeficientes de determinação ajustados.

Em relação à a_w , os modelos cúbico completo e quártico especial foram os que se ajustaram melhor aos dados experimentais, uma vez que apresentaram:

- baixos valores de S , iguais a 0,019. O S é medido nas unidades da variável de resposta e representa o quão longe os valores dos dados se encontram dos valores ajustados. Assim, quanto mais baixo for o valor de S , melhor o modelo descreve a resposta;

- R^2 ajustados ($R^2(\text{aj})$) iguais a 74,10%. Este parâmetro é útil quando se deseja comparar modelos com diferentes números de preditores. O R^2 aumenta quando se adiciona um preditor ao modelo, mesmo quando não se observe uma verdadeira melhoria ao modelo. Deste modo, o $R^2(\text{aj})$ incorpora o número de preditores no modelo, ajudando a escolher o mais correto. Como os modelos estudados apresentavam diferentes preditores, optou-se por mostrar só os valores de $R^2(\text{aj})$, em vez do R^2 , para facilitar a comparação entre os diferentes modelos;

- R^2 preditos ($R^2(\text{pred})$) iguais a 61,49%. Este parâmetro permite avaliar o quão o modelo prediz as respostas para novas observações. Os modelos que têm valores de $R^2(\text{pred})$ mais elevados têm melhor capacidade preditiva.

Tabela 11. Análise dos modelos de regressão aplicados à atividade de água e intensidades do aroma e sabor a castanha.

Parâmetro avaliado	Parâmetro do modelo	Linear	Quadrático	Cúbico especial	Cúbico completo	Quártico especial	Quártico completo
a_w	S	0,035	0,036	0,035	0,019	0,019	0,019
	R ² (aj)	11,70%	4,01%	12,90%	74,10%	74,10%	73,15%
	R ² (pred)	1,31%	0,00%	0,00%	61,49%	61,49%	58,33%
	p-falta de ajuste	<0,001	<0,001	<0,001	0,616	0,616	--
Intensidade do aroma a castanha	S	1,30	1,13	1,14	1,13	1,13	1,10
	R ² (aj)	34,83%	50,60%	49,51%	50,51%	50,51%	53,13%
	R ² (pred)	26,69%	38,27%	31,99%	27,76%	27,76%	27,27%
	p-falta de ajuste	0,051	0,295	0,223	0,156	0,156	--
Intensidade do sabor a castanha	S	1,34	1,31	1,34	1,32	1,32	1,33
	R ² (aj)	30,37%	33,41%	30,72%	32,43%	32,43%	31,67%
	R ² (pred)	18,76%	9,07%	1,53%	0,00%	0,00%	0,00%
	p-falta de ajuste	0,416	0,512	0,370	0,392	0,392	--

Na Figura 20 estão representados os gráficos de contorno para a a_w para ambos os modelos – modelo cúbico completo e modelo quártico especial.

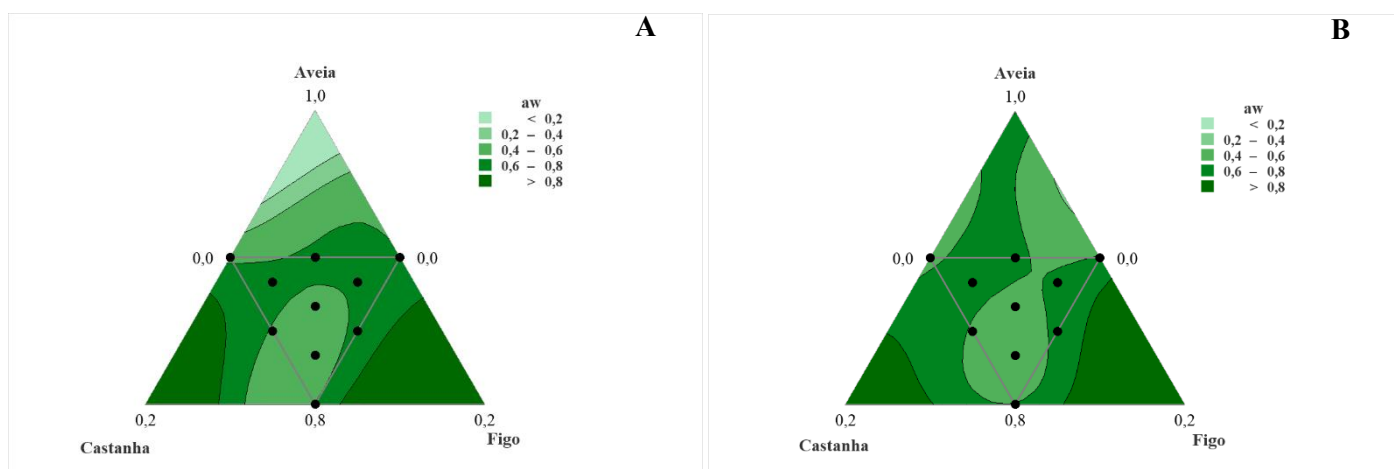


Figura 20. Modelos de regressão ajustados à a_w : (A) Cúbico completo e (B) Quártico especial.

Ambos os modelos apresentaram uma superfície com uma configuração com alguma similaridade na zona de teste (triângulo) e indicam que à medida que se diminui a proporção de aveia ou se aumenta a proporção de castanha e figo, a atividade da água tem tendência a aumentar. Os coeficientes dos modelos obtidos para a a_w encontram-se indicados na Tabela 12. Através dos coeficientes, verificou-se que a aveia apresentou um coeficiente negativo (-0,727) indicando que à medida que esta aumenta a atividade da água diminui. Já para a castanha e o figo, ambos os modelos forneceram coeficientes positivos e maiores para o figo, sugerindo que à medida que este aumenta, a atividade da água também tende a aumentar mais rapidamente do que em relação à castanha. Relativamente aos termos de interação, só a aveia.figo e castanha.figo deram significativos ($p < 0,05$). No modelo cúbico completo, ambos os termos de interação apresentaram coeficientes negativos, indicando que combinações dos dois componentes não agem sinergicamente. Já no modelo quártico especial, o termo de interação castanha.figo deu positivo, indicando sinergia entre os dois componentes. Contudo, este valor deve ser visto com algum cuidado pois os coeficientes dos termos Aveia.Castanha².Figo e Aveia.Castanha.Figo² deram negativos e bastante elevados (valor em módulo) que em parte poderá contrabalançar o termo anterior.

Tabela 12. Coeficientes e valores de p para os modelos escolhidos para a a_w , intensidade do aroma a castanha e intensidade do sabor a castanha.

Parâmetro avaliado	Modelo	Preditor	Coefficiente	Valor-p
a_w	Cúbico completo	Aveia	-0,727	--
		Castanha	294	--
		Figo	1602	--
		Aveia.Castanha	-468	0,295
		Aveia.Figo	-2600	0,000
		Castanha.Figo	-2174	0,000
		Aveia.Castanha.Figo	1191	0,003
		Aveia.Castanha.(Aveia-Castanha)	193	0,289
		Aveia.Figo.(Aveia-Figo)	1043	0,000
	Quártico especial	Aveia	0,817	--
		Castanha	41,3	--
		Figo	118,3	--
		Aveia.Castanha	-47,9	0,202
		Aveia.Figo	-132,7	0,001
		Castanha.Figo	8527	0,000
		Aveia ² .Castanha.Figo	-8074	0,000
Aveia.Castanha ² .Figo		-21516	0,000	
Aveia.Castanha.Figo ²		-22427	0,000	
Modelo Quadrático	Aveia	-10,80	--	
	Castanha	-72	--	
	Figo	-750	--	
	Aveia.Castanha	226	0,443	
	Aveia.Figo	949	0,003	
	Castanha.Figo	-159	0,589	
	Cúbico completo	Aveia	3,90	--
		Castanha	2100	--
		Figo	-24024	--
Aveia.Castanha		-3522	0,894	
Aveia.Figo		38751	0,152	
Castanha.Figo		25308	0,242	
Aveia.Castanha.Figo		-14729	0,490	
Aveia.Castanha.(Aveia-Castanha)		1489	0,890	
Aveia.Figo.(Aveia-Figo)		-15111	0,169	
Quártico especial	Aveia	-13,1	--	
	Castanha	-340	--	
	Figo	-2428	--	
	Aveia.Castanha	551	0,803	
	Aveia.Figo	2836	0,207	
	Castanha.Figo	-92694	0,285	
	Aveia ² .Castanha.Figo	87437	0,300	
	Aveia.Castanha ² .Figo	231794	0,260	
	Aveia.Castanha.Figo ²	249580	0,226	
Intensidade do aroma a castanha	Linear	Aveia	1,63	--
		Castanha	25,82	--
		Figo	-7,33	--
	Quadrático	Aveia	-7,98	--
		Castanha	-41	--
		Figo	-495	--
Intensidade do sabor a castanha	Linear	Aveia.Castanha	166	0,628
		Aveia.Figo	639	0,070
		Castanha.Figo	-211	0,537

Em relação à intensidade do aroma a castanha (Figura 21), optou-se por apresentar os gráficos dos modelos quadrático, cúbico completo e quártico especial pelo facto de apresentarem uma falta de ajuste não significativa e terem R^2 ajustados de 50,60; 50,51 e 50,51%, respetivamente (Tabela 11). Os três modelos apresentaram um S igual a 1,13, valor superior ao calculado para a a_w , indicando que os valores dos dados estão mais distantes dos valores ajustados, e R^2 preditos de 38,27; 27,76 e 27,76%, valores bastante inferiores aos R^2 ajustados, indicando que os modelos com um maior número de preditores poderiam estar com excesso de ajuste, sugerindo a existência de efeitos que poderiam não ser importantes para a população. De facto, através dos valores de p para os diferentes termos dos modelos (Tabela 21), verificou-se que grande parte deles não foram significativos.

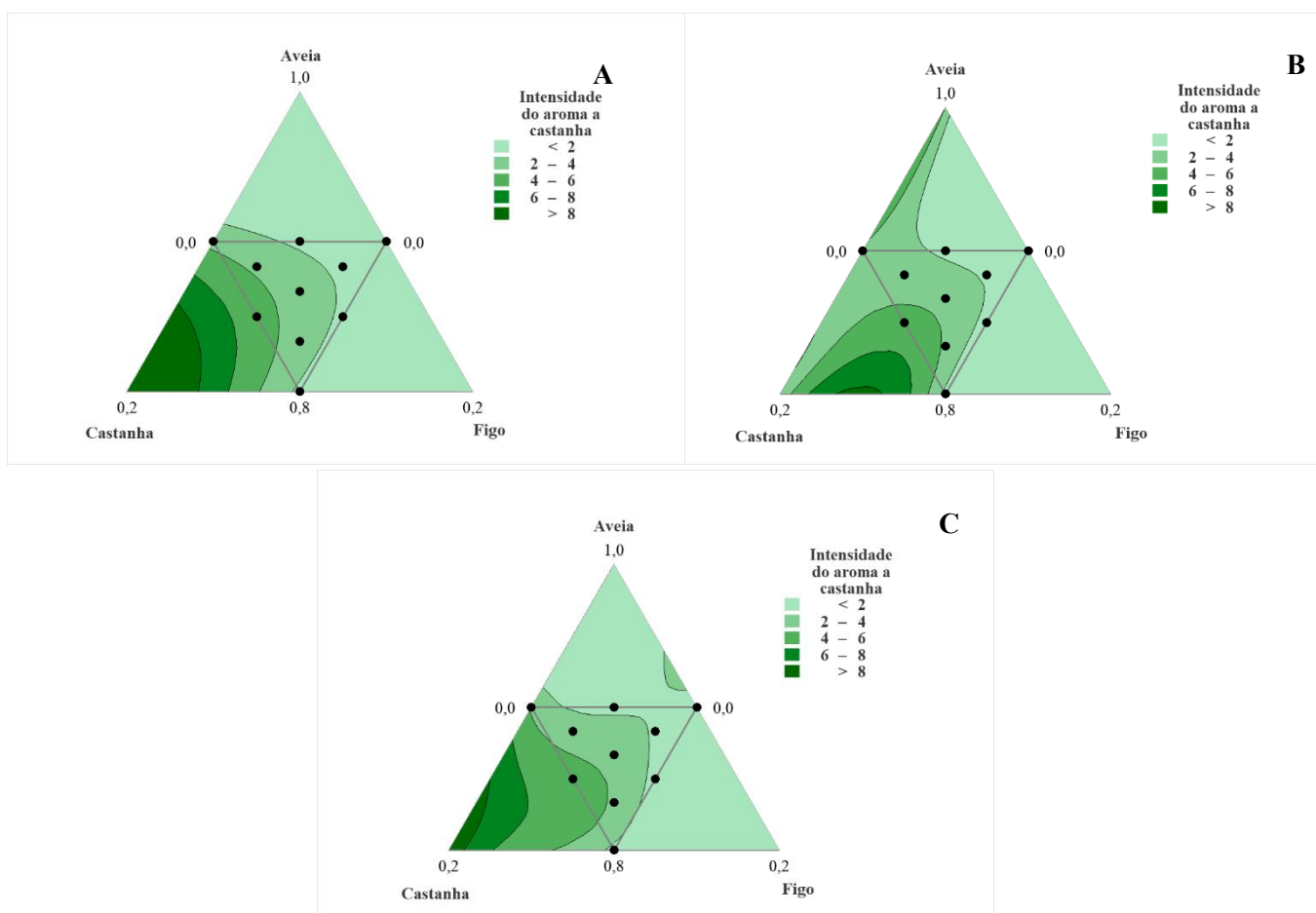


Figura 21. Modelos de regressão ajustados à intensidade do aroma à castanha (A) Quadrático; (B) Cúbico completo e (C) Quártico especial.

Os três modelos forneceram superfícies semelhantes, com um aumento crescente da intensidade do aroma a castanha à medida que se aumentou a proporção deste componente, tal como era esperado.

Relativamente à intensidade do sabor a castanha, optou-se por escolher os modelos linear e quadrático (Tabela 11), pelo facto de apresentarem os maiores valores de $R^2(\text{pred})$. Os gráficos de contorno estão representados na Figura 22.

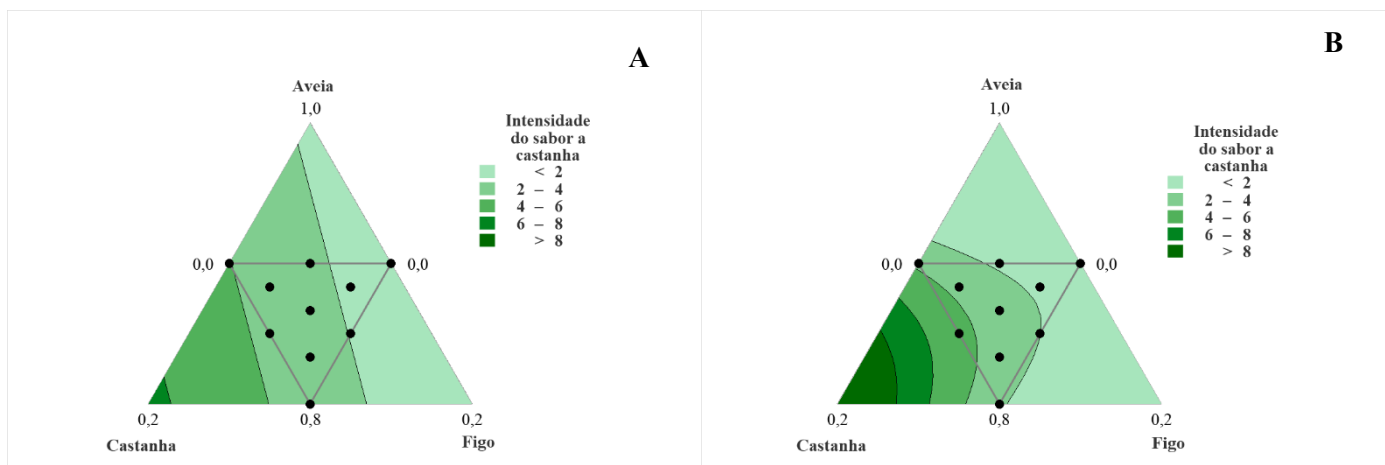


Figura 22. Modelos de regressão ajustados à intensidade do sabor a castanha: (A) Linear e (B) Quadrático.

Tal como era esperado, à medida que se aumentou a concentração de castanha, a intensidade do sabor a este fruto aumentou. Contudo, verificou-se que na gama de trabalho aplicada no presente trabalho, foi difícil encontrar intensidades elevadas.

4.3.4. Otimização da formulação

Face aos resultados anteriores, considerou-se que a formulação final deveria ter uma atividade de água entre 0,4 e 0,6, uma intensidade do aroma a castanha entre 4 e 10 e uma intensidade do sabor a castanha entre 3 e 10, tendo-se verificado que a zona onde se observava a sobreposição destas condições era bastante reduzida (Figura 23).

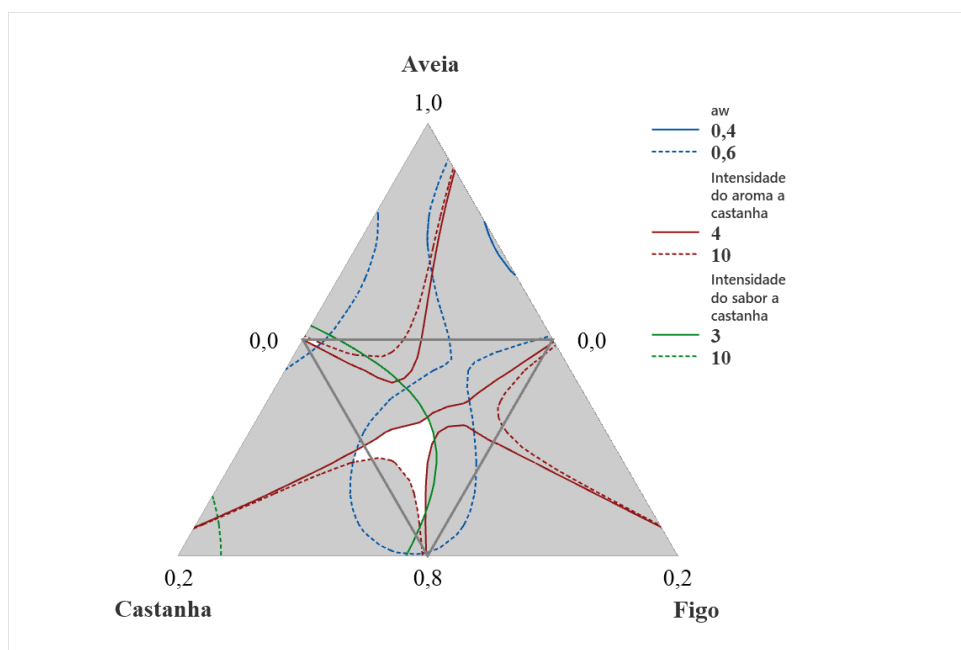


Figura 23. Gráfico de contorno de mistura sobreposto para atividade de água, intensidade do aroma a castanha e intensidade do sabor a castanha.

Ao aplicar o otimizador de resposta (Figura 24) obteve-se como formulação ótima a seguinte mistura: Aveia 84,5%, Castanha 10,0% e Figo 5,5%, com valores esperados de a_w de 0,57; intensidade do aroma a castanha de 10 e uma intensidade do sabor a castanha próxima de 4,5. Contudo, o parâmetro “desirability” do modelo foi igual a 0,57, sendo um valor relativamente baixo. A “desirability” composta (D) avalia como as definições otimizam um conjunto global de respostas. As “Desirabilities” individual e composta avaliam em que medida uma combinação de variáveis satisfaz as metas definidas para as respostas. A “desirability” individual (d) avalia como as definições otimizam uma resposta única; a “desirability” composta (D) avalia como as definições otimizam um conjunto global de respostas. A “desirability” abrange uma amplitude de zero a um, representando o valor 1, o caso ideal. Pelo contrário, o zero indica que uma ou mais respostas estão fora dos seus limites aceitáveis.

Os parâmetros a_w e intensidade do aroma a castanha foram aqueles que apresentaram valores de “desirability” elevados e iguais a 0,86 e 1,00, respetivamente, indicando que seriam os parâmetros que poderiam vir a ser melhor previstos, com a resposta mais otimizada.

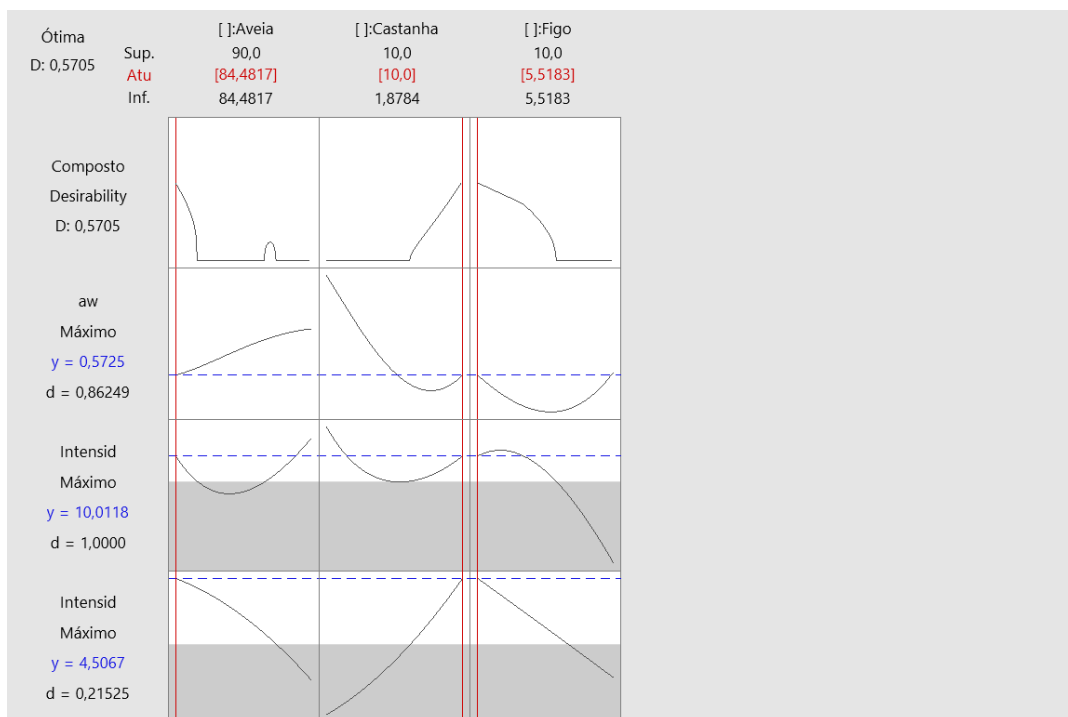


Figura 24. Gráfico obtido do otimizador de resposta.

4.4. Elaboração de três novas formulações de muesli

Na última parte do trabalho decidiu-se elaborar três formulações para as comparar entre si e verificar a sua aceitabilidade e preferência por parte de um grupo de consumidores. As formulações elaboradas foram as seguintes:

Formulação A - 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo (Formulação otimizada)

Formulação B - 84,5% aveia e 15,5% figo

Formulação C - 84,5% aveia e 15,5% castanha

Na Figura 25 estão apresentadas as três novas formulações - A, B e C.

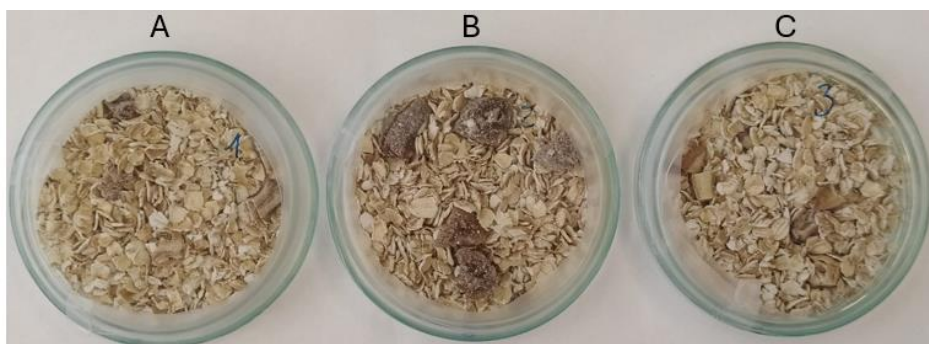


Figura 25. Três novas formulações de muesli de castanha: A) 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo; B) 84,5% aveia e 15,5% figo, e C) 84,5% aveia e 15,5% castanha.

4.4.1. Cor e atividade da água das três novas formulações de muesli de castanha

Na Tabela 13 estão indicados os parâmetros de cor e a atividade da água medidos nas três formulações.

Tabela 13. Valores (média \pm desvio padrão) referentes aos parâmetros de cor instrumental e da atividade da água das três novas formulações de muesli preparadas no presente trabalho.

Parâmetro	Formulação A 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo	Formulação B 84,5% aveia, 15,0% figo	Formulação C 84,5% aveia, 15,0% castanha	valor-p
L*	75,5 \pm 2,6	75,9 \pm 4,2	76,8 \pm 5,8	0,931
a*	2,5 \pm 0,6	2,1 \pm 0,3	1,5 \pm 0,6	0,113
b*	18,8 \pm 1,0 ^A	16,3 \pm 0,9 ^{A,B}	14,5 \pm 1,9 ^B	0,026
C*	18,9 \pm 1,1 ^A	16,5 \pm 1,0 ^{A,B}	14,6 \pm 1,9 ^B	0,026
h	82,4 \pm 1,5	82,6 \pm 0,9	84,3 \pm 1,6	0,250
a _w	0,65 \pm 0,03	0,62 \pm 0,07	0,61 \pm 0,02	0,685

Letras diferentes por linha indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em relação à cor, só se detetaram diferenças significativas entre as formulações nos parâmetros b* e C*, apresentando a formulação A uma tonalidade mais amarela e uma maior intensidade de cor face à formulação C, com 15,0% de castanha.

Relativamente à a_w, os valores médios variaram entre 0,61 e 0,65, sem diferenças significativas entre as amostras. Beuchat (1981) refere que valores de a_w entre 0,60 e 0,65 podem permitir a proliferação de alguns bolores (tais como o *Aspergillus echinulatus* e *Monascus bisporus*). Contudo, Barbosa-Cánovas et al. (2003) indicam que leveduras e bolores não podem proliferar para valores de a_w inferiores a 0,62. Em termos gerais, estes resultados indicam que na futura preparação do muesli é de extrema importância garantir

que as matérias-primas (aveia, figo e castanha) apresentem baixos valores de a_w , pois este é um facto essencial para garantir a segurança do produto elaborado. De referir que o valor de a_w determinado para a formulação A ($0,65 \pm 0,03$) foi um pouco superior ao previsto pelo modelo ($0,57$). Contudo, são similares em termos de ordem de grandeza. Tal como anteriormente referido, o facto de a castanha ter sido desidratada para realizar este ensaio em particular, pode justificar essas pequenas diferenças, devendo no futuro ser pensado em utilizar a a_w em vez do tempo de secagem como ponto de paragem do processo de desidratação, uma vez que as características da própria matéria-prima podem influenciar a secagem. É verdade que se controlou a a_w ao longo da secagem, mas não se terminou esta fase ao valor final deste parâmetro.

4.4.2. Teores de Humidade, Cinzas, Proteína e Gordura

Na Tabela 14 encontram-se indicados os valores determinados para a humidade, cinzas, proteína e gordura para as três formulações de muesli.

Tabela 14. Valores (média \pm desvio padrão) referentes aos teores de humidade, cinzas, proteína e gordura das três novas formulações de muesli preparadas no presente trabalho.

Parâmetro	Formulação A	Formulação B	Formulação C	valor-p
	84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo	84,5% aveia, 15,0% figo	84,5% aveia, 15,0% castanha	
Humidade (% p.f.)	10,6 \pm 0,2 ^B	11,4 \pm 0,2 ^A	10,7 \pm 0,3 ^{A,B}	0,024
Cinzas (% p.s.)	1,91 \pm 0,04	1,88 \pm 0,08	1,91 \pm 0,03	0,686
Proteína (% p.s.)	13,9 \pm 0,8	14,1 \pm 0,6	13,5 \pm 0,2	0,444
Gordura (% p.s.)	9,1 \pm 1,3	6,5 \pm 1,2	8,1 \pm 5,0	0,618
Cinzas (% p.f.)	1,71 \pm 0,04	1,66 \pm 0,07	1,71 \pm 0,03	0,491
Proteína (% p.f.)	12,4 \pm 0,7	12,5 \pm 0,5	12,0 \pm 0,2	0,528
Gordura (% p.f.)	8,1 \pm 1,2	5,8 \pm 1,1	7,2 \pm 4,5	0,605

Letras diferentes por linha indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Verificou-se que a formulação com castanha e figo foi a que apresentou o menor teor de humidade, seguida da formulação C com 15,0% de castanha. A que continha figo a 15,0% apresentou um teor de humidade médio ligeiramente superior e igual a 11,4%. Contudo, este maior valor não se traduziu numa maior a_w . Os teores de humidade determinados no presente trabalho foram superiores aos indicados por Adeove et al.

(2019) (6,5-7,2%) para um muesli com grãos (trigo, milho, sorgo) a 60% + frutas (banana, mamão, tâmaras) a 20 e 30% + nozes, coco e castanha de caju a 10 e 20%, indicando que, no futuro, poderá ser um ponto a ter em consideração.

Em termos de cinzas, proteína e gordura, as três formulações apresentaram valores médios semelhantes e próximos de 1,9%, 13% e 7% p.s., respetivamente.

Quando se expressaram os valores em peso fresco, o valor médio de proteína foi de 12 %, sendo superior ao indicado para diversos produtos comerciais, como por exemplo o Jordans natural muesli® (10,0 %), Muesli frutos vermelho saluitem® (10,1%), Muesli tropical cem por cento® (9,1 %) e o Crunchy Muesli Pingo Doce® (7,7 %), o que pode ser um ponto a favor para futuros consumidores que procurem alimentos com um maior teor de proteína.

4.4.3 Perfil de ácidos gordos

Nas amostras de gordura determinaram-se os ácidos gordos presentes, estando os resultados expressos na Tabela 15.

Tabela 15. Percentagens (média ± desvio padrão) referentes aos ácidos gordos presentes nas três novas formulações de muesli preparadas no presente trabalho.

Ácido Gordo	Formulação A	Formulação B	Formulação C	valor-p
	84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo	84,5% aveia, 15,0% figo	84,5% aveia, 15,0% castanha	
C12:0 (Ác. Láurico)	0,031±0,002	0,022±0,004	0,023±0,009	0,155
C14:0 (Ác. Mirístico)	0,164±0,013	0,158±0,007	0,160±0,010	0,792
C16:0 (Ác. Palmítico)	16,3±0,5	16,3±0,1	15,7±0,5	0,262
C16:1 (Ác. Palmitoleico)	0,216±0,013 ^A	0,186±0,010 ^B	0,217±0,003 ^A	0,011
C17:0 (Ác. Margárico)	0,034±0,002 ^A	0,025±0,004 ^B	0,033±0,001 ^A	0,013
C18:1n9c (Ác. Oleico)	39,06±0,06 ^B	39,70±0,0 ^A	39,88±0,16 ^A	<0,001
C18:2n6c (Ác. Linoleico)	41,82±0,54	41,39±0,08	41,51±0,34	0,413
C18:3n6 (Ác. Gama-linolénico)	0,06±0,03	0,06±0,03	0,06±0,03	0,944
C18:3n3 (Ác. Alfa-linolénico)	1,46±0,01 ^A	1,26±0,01 ^B	1,48±0,02 ^A	<0,001
C20:1 (Ác. Gadoleico)	0,85±0,04	0,87±0,02	0,87±0,01	0,699
C22:0 (Ác. Behénico)	0,046±0,003 ^A	0,038±0,004 ^B	0,048±0,001 ^A	0,015
SFA	16,5±0,6	16,5±0,1	16,0±0,5	0,282
MUFA	40,13±0,08 ^B	40,75±0,04 ^A	40,97±0,16 ^A	<0,001
PUFA	41,9±0,5	41,5±0,1	41,6±0,4	0,384

Os ácidos gordos maioritários nas três formulações foram o ácido linoleico (C18:2n6c) e o ácido oleico (C18:1n9c), correspondendo a mais de 80% dos ácidos gordos totais, sendo ácidos gordos recomendados para a alimentação humana.

Entre as três formulações só se encontraram diferenças significativas entre elas ao nível do C16:1, C17:0, C18:1n9c, C18:3n3 e C22:0. As Formulações A e C, ambas com castanha, foram as que apresentaram os maiores valores de C16:1, C17:0, C18:3n3 e C22:0, distinguindo-se da Formulação B com figo. Pelo contrário, as Formulações B e C, com figo e castanha, respetivamente, apresentaram as maiores percentagens de C18:1n9c.

Em relação ao total de ácidos gordos saturados (SFA) e polinsaturados (PUFA), não se observaram diferenças significativas entre as três formulações. Pelo contrário, em termos de monoinsaturados (MUFA), a Formulação A com figo e castanha foi a que apresentou o menor valor face às outras duas, sem justificação para o ocorrido. Contudo, os valores são muito próximos e da mesma ordem de grandeza. Tal como era esperado face aos ácidos gordos maioritários identificados, os MUFA e PUFA são os mais representativos.

4.4.4. Metais

Na Tabela 16 são apresentados os valores (média \pm desvio padrão) dos metais - K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, expressos em mg metal/100 g de peso seco, determinados nas três formulações de muesli (A, B e C).

Tabela 16. Valores (média \pm desvio padrão) (mg metal/ 100 g p.s.) referentes aos metais presentes nas três novas formulações de muesli preparadas no presente trabalho.

Metal	Formulação A 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo	Formulação B 84,5% aveia, 15,0% figo	Formulação C 84,5% aveia, 15,0% castanha	valor-p
Potássio (K)	356 \pm 22	294 \pm 23	267 \pm 68	0,108
Cálcio (Ca)	54 \pm 1	60 \pm 7	36 \pm 10	0,123
Magnésio (Mg)	86 \pm 3	90 \pm 9	70 \pm 34	0,626
Ferro (Fe)	1,9 \pm 0,2	1,7 \pm 0,1	1,7 \pm 0,4	0,539
Manganês (Mn)	1,5 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	1,5 \pm 0,3	0,903
Zinco (Zn)	2,4 \pm 0,5	3,0 \pm 0,3	2,7 \pm 0,4	0,282

Não foi possível verificar a existência de variações significativas entre as três formulações, possivelmente resultados do alto teor em aveia dos mueslis preparados. Lignicka *at al.* (2021) quando estudaram o conteúdo em zinco em diferentes amostras de

muesli indicaram que os flocos de aveia continham 2,82 mg de zinco por 100 g, valor similar ao determinado no presente trabalho.

4.4.5. Análises microbiológicas

Na Tabela 17 encontram-se descritos os valores de contagem (log ufc/g \pm desvio padrão) por parâmetro microbiológico analisado, nas diferentes formulações de muesli.

Tabela 17. Contagem média (log ufc/g \pm desvio padrão) por parâmetro microbiológico analisado, nas diferentes formulações de muesli de castanha.

Microrganismos	Formulação A 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo	Formulação B 84,5% aveia, 15,0% figo	Formulação C 84,5% aveia, 15,0% castanha
Mesófilos	4,2 \pm 0,4 ^B	5,8 \pm 0,5 ^A	5,6 \pm 0,3 ^A
Bolores	3,4 \pm 0,0 ^B	4,2 \pm 0,0 ^A	2,8 \pm 0,3 ^C
Leveduras	2,5 \pm 0,1 ^B	3,7 \pm 0,2 ^A	<1,7 \pm 0,0 ^C
Coliformes	3,5 \pm 0,1 ^B	3,8 \pm 0,0 ^A	2,6 \pm 0,0 ^C
<i>E. coli</i>	<2	<2	<2

Letras diferentes por linha indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey (p<0,05).

Na avaliação dos resultados das análises microbiológicas constatou-se que apenas a formulação A (10% de castanha e 5,5% de figo) apresentou qualidade microbiológica satisfatória, uma vez que todos os parâmetros analisados foram inferiores aos limites microbiológicos estabelecidos por Moragas e Valcárcel (2022) para os cereais (mesófilos: 10-10⁵ ufc/g, bolores e leveduras: 10-10⁴ ufc/g, coliformes: 10²-10⁴ ufc/g, *E.coli*: 10-10²). As restantes formulações de muesli (B e C) apresentaram uma qualidade microbiológica não satisfatória devido ao número elevado de mesófilos (5,8 e 5,6 log ufc/g) e de bolores, para a formulação B (4,2 log ufc/g). A presença de um número elevado de microrganismos mesófilos nos alimentos está normalmente associada ao incumprimento das boas práticas de higiene e de fabrico (BPHF) e a utilização de matérias-primas de má qualidade (INSA, 2019). A bactéria *E. coli*, cuja presença nos alimentos indica o não cumprimento das boas práticas de higiene, não foi detetada em nenhuma das formulações (<10² ufc/g).

Sugere-se assim na elaboração de formulações futuras um maior controlo das matérias-primas, através da análise microbiológica de cada um dos constituintes, assim

como a utilização de boas práticas de higiene e de fabrico de modo a garantir baixas cargas microbianas dos produtos que são incluídos no muesli.

4.4.6. Análise sensorial

Na Figura 26 encontra-se representado o gráfico aranha com os valores médios dos parâmetros avaliados durante a análise sensorial das três novas formulações de muesli. No Anexo III encontram-se indicados os valores médios e respetivos desvios padrão, bem como a análise estatística realizada a esses resultados.

Tal como seria de esperar, nos parâmetros relativos à intensidade do aroma a castanha e do sabor a castanha, a formulação C (só com castanha) diferenciou-se significativamente face às restantes. Contudo, em termos do aroma a castanha, a formulação A não foi estatisticamente diferente da C. Já nos restantes parâmetros, não se detetaram diferenças significativas entre as três formulações.

A Formulação B (só com figo) apresentou o maior valor médio para a cor, aroma, sabor e doçura em termos de intensidade. Contudo, esses valores não foram significativamente diferentes das Formulações A e C.

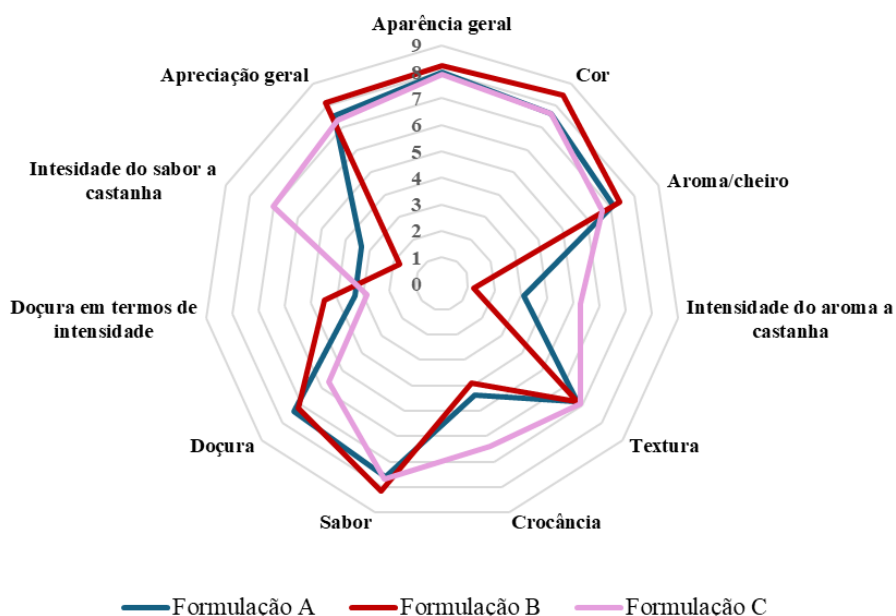


Figura 26. Parâmetros avaliados durante a análise sensorial nas diferentes formulações de muesli de castanha: (A) 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo; (B) 84,5% aveia, 15,0% figo; e (C) 84,5% aveia, 15,0% castanha.

De realçar que os três mueslis apresentaram valores médios de aparência geral (Formulação A – $8,0 \pm 1,2$; Formulação B – $8,2 \pm 1,2$; Formulação C – $7,9 \pm 1,5$) bastante elevados, bem como uma boa apreciação geral (Formulação A – $7,6 \pm 1,4$; Formulação B – $8,1 \pm 1,8$; Formulação C – $7,3 \pm 2,1$), indicando que poderão ser produtos a lançar no mercado no futuro. Também se deve destacar que os provadores avaliaram de forma bastante positiva a doçura e que em termos de intensidade indicaram que esta era baixa, mostrando que os provadores não desejavam um produto muito doce.

Ao solicitar no final da prova aos provadores que estes indicassem qual a sua amostra preferida, as percentagens obtidas encontram-se representadas na Figura 27. A Formulação B (só com figo e aveia) foi a preferida por 44% dos provadores, seguindo-se a Formulação A (aveia, figo e castanha) (33%).

Em termos gerais, no futuro aconselha-se a realizar uma análise sensorial com um maior número de provadores e também a se repensar a possibilidade de se adicionarem outros tipos de frutos, em conjunto com a castanha, de modo a realçar outras características.

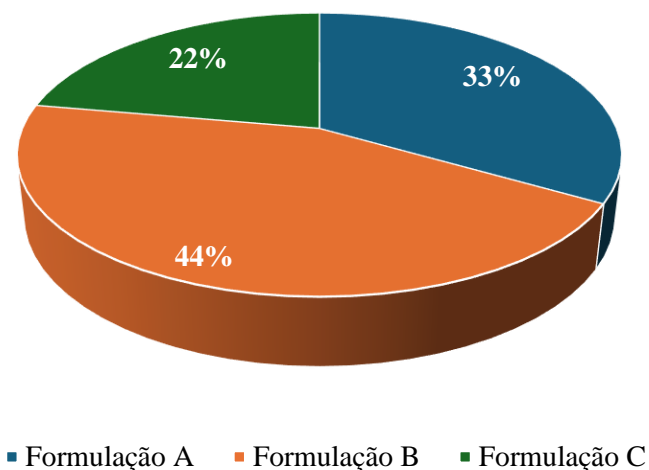


Figura 27. Amostra indicada como preferida (% de provadores) em relação às diferentes formulações de muesli de castanha: (A) 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo; (B) 84,5% aveia, 15,0% figo; e (C) 84,5% aveia, 15,0% castanha.

5. Conclusão final

Foi possível modelar os processos de secagem de castanhas inteiras e partidas com bons resultados, para os modelos Wang & Singh (castanhas inteiras) e Page e Wang & Singh (castanhas partidas). Verificou-se que o método de secagem mais adequado a utilizar posteriormente na formulação do muesli, foi o da desidratação de frutos já partidos durante 40 minutos.

A aplicação de um desenho experimental de misturas, incluindo o otimizador de resposta, permitiu estabelecer a formulação otimizada de 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo (Formulação A). Ao analisar esta formulação em conjunto com mais duas, designadamente: Formulação B - 84,5% aveia e 15,5% figo, e Formulação C - 84,5% aveia e 15,5% castanha, os resultados obtidos mostraram que os valores de atividade de água variaram entre 0,61 e 0,65, a proteína entre 12,0 e 12,4%, p.f., e a gordura entre 5,8 e 8,1%, p.f., não existindo diferenças significativas entre elas. Os ácidos gordos maioritários nas três formulações foram o ácido linoleico (C18:2n6c) e o ácido oleico (C18:1n9c). Relativamente à análise sensorial, os três mueslis apresentaram valores médios elevados de aparência geral e de apreciação geral, indicando boa aceitação. Contudo, a formulação preferida pelos provadores foi a B (só com figo e aveia), seguida pela A (aveia, figo e castanha). Em termos microbiológicos, apenas a formulação A apresentou qualidade microbiológica satisfatória. Estes resultados sugerem que futuramente na elaboração deste produto se garanta um maior controlo das matérias-primas, e o cumprimento de boas práticas de higiene e de fabrico.

Em conclusão, a presente dissertação demonstrou que a incorporação da castanha no muesli pode originar produtos inovadores e nutricionalmente equilibrados. Além disso, pode contribuir para a economia circular e valorizar a identidade cultural e das tradições alimentares da região de Trás-os-Montes.

Referências bibliográficas

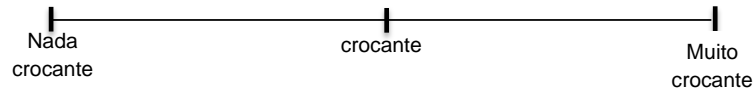
- Adeoye B. K., Ezelibe M. C., Akinlade A. R., Ani I.F, Ngozi E.O., & Ajuzie N.C. (2019). Quality Evaluation of a Ready-To-Eat Breakfast Cereal (Muesli) Made from Selected Nigerian Indigenous Food Crops. *American Journal of Food and Nutrition*, 7(2), 31-49. doi: 10.12691/ajfn-7-2-2
- Andarilho. (2023). Marron em Bragança e de produtos inovadores à base de castanha. Disponível em: <https://andarilho.pt/2021/11/10/marron-em-braganca-e-de-produtos-inovadores-a-base-de-castanha/>
- AOAC, 1995. Official Methods of Analytical, 16th ed. Association of official Analytical Arlington, VA, USA.
- Barbosa-Cánovas, G.V., Fernández-Molina, J.J., Alzamora, S.M., Tapia, M.S., López-Malo A., Chanes, J.W. (2003). Chapter 3 - General considerations for preservation of fruits and vegetables. In *Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas*, FAO, ISBN 92-5-104861-4.
- Beuchat L.R. (1981). Microbial stability as affected by water activity. *Cereal Foods World*, 26, 345–349.
- BodyScience Blog. (2023). Muesli: Como fazer e 5 receitas. Disponível em: <https://blog.bodyscience.pt/muesli/>.
- Carcea, M. (2020). Nutritional Value of Grain-Based Foods. *Foods*, 9(4), 504. <https://doi.org/10.3390/foods9040504>
- Cardoso Filho, F. das C., Caldas, M. L. de, & Muratori, M. C. S. (2016). Fungos e aflatoxinas em cereais: Uma revisão. *Revista de Ciência Veterinária e Saúde Pública*, 2(2), 122-130. <https://doi.org/10.4025/revcivet.v2i2.29600>
- Choupina, A. (1993). Possibilidades de utilização da farinha de castanha produção de extrudidos. Dissertação de mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Técnica de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10198/6188>
- Choupina, A; Silva, F. (1992). A importância alimentar da castanha. *Revista Portuguesa da Nutrição*. IV (3), 31-35.

- Costa, J., Villa, C., Oliveira, M.B.P.P, Mafra (2016). Alergénios dos frutos de casca rijã. *Riscos e Alimentos Frutos Secos e Secados*. 11, 10-16. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/111250>
- DGAV. (2023). Alergias e Intolerâncias. Direção geral de alimentação e veterinária. Disponível em: <https://www.dgav.pt/alimentos/conteudo/generos-alimenticios/informar-o-consumidor-e-rotular/alergenios>.
- Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. (2023). Produtos tradicional portugueses. Produto agrícola, géneros alimentícios e pratos preparados. Disponível em: <https://tradicional.dgadr.gov.pt/pt/>
- INE, I. P. (2016). Estatísticas Agrícolas 2015. Instituto Nacional de Estatística, I.P.
- INE, I. P. (2023). Estatísticas Agrícolas 2022. Instituto Nacional de Estatística, I.P.
- INE, I.P. (2021). Boas campanhas frutícolas e oleícolas. Instituto Nacional de Estatística, I.P.
- INSA (2019). Interpretação de resultados de ensaios microbiológicos em alimentos prontos para consumo e em superfícies do ambiente de preparação e distribuição alimentar: valores-guia. Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge. Lisboa: INSA IP, 2019.
- ISO 21527-2 (2008). Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds — Part 2: Colony count technique in products with water activity less than or equal 0,95. 1st edition.
- ISO 4833-2 (2013). Microbiology of the food chain – Horizontal method for the enumeration of microorganisms – Part 2: Colony count at 30 degrees C by the surface plating technique.
- Lignicka, I., Balgalve, A., & Zidere-Laizane, A. M. (2021). Zinc content in different muesli simples. *Agronomy Research*, 19(1), 136-146. <https://doi.org/10.15159/AR.21.043>.
- Maziero, M.T., L.S., Bersot. (2010). Micotoxina em alimentos produzidos no Brasil. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, 12(1), 89-99, ISSN 1517-8595.

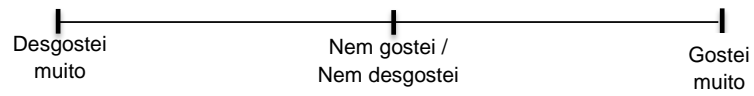
- Miranda, K. dos S., Rodrigues, J., de Quadros, E. B., Lemos, P., Maieves, H. A., & Batista, Ângela G. (2023). Alegação de propriedades funcionais aumentam a aceitação de muesli de aveia por consumidores. *DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde*, 18, e68865. <https://doi.org/10.12957/demetra.2023.68865>
- Monfared, K.E., Gharachorloo, M., Jafarpour, A., & Varvani, J. (2021). Production feasibility of functional probiotic muesli containing matcha and investigation of its physicochemical, microbial, and sensory properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16, 975–986.
- Monfared, K.E., Gharachorloo, M., Jafarpour, A., & Varvani, J. (2022). Effect of storage and packaging conditions on physicochemical and bioactivity of matcha-enriched muesli containing probiotic bacteria. *Journal of Food Processing and Preservation*, e16878. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16878>
- Moragas, M., Valcárcel S., 2022. Recopilación de normas microbiológicas de los alimentos y asimilados (superficies, aguas diferentes de consumo, subproductos) y outros parâmetros físico-químicos de interés sanitario. Bilbao, Spain 1–79.
- Mrázková, M., Sumczynski, D., & Orsavová, J. (2021). Non-Traditional Muesli Mixtures Supplemented by Edible Flowers: Analysis of Nutritional Composition, Phenolic acids, Flavonoids and Anthocyanins. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76 (3)
- Quatela, A., Callister, R., Patterson, A., McEvoy, M., & MacDonald-Wicks, L. (2018). The protective effect of muesli consumption on diabetes risk: Results from 12 years of follow-up in the Australian Longitudinal Study on Women’s Health. *Nutrition Research*, 51, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.08.001>
- Ramalhosa, E., Pereira, E.L., Lopes da Silva, M.F. (2020). Valorização da castanha. *In* Manual de boas Práticas do castanheiro. Editores: Albino Bento; António Castro Ribeiro, 237-247. ISBN: 978-989-33-1088-5. <http://hdl.handle.net/10198/27168>
- Regulamento (UE) N.º 1169/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Outubro de 2011 relativo à prestação de informação aos consumidores sobre os géneros alimentícios, que altera os Regulamentos (CE) n.º 1924/2006 e (CE) n.º 1925/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho e revoga as Directivas 87/250/CEE da Comissão, 90/496/CEE do Conselho, 1999/10/CE da Comissão, 2000/13/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, 2002/67/CE e 2008/5/CE da Comissão e o Regulamento (CE) n.º 608/2004 da Comissão.

- Sassi, F. (2015). Estudo sobre a presença de fungos e micotoxinas em barras de cereais e seus ingredientes. Trabalho de Conclusão de Curso para a obtenção do grau de Bacharel. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Farmácia.
- Senhofa, S., Straumite, E., Sabovics, M., Klava, D., R. Galoburda, R., & Rakcejeva, T. (2015). The effect of packaging type on quality of cereal muesli during storage. *Agronomy Research* 13(4), 1064–1073.
- Silva, B. P. P. C., Pinheiro, V. J. F., Cardoso, D. F. S. R., Barbosa, I. C. C., Santos, L. P., & Santa Rosa, R. M. S. (2021). Avaliação das características físico-químicas da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) e da castanha portuguesa (*Castanea sativa* mill.). *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 15(2), 3700-3723. <https://doi.org/10.3895/rbta.v15n2.14506>
- SPS Pouches. What is a doypack? Doypack pouches explained <https://tinyurl.com/SPSPouches>, Acedido a 09/10/2024.
- Sumczynski, D., Bubelova, Z., Sneyd, J., Erb-Weber, S., & Mlcek, J. (2015). Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Non-Traditional Wheat Flakes and Muesli. *Food Chemistry*, 174, 319–325. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.11.065

Avalie a textura quanto a crocância



Sabor

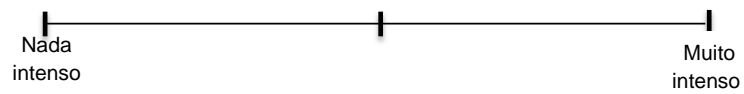


Se respondeu desgostei, explique o porquê? _____

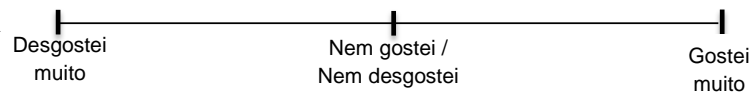
Avalie o sabor quanto a doçura.

O nível de doçura é adequado? Sim ___ Não ___

Avalie a intensidade do sabor a castanha:



Apreciação Geral



Qual é a sua amostra preferida

Obrigada pela sua participação.

Anexo II – Modelos de regressão obtidos para os parâmetros avaliados

Tabela II.1. Análise dos modelos de regressão aplicados aos parâmetros avaliados.

Parâmetro avaliado	Parâmetro do modelo	Linear	Quadrático	Cúbico especial	Cúbico completo	Quártico especial	Quártico completo
a_w	R ² (aj)	11,70%	4,01%	12,90%	74,10%	74,10%	73,15%
	p-falta de ajuste	<0,001	<0,001	<0,001	0,616	0,616	--
L*	R ² (aj)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	p-falta de ajuste	0,527	0,269	0,349	0,168	0,168	--
a*	R ² (aj)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	4,66%
	p-falta de ajuste	0,244	0,118	0,171	0,106	0,106	--
b*	R ² (aj)	3,38%	7,93%	6,52%	23,22%	23,22%	25,40%
	p-falta de ajuste	0,086	0,084	0,058	0,218	0,218	--
C*	R ² (aj)	3,31%	7,79%	6,81%	23,38%	23,38%	26,35%
	p-falta de ajuste	0,078	0,074	0,053	0,189	0,189	--
h	R ² (aj)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	p-falta de ajuste	0,493	0,288	0,392	0,220	0,22	--
Aparência geral	R ² (aj)	3,94%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	p-falta de ajuste	0,900	0,818	0,772	0,782	0,0782	--
Cor	R ² (aj)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	p-falta de ajuste	0,995	0,932	0,864	0,494	0,494	--
Aroma/cheiro	R ² (aj)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	p-falta de ajuste	0,920	0,784	0,644	0,671	0,671	--
Intensidade do aroma a castanha	R ² (aj)	34,83%	50,60%	49,51%	50,51%	50,51%	53,13%
	p-falta de ajuste	0,051	0,295	0,223	0,156	0,156	--
Textura	R ² (aj)	19,64%	15,31%	11,82%	10,01%	10,01%	12,39%
	p-falta de ajuste	0,687	0,539	0,392	0,225	0,225	--

Crocância	R ² (aj)	26,52%	22,89%	19,95%	12,83%	12,83%	11,33%
	p-falta de ajuste	0,926	0,926	0,857	0,432	0,432	--
Sabor	R ² (aj)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	p-falta de ajuste	0,618	0,537	0,383	0,121	0,121	--
Doçura	R ² (aj)	4,43%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	p-falta de ajuste	0,766	0,666	0,573	0,255	0,255	--
Intensidade da doçura	R ² (aj)	0,52%	5,90%	1,98%	0,00%	0,00%	0,00%
	p-falta de ajuste	0,606	0,832	0,706	0,281	0,281	--
Intensidade do sabor a castanha	R ² (aj)	30,37%	33,41%	30,72%	32,43%	32,43%	31,67%
	p-falta de ajuste	0,416	0,512	0,370	0,392	0,392	--
Apreciação geral	R ² (aj)	10,97%	11,10%	9,48%	1,96%	1,96%	0,00%
	p-falta de ajuste	0,788	0,881	88,40%	0,526	0,526	--

**Anexo III - Parâmetros avaliados durante a análise sensorial das três
formulações de muesli de castanha**

Tabela III.1. Parâmetros avaliados durante a análise sensorial (média±desvio padrão) nas diferentes formulações de muesli de castanha.

Parâmetro sensorial	Formulação A 84,5% aveia, 10,0% castanha e 5,5% figo	Formulação B 84,5%aveia, 15,0% figo	Formulação C 84,5% aveia, 15,0% castanha	Valor-p
Aparência	8,0±1,2	8,2±1,2	7,9±1,5	0,867
Cor	7,6±1,8	8,4±1,1	7,6±1,8	0,455
Aroma/cheiro	7,1±2,1	7,4±1,9	6,7±2,5	0,783
Intensidade do aroma a castanha	3,1±2,9 ^{A,B}	1,2±2,8 ^B	5,3±3,3 ^A	0,030
Textura	6,8±1,7	6,8±2,0	6,9±2,1	0,978
Crocância	4,4±2,4	3,9±2,6	6,4±1,5	0,054
Sabor	7,6±1,0	8,2±1,4	7,7±2,1	0,717
Doçura	7,4±2,2	7,2±1,5	5,7±2,6	0,197
Doçura em termos de intensidade	3,3±2,5	4,5±2,5	2,8±2,2	0,337
Intensidade do sabor a castanha	3,3±2,4 ^B	1,8±3,2 ^B	7,0±2,6 ^A	0,002
Apreciação geral	7,6±1,4	8,1±1,8	7,3±2,1	0,643