

Enhancing the nutritional value of a sugar-free Greek-style yoghurt by incorporating strawberry-tree (*Arbutus unedo* L.) fruit and peach (*Prunus persica*)

.....

Enriquecimento do valor nutricional do iogurte Grego sem açúcar com incorporação de frutos de Medronheiro (*Arbutus unedo* L.) e pêssegos (*Prunus persica*)

Raquel Carriço¹ , Joana Marcos¹ , Cátia Baptista² , Vanessa Vasconcelos² , Helena Beato² , Ana Riscado² , Ana Silveira² , Inês Pitacas³ , Luisa Paulo² , António Moutinho Rodrigues^{3,4} , Maria Lídia Palma⁵ , Marisa Nicolai⁵ , Regina Menezes⁵ , Paula Pereira^{5,6,7} , Christophe Espírito Santo^{2,8} , Mário Cristóvão² , & Inês Brandão^{2,8} 

Keywords: Fermented dairy products, Greek-style yoghurt, peach, *Arbutus unedo* L., local food ingredients, sustainable and healthy consumption

Palavras-chave: Produtos lácteos fermentados, iogurte Grego, pêssego, *Arbutus unedo* L., ingredientes alimentares locais, consumo sustentável e saudável

To Cite:

Carriço, R. (2025) Development of a Greek-style yoghurt with added peach (*Prunus persica*) and strawberry-tree (*Arbutus unedo* L.) fruit and no added sugars. *Biomedical and Biopharmaceutical Research*, 22(1), 4-23.

 <https://doi.org/10.19277/bbr.22.1.347>

1 - Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa, Campo Grande 376, 1749-024 Lisboa, Portugal

2 - Centro de Apoio Tecnológico Agro-Alimentar (CATAA), 6000-459 Castelo Branco, Portugal

3 - School of Agriculture- Polytechnic Institute of Castelo Branco, 6001-909 Castelo Branco, Portugal

4 - CERNAS-IPCB, Castelo Branco, 6001-909 Castelo Branco, Portugal

5 - CBIOS -Research Center for Biosciences & Health Technologies - Universidade Lusófona Lisboa, Campo Grande 376, 1749-024 Lisboa, Portugal

6 - Center for Natural Resources and Environment (CERENA)- Instituto Superior Técnico (IST)- Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

7 - EPCV, School of Phycology and Life Science, Department of Live Sciences, Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa, Campo Grande 376, 1749-024 Lisboa, Portugal.

8 - Centre for Functional Ecology, TERRA Associate Laboratory, Department of Life Sciences, University of Coimbra, Calçada Martim de Freitas, 3000-456 Coimbra, Portugal

Correspondence to / Correspondência a:
p1814@ulusofona.pt

Received / Recebido: 6/12/2024

Accepted / Aceite: 22/01/2025

Abstract

As consumers become more health-conscious, they are increasingly seeking out foods that offer potential health benefits, such as yoghurts. To encourage more sustainable and healthy consumption habits, it is important to develop food products using local food ingredients. This study focused on fermented dairy products, namely by developing various formulations of Greek yoghurt using strawberry-tree fruit (*Arbutus unedo* L.) (STF) and peach (*Prunus persica*) puree, with no added sugar. Both peach and STF were sourced locally. A sensory analysis was performed to determine the preferred formulation, selecting either z1 (20% STF and 80% peach) or z2 (30% STF and 70% peach). After comparing the two, z1 emerged as the preferred formulation. For this formulation, physicochemical and microbiological analyses were conducted. A Greek yoghurt that incorporates peach and STF was developed while satisfying the requirements for "low-fat", "low-saturated fat", and "no added sugars" nutrition claims. These are all important features that align with the guidelines provided by the World Health Organization in promoting a healthy diet that encourages reduced fat and saturated fat intake, limited consumption of added sugars, and increased fibre content. To the best of our knowledge, this is the first time describing a Greek yoghurt containing STF purée.

Resumo

Os consumidores, à medida que, se tornam mais preocupados com a saúde aumentam a procura de alimentos que ofereçam potenciais benefícios para a saúde, tais como os iogurtes. Com vista a incentivar hábitos de consumo mais sustentáveis e saudáveis, é importante desenvolver produtos funcionais utilizando ingredientes alimentares locais. Neste sentido, este estudo centrou-se no desenvolvimento de produtos lácteos fermentados, sem adição de açúcar, nomeadamente, várias formulações de iogurte grego, adicionados de frutos de medronheiro (*Arbutus unedo* L.) (medronho) e puré de pêssego (*Prunus persica*), obtidos localmente. Com vista a avaliar a preferência dos consumidores, foi efetuada uma análise sensorial, selecionando z1 (20% medronho e 80% pêssego) ou z2 (30% medronho e 70% pêssego). Os resultados obtidos permitiram selecionar a formulação, que foi posteriormente analisada. Para esta formulação, foram efetuadas análises físico-químicas e microbiológicas. Este trabalho permitiu desenvolver um iogurte grego enriquecido com pêssegos e medronho, satisfazendo os requisitos das alegações nutricionais "baixo teor de gordura", "baixo teor de gordura saturada" e "sem adição de açúcares". Todas estas características são importantes e em conformidade com as diretrizes fornecidas pela Organização Mundial de Saúde na promoção de uma dieta saudável que encoraja a redução da ingestão de gorduras e de gorduras saturadas e o consumo limitado de açúcares adicionados e o aumento do teor de fibras. Tanto quanto é do nosso conhecimento, esta é a primeira vez que se descreve um iogurte grego contendo puré de medronho.

Introduction

Fruits are rich in antioxidants and dietary fibre, making them a popular addition to fermented dairy products like yoghurt. Incorporating a variety of fruits not only improves their content in terms of components such as fibre, phenolic compounds, vitamins, fatty acids and minerals but also the quality and value of commercial yoghurts. Combining fruits and yoghurt enhances symbiotic properties, benefiting human microbiota and overall health (1).

The Turkish word “yoğurmak” is believed to be the origin of the word “yoghurt”, meaning to thicken, curdle or coagulate (2). Yoghurt is produced by lactic fermentation resulting from the symbiosis of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Additionally, probiotic or bio-yoghurts account for much of the yoghurt market and may include additional bacteria from the *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* genera (3).

Consumption of yoghurt and fermented milk has been reported to be associated with various health benefits, including the prevention of osteoporosis, diabetes, and cardiovascular diseases, while promoting gut health and modulating the immune system (3,4). These products have been widely associated with health benefits, apparently due to the complexity of their food matrices composed of important nutrients, probiotics, prebiotics and bioactive compounds (5).

Randomised clinical trials suggest that yoghurt consumption can help reduce body fat and insulin resistance, especially in obese individuals with non-alcoholic fatty liver disease or metabolic syndrome. The live bacteria in yoghurt also appear to induce positive modifications in the composition and metabolic activity of the gut microbiota. The modulation of gut microbiota seems to play a key role in the health benefits associated with yoghurt consumption (3). Curiously, growing evidence during the last decade has shown that high consumption of fermented dairy products, namely yoghurts and cheese, has not been consistently related to cardiovascular disease or even to mortality risk, despite their high saturated fat content (6,7)

Introdução

Os frutos são uma fonte rica de antioxidantes e fibras alimentares, o que os torna uma adição popular aos produtos lácteos fermentados, como o iogurte. A inclusão de uma variedade de frutos não só enriquece o perfil nutricional, aumentando os teores de fibra, compostos fenólicos, vitaminas, ácidos gordos e minerais, como também melhora a qualidade e o valor dos iogurtes comerciais. A combinação de frutas com iogurte potencia as propriedades simbióticas destes alimentos, promovendo a saúde da microbiota intestinal e o bem-estar geral (1).

Acredita-se que a palavra “iogurte” tenha origem no termo turco yoğurmak, que significa engrossar, coalhar ou coagular (2). O iogurte é obtido através da fermentação láctica, um processo que resulta da ação simbiótica de *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Além disso, os iogurtes probióticos ou bioiogurtes, que dominam grande parte do mercado, podem incluir outras bactérias benéficas dos géneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* (3).

O consumo de iogurte e outros leites fermentados tem sido amplamente associado a benefícios para a saúde, incluindo a prevenção de osteoporose, diabetes e doenças cardiovasculares, bem como a promoção da saúde intestinal e a modulação do sistema imunitário (3,4). Estes benefícios são atribuídos à complexidade das suas matrizes alimentares, ricas em nutrientes essenciais, probióticos, prebióticos e compostos bioativos (5).

Ensaio clínicos randomizados sugerem que o consumo de iogurte pode contribuir para a redução da gordura corporal e da resistência à insulina, especialmente em indivíduos obesos com doença hepática gordurosa não alcoólica ou síndrome metabólica. As bactérias vivas presentes no iogurte têm mostrado efeitos positivos na composição e atividade metabólica da microbiota intestinal, cuja modulação desempenha um papel crucial nos benefícios associados ao consumo de iogurte (3). Curiosamente, nas últimas décadas, um número crescente de estudos indicou que um elevado consumo de produtos lácteos fermentados, como iogurtes e queijos, não está consistentemente associado ao aumento do risco de doenças cardiovasculares ou mortalidade, apesar do teor significativo de gorduras saturadas destes produtos (6,7).

There is a wide range of yoghurts on the market, with manufacturers continuously expanding their product offerings by incorporating a diverse range of additives, such as fruits and vegetables, nuts, dried fruits, herbs, cereals, and even floral elements (1). Sugar reduction strategies in yoghurts while maintaining good sensory characteristics are also relevant challenges for the industry. These strategies involve, for example, the use of honey, inulin fibre, lactase or fruit preparations, among others (8). Among the fastest growing segments is Greek yoghurt, or 'strained yoghurt', characterised by its dense and creamy texture, obtained by removing (draining) the whey. This process results in a product with a higher total solids content and a lower lactose content compared to conventional yoghurt (9).

This study aims to develop of a fermented milk product, Greek yoghurt with added nutritional value, through the combination with two local fruits: strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit and peach. These fruits provide bioactive compounds, natural sugars and fibre, promoting healthy and sustainable food, while valuing local ingredients, supporting the economy and preserving cultural heritage.

Beira Interior, a subregion of the Beira Baixa, is the largest peach-growing territory in Portugal, accounting for 48% of the national cultivated area. Additionally, it is the only region with a Protected Geographical Indication (PGI) for peaches, known as Pêssego da Cova da Beira (*Prunus persica* Sieb. & Zucc.), a fruit rich in antioxidants, phenolic compounds, carotenoids and vitamin C (10,11). Remarkably, heat treatment of Cova da Beira's fresh peaches has been shown to not significantly impact their antioxidant properties or total phenolic content, making them a promising source of bioactive compounds for use in the food industry (12).

Strawberry-tree fruit (STF) is an edible red berry, approximately 2 cm in diameter, from an evergreen shrub from the Ericaceae family. This shrub has gained prominence due to its ecological and economic value, particularly in southern European forests as it can withstand and thrive in adverse conditions such as fires and other effects of climate change. Previously a neglected tree, its production areas have increased, including in areas with degraded soils. Portugal is now positioned as the world's largest producer of its fruit. STF is recognized to improve nutritional absorption and natural antioxidant levels and was historically used in traditional medicine for its health-promoting properties. In recent years, STF has gained

O mercado oferece uma vasta gama de iogurtes, com os produtores a expandir continuamente as suas ofertas de produtos, incorporando uma gama diversificada de aditivos, tais como frutas e legumes, frutos secos, ervas aromáticas, cereais e até elementos florais (1). Contudo, a redução de açúcar, mantendo boas características sensoriais, permanece um desafio relevante para a indústria. Estratégias incluem o uso de mel, fibra de inulina, lactase ou preparados de fruta, entre outros (8). Entre os segmentos de maior crescimento está o iogurte grego, ou "iogurte coado", caracterizado pela sua textura densa e cremosa, obtida através da remoção do soro de leite. Este processo resulta num produto com maior teor de sólidos totais e menor teor de lactose em comparação com o iogurte convencional (9).

O presente estudo visa aumentar o valor nutricional e o potencial funcional do iogurte grego, incorporando dois frutos locais da região da Beira Baixa, Portugal: o medronho (*Arbutus unedo* L.) e o pêssêgo. Estes frutos adicionam compostos bioativos, açúcares naturais e fibras, promovendo uma alimentação saudável e sustentável, enquanto valorizam ingredientes locais, apoiando a economia e preservando o património cultural.

A Beira Interior, sub-região da Beira Baixa, destaca-se como o maior produtor de pêssêgo em Portugal, com 48% da área cultivada no país. É também a única região com Indicação Geográfica Protegida (IGP) para o pêssêgo, conhecido como Pêssego da Cova da Beira (*Prunus persica* Sieb. & Zucc.), uma fruta rica em antioxidantes, compostos fenólicos, carotenóides e vitamina C (10,11). Notavelmente, o tratamento térmico dos pêssêgos frescos da Cova da Beira demonstrou não ter um impacto significativo nas suas propriedades antioxidantes ou no seu conteúdo fenólico total, tornando-os uma fonte promissora de compostos bioativos para utilização na indústria alimentar (12).

O medronho é uma baga comestível, de cerca de 2 cm de diâmetro, proveniente de um arbusto perene da família Ericaceae. Este arbusto ganhou proeminência devido ao seu valor ecológico e económico, particularmente nas florestas do sul da Europa, uma vez que pode resistir e prosperar em condições adversas como os incêndios e outros efeitos das alterações climáticas. Anteriormente uma árvore negligenciada, as suas áreas de produção têm vindo a aumentar, incluindo em zonas com solos degradados. Portugal posiciona-se atualmente como o maior produtor mundial do seu fruto. O

more relevance at the scientific level, due to its strong antioxidant capacity owing to the high content of bioactive compounds. STF is an excellent source of vitamin C, dietary fibre, and various antioxidants, including polyphenolic compounds such as phenolic acids and flavonoids. Although several studies have demonstrated antioxidant, antidiabetic, antihypertensive and antiviral effects, among others, suggesting that this berry may be a potential source for phytopharmaceutical therapies, STF is rarely eaten fresh due to their high seed content, which many consumers find unappealing (13,14).

In this study, Greek yoghurt formulations were developed incorporating a combination of peach and strawberry tree fruits. After conducting an informal and preliminary sensory evaluation, two formulations with ratios of 30:70 and 20:80 for STF/peach were selected for a sensory analysis with a panel of untrained consumers. From the sensory analysis, the preferred formulation was further analysed for its physicochemical and microbiological properties, including texture profile analysis, pH and acidity, nutritional analysis and composition of fatty acids.

This research not only explores the functional potential of these local ingredients, but also proposes for the first time the use of STF purée in yoghurts.

Materials and Methods

Materials

Food materials used: UHT semi-skimmed pasture milk (Milhafre, Açores, Portugal); instant whole milk powder (Nestlé NIDO, Vevey, Switzerland), freeze-dried starter culture suitable for yoghurt (Nature Et Aliments, Rezé, France), consisting of milk powder and *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*; STF and peach obtained from local producers in Beira Baixa, Portugal.

Greek Yoghurt with STF and peach production

Milk underwent a heat treatment at 90 °C (Thermomix TM5™, Vorwerk, Wuppertal, Germany) to denature the majority of whey protein (casein) and increase the water absorption capacity to improve consistency

medronho é reconhecida por melhorar a absorção nutricional e os níveis de antioxidantes naturais e foi historicamente utilizada na medicina tradicional pelas suas propriedades promotoras de saúde. Nos últimos anos, o medronho tem vindo a ganhar maior relevância a nível científico, devido à sua forte capacidade antioxidante, em virtude do elevado teor de compostos bioativos. O medronho é uma excelente fonte de vitamina C, fibra alimentar e vários antioxidantes, incluindo compostos polifenólicos como os ácidos fenólicos e os flavonóides. Apesar de vários estudos terem demonstrado efeitos antioxidantes, antidiabéticos, anti-hipertensivos e antivirais, entre outros, sugerindo que esta baga pode ser uma fonte potencial para terapias fitofarmacêuticas, contudo o medronho, raramente, é consumido fresco devido ao seu elevado teor de sementes, que muitos consumidores consideram pouco apelativo (13,14).

Neste estudo, foram desenvolvidas formulações de iogurte grego incorporando uma combinação de frutos de pêssego e medronho. Após a realização de uma avaliação sensorial informal e preliminar, foram selecionadas duas formulações com proporções de 30:70 e 20:80 para medronho/pêssego para uma análise sensorial com um painel de consumidores não treinados. A partir da análise sensorial, a formulação preferida foi ainda analisada quanto às suas propriedades físico-químicas e microbiológicas, incluindo análise do perfil de textura, pH e acidez, análise nutricional e composição de ácidos gordos.

Esta investigação não só explora o potencial funcional destes ingredientes locais, como também propõe pela primeira vez a utilização de puré de medronho em iogurtes.

Material e Métodos

Material

Os materiais alimentares utilizados foram: Leite de pastagem semi-desnatado UHT (Milhafre, Açores, Portugal); leite gordo instantâneo em pó (Nestlé NIDO, Vevey, Suíça), fermentos lácteos liofilizados próprios para iogurte (Nature Et Aliments, Rezé, França), constituídos por leite em pó e *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*; medronho e pêssego obtidos de produtores locais da Beira Baixa, Portugal.

Produção de iogurte grego com medronho e pêssego

O leite foi submetido a um tratamento térmico a 90 °C (Thermomix TM5™, Vorwerk, Wuppertal,

and stability of yoghurts (15). After cooling to a temperature of 45 °C, milk powder was added to a final concentration of 3.2%, to increase the solid content and improve the yoghurt's rheological properties (16). Additionally, the freeze-dried starter culture was mixed and homogenized in milk in a proportion of 12 g to 1 litre, as indicated by the supplier. Following inoculation, milk was incubated at 45 °C (Binder, Tuttlingen, Germany) until pH reached 4.6 (casein isoelectric point) (15). Curd was cut and the whey drained (liquid removed) (Figure 1).

For the fruit preparation, all fruits were washed. Peaches were peeled and seeds were removed. Fruits, separately, were blended (Thermomix TM5™, Vorwerk, Wuppertal, Germany) to obtain a fine paste pulp, and pasteurized by heating at 80 °C for 30 minutes. After cooling, fruit preparations were made with the following fruit percentages based on preliminary sensory trials: formulation z1 - 20% STF and 80% peach, and formulation z2 - 30% STF and 70% peach. Final yoghurt with fruit pulp was prepared by layering 30% of the total weight of yoghurt with a fruit purée mixture of peach and STF. The products were cooled and stored at 4 °C.

Alemanha) para desnaturar a maior parte da proteína do soro (caseína) e aumentar a capacidade de absorção de água para melhorar a consistência e a estabilidade dos iogurtes (15). Após arrefecimento a uma temperatura de 45 °C, foi adicionado leite em pó a uma concentração final de 3,2%, para aumentar o conteúdo sólido e melhorar as propriedades reológicas do iogurte (16). Além disso, o fermento lácteo liofilizado foi misturado e homogeneizado no leite numa proporção de 12 g para 1 litro, conforme indicado pelo fornecedor. Após a inoculação, o leite foi incubado a 45 °C (Binder, Tuttlingen, Alemanha) até o pH atingir 4,6 (ponto isoelétrico da caseína) (15). A coalhada foi cortada e o soro drenado (líquido removido) (Figura 1).

Para a preparação dos frutos, todos os frutos foram lavados. Os pêssegos foram descascados e as sementes retiradas. Os frutos, separadamente, foram triturados (Thermomix TM5™, Vorwerk, Wuppertal, Alemanha) para obter uma pasta fina e pasteurizados por aquecimento a 80 °C durante 30 minutos. Após arrefecimento, foram efectuados preparados de fruta com as seguintes percentagens de fruta, com base em ensaios sensoriais preliminares: formulação z1 - 20% medronho e 80% pêssego, e formulação z2 - 30% medronho e 70% pêssego. O iogurte final com polpa de fruta foi preparado colocando em camadas 30% do peso total do iogurte com uma mistura de puré de fruta de pêssego e medronho. Os produtos foram arrefecidos e armazenados a 4 °C.

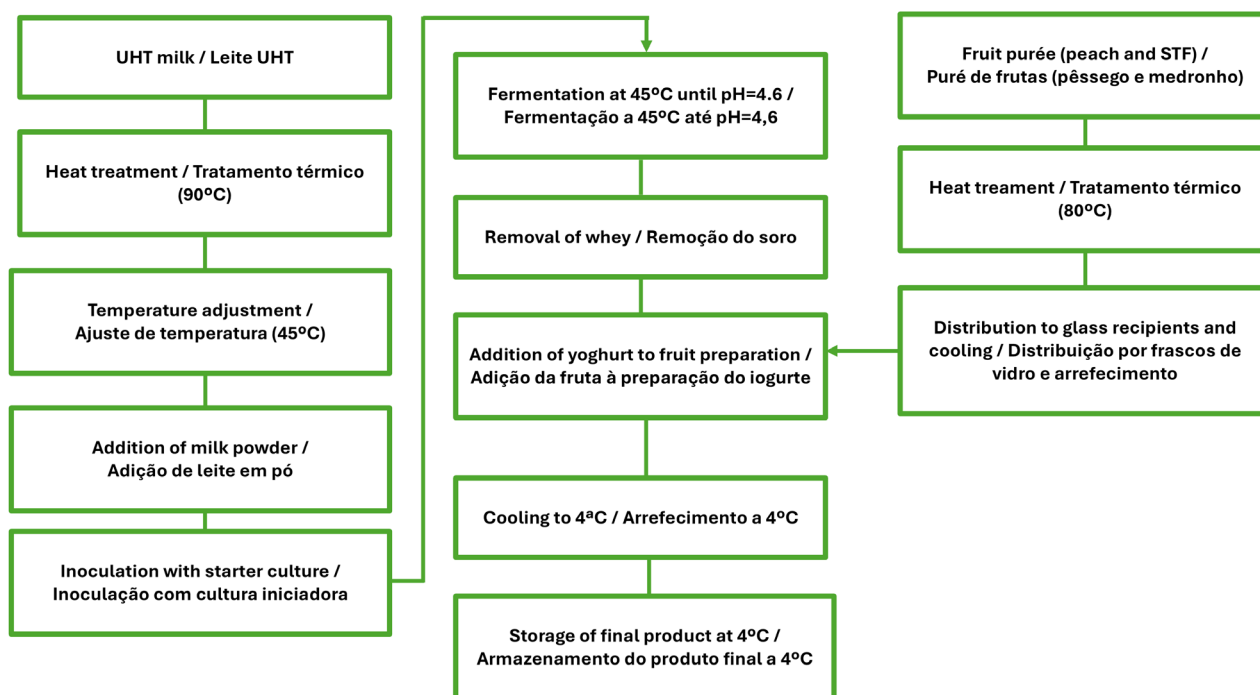


Figure 1 - Flowchart for production of yoghurt with fruit purée, with no added sugar.

Figura 1 - Fluxograma para a produção de iogurte com puré de fruta, sem adição de açúcar.

Sensory Analysis

Two formulations obtained from this study (z1 and z2) and one commercial sample (z0) of natural Greek yoghurt (Intermarché, Bondoufle, France) were evaluated, as the use of the commercial natural yoghurt aimed to contextualize the results within the real consumption scenario. Samples were presented in transparent glass recipients containing 30 g of product sample at 4°C and randomly numbered using a 3-digit code. Sensory analysis was performed using a nine-point hedonic scale test (1 = extremely unpleasant; 5 = indifferent, 9 = extremely pleasant) for evaluating sample acceptability, regarding appearance, aroma, texture, flavour and global appreciation. A five-point scale test (including 1= would not buy, to 5= would buy) was applied to evaluate purchase intention, and an ordering test was performed in which participants had to sort in order of preference, from the sample they liked best to the sample they liked least, according to ISOs (International Organization for Standardization) 11136:2014 and 8587:2006 (17,18). Panelists were recruited through an invitation posted on social media, inviting adults of all genders to participate in the sensory analysis. Twenty-three participants were available and willing to participate as untrained consumers. These participants, consisting of 19 females and 4 males, were aged between 22 and 51 years. Prior to their participation, participants agreed by signing an informed consent form that mentioned the purpose of the study, the subject responsibilities, the required confidentiality, the voluntary participation and right to withdrawal, the collection of data, the existence of no monetary compensation and, finally, the instructions to conduct the sensory testing. This sensory analysis was conducted under controlled sensory laboratory conditions.

Physical analysis

Texture profile was explored using a texture analyser TA-XTplus Texturometer (Stable Mycro Systems, Godalming, United Kingdom) equipped with a cylindrical probe (SMSP/1SP) with a 35 mm diameter. The measurement conditions were 30 mm of penetration distance, 1 mm/s of pre-test speed, 1 mm/s of test speed and 10 mm/s of post-test speed; the results of firmness and cohesiveness were expressed in Newton (N) and consistency in N/s. For each sample, measurements were repeated three times.

Análise sensorial

Foram avaliadas duas formulações obtidas neste estudo (z1 e z2) e uma amostra comercial (z0) de iogurte grego natural (Intermarché, Bondoufle, França), uma vez que a utilização do iogurte natural comercial teve como objetivo contextualizar os resultados no cenário real de consumo. As amostras foram apresentadas em recipientes de vidro transparente contendo 30 g de amostra do produto a 4°C e numeradas aleatoriamente através de um código de 3 dígitos. A análise sensorial foi realizada através de um teste de escala hedônica de nove pontos (1 = extremamente desagradável; 5 = indiferente, 9 = extremamente agradável) para avaliar a aceitabilidade da amostra, relativamente ao aspeto, aroma, textura, sabor e apreciação global. Foi aplicado um teste de escala de cinco pontos (incluindo 1= não compraria, a 5= compraria) para avaliar a intenção de compra, e foi realizado um teste de ordenação em que os participantes tinham de ordenar por ordem de preferência, da amostra de que mais gostavam para a amostra de que menos gostavam, de acordo com as ISOs (International Organization for Standardization) 11136:2014 e 8587:2006 (17,18). Os membros do painel foram recrutados através de um convite publicado nas redes sociais, apelando aos adultos de todos os géneros para participarem na análise sensorial. Vinte e três participantes estavam disponíveis e dispostos a participar como consumidores não treinados. Estes participantes, 19 do género feminino e 4 do género masculino, tinham idades compreendidas entre os 22 e os 51 anos. Antes da sua participação, os participantes concordaram em assinar um formulário de consentimento informado que mencionava o objetivo do estudo, as responsabilidades do sujeito, a confidencialidade exigida, a participação voluntária e o direito de desistência, a recolha de dados, a não existência de compensação monetária e, finalmente, as instruções para a realização do teste sensorial. Esta análise sensorial foi efectuada em condições controladas de laboratório sensorial.

Análise física

O perfil de textura foi explorado com um analisador de textura TA-XTplus Texturometer (Stable Mycro Systems, Godalming, Reino Unido) equipado com uma sonda cilíndrica (SMSP/1SP) de 35 mm de diâmetro. As condições de medição foram 30 mm de distância de penetração, 1 mm/s de velocidade de pré-teste, 1 mm/s de velocidade de teste e 10 mm/s de velocidade de pós-teste; os resultados de firmeza e coesividade foram expressos em Newton (N) e a consistência em N/s. Para cada amostra, as medições foram repetidas três vezes.

Chemical analysis

The pH was evaluated with the aid of a potentiometer (Consort C861), fitted with an electrode (Consort EE9) and a temperature probe (Consort DD6), previously calibrated with the standard solutions (19). Acidity was determined according to titration with NaOH (0.1 mol/dm³) up to a final pH of 8.1 (20), with the results expressed in mEq/100 g and g lactic acid/100 g.

The energy value was calculated in kcal and kJ from the protein, lipid, fibre and carbohydrate content (Eq. 1, Eq. 2, Eq. 3) (21):

$$\text{Eq. 1: Energy value (kcal)} = 4 \times \text{Proteins} + 9 \times \text{Lipids} + 4 \times \text{Carbohydrates} + 2 \times \text{Fibre}$$

$$\text{Eq. 2: Energy value (kJ)} = 17 \times \text{Proteins} + 37 \times \text{Lipids} + 17 \times \text{Carbohydrates} + 8 \times \text{Fibre}$$

For protein, lipid, total solids and moisture content, the developed food was analysed using near-infrared transmission spectrophotometry (FoodScan, FOSS, Hilleroed, Denmark), performed in duplicate (22). Total ash content was determined by incineration at 500 °C in a muffle furnace (Lenton SAF11/1) (23). Carbohydrate quantification was performed indirectly, according to the difference between total percentage and moisture content, ash, fibre and other macronutrients, using the following equation:

$$\text{Eq. 3: Carbohydrates (\%)} = 100 - (\text{Proteins} + \text{Lipids} + \text{Fibre} + \text{Moisture} + \text{Ash})$$

Quantification of sugars (fructose, glucose, sucrose, lactose and maltose) was conducted according to the Liquid Chromatography (ICS-3000, Dionex) method (24). An electrochemical detector and Chromeleon software were used, through the appropriate specifications for ion exchange chromatography column (CarboPac PA20, 3×150 mm), a pre-column (CarboPacGuard, 3×30 mm), at a flow rate of 0.5 mL min⁻¹ and two NaOH mobile phases (200 mM and 15 mM). Water extraction was performed, followed by homogenization, centrifugation, removal of the interferants on a solid phase extraction column (SPE-C18, 500 mg/10 mL) and subsequent filtration. The saturated fatty acids present in z1 were evaluated according to the Acid Hydrolysis Capillary Gas Chromatographic method (25). Lipid extraction, basic methylation, identification and quantification by gas chromatography with an injector (7683 B, split mode, injector temperature 260 °C) and flame ionization detector (GC SSL-FID 7890 Agilent Technologies) were analyzed, using a DBWAXetr column (30 m, 0.25 mm, 0.25 µm) and 1 µL injection volume. The fatty

Análise química

O pH foi avaliado com o auxílio de um potenciômetro (Consort C861), equipado com um eléctrodo (Consort EE9) e uma sonda de temperatura (Consort DD6), previamente calibrados com as soluções padrão (19). A acidez foi determinada por titulação com NaOH (0,1 mol/dm³) até um pH final de 8,1 (20), sendo os resultados expressos em mEq/100 g e g ácido láctico/100 g.

O valor energético foi calculado em kcal e kJ a partir do teor de proteínas, lípidos, fibras e hidratos de carbono (Eq. 1, Eq. 2, Eq. 3) (21):

$$\text{Eq. 1: Valor energético (kcal)} = 4 \times \text{Proteínas} + 9 \times \text{Lípidos} + 4 \times \text{Hidratos de carbono} + 2 \times \text{Fibras}$$

$$\text{Eq. 2: Valor energético (kJ)} = 17 \times \text{Proteínas} + 37 \times \text{Lípidos} + 17 \times \text{Hidratos de carbono} + 8 \times \text{Fibras}$$

Para o teor de proteínas, lípidos, sólidos totais e humidade, os alimentos desenvolvidos foram analisados por espectrofotometria de transmissão no infravermelho próximo (FoodScan, FOSS, Hilleroed, Dinamarca), realizada em duplicado (22). O teor total de cinzas foi determinado por incineração a 500 °C numa mufla (Lenton SAF11/1) (23). A quantificação dos hidratos de carbono foi efectuada indiretamente, de acordo com a diferença entre a percentagem total e o teor de humidade, cinzas, fibra e outros macronutrientes, utilizando a seguinte equação:

$$\text{Eq. 3: Hidratos de carbono (\%)} = 100 - (\text{Proteínas} + \text{Lípidos} + \text{Fibra} + \text{Humidade} + \text{Cinzas})$$

A quantificação dos açúcares (frutose, glucose, sacarose, lactose e maltose) foi efectuada segundo o método de Cromatografia Líquida (ICS-3000, Dionex) (24). Foi utilizado um detetor eletroquímico e o software Chromeleon, através das especificações adequadas para a coluna de cromatografia de troca iónica (CarboPac PA20, 3×150 mm), uma pré-coluna (CarboPacGuard, 3×30 mm), a um caudal de 0,5 mL min⁻¹ e duas fases móveis de NaOH (200 mM e 15 mM). Foi efectuada uma extração com água, seguida de homogeneização, centrifugação, remoção dos interferentes numa coluna de extração em fase sólida (SPE-C18, 500 mg/10 mL) e subsequente filtração. Os ácidos gordos saturados presentes em z1 foram avaliados de acordo com o método de hidrólise ácida por cromatografia gasosa capilar (25). Procedeu-se à extração dos lípidos, à metilação básica, à identificação e à quantificação por cromatografia gasosa com injetor (7683 B, modo split, temperatura do injetor 260 °C) e detetor de ionização de chama (GC SSL-FID 7890 Agilent Technologies), utilizando uma coluna DBWAXetr (30 m, 0,25 mm, 0,25 µm)

acid profile was quantified when the lipid content was higher than 0.2 g/100 g. Statistically significant values were found when greater than 1.0. Regarding the amount of fibre present in z1 and in the fruit purée, it was evaluated according to the Weende method (Fibertec System1020, Tecator, Hoganas, Sweden) (26). This method consists of an oxidative hydrolytic degradation of the cellulose and lignin by sulfuric acid solution (0.13 M sulfuric acid solution) and a subsequent alkali solution (0.32 M sodium hydroxide solution) treatment. The residue obtained after filtration and incineration gives the crude fibre content. The results were expressed in g/100 g of product.

Microbiological Analysis

The *Enterobacteriaceae* count was conducted according to the standards established by the European Commission Regulation (EC) N.º 365/2010. Three successive dilutions were prepared, followed by inoculation of the sample in a double layer of Violet Red Bile Agar with Glucose (VRBG) and incubation at 37 ± 1 °C for 24 ± 2 h. Subsequently, characteristic colonies were counted. The search for *Listeria monocytogenes* was performed in accordance with the standards laid down in the European Commission Regulation (EC) N.º 1441/2007. A pre-enrichment was performed in ½ Fraser supplement, followed by an incubation at 37 ± 1 °C for 24 ± 2 h, and a subsequent enrichment under the same incubation conditions. Isolation was performed by depletion on ALOA agar supplement and PALCAM agar, incubating at 37 ± 1 °C for 24 ± 2 h. Results were expressed as colony-forming units per gram (CFU/g).

Statistical Analysis

Statistical analyses were performed with GraphPad Prism 9.0 (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA), being considered a statistically significant result when $p < 0.05$. The data are displayed as the mean ($\pm$ standard deviation (SD)) for continuous variables and as absolute and relative frequencies (%) for categorical variables. To compare the means of two continuous variables that follow a normal distribution, an independent samples Student's t-test was employed. When there is one independent variable and one dependent variable with more than two groups, a one-way ANOVA was conducted. This was followed by a Tukey's honestly significant difference (HSD) post hoc test to identify the specific groups with differing means. Friedman test, a nonparametric test, is used to compare three or more groups and assess significance in ordering tests.

e um volume de injeção de 1 µL. O perfil de ácidos gordos foi quantificado quando o teor de lípidos era superior a 0,2 g/100 g. Foram encontrados valores estatisticamente significativos quando superiores a 1,0. Relativamente à quantidade de fibra presente no z1 e no puré de fruta, esta foi avaliada segundo o método de Weende (Fibertec System1020, Tecator, Hoganas, Suécia) (26). Este método consiste numa degradação hidrolítica oxidativa da celulose e da lenhina por uma solução de ácido sulfúrico (solução de ácido sulfúrico 0,13 M) e num tratamento subsequente com uma solução alcalina (solução de hidróxido de sódio 0,32 M). O resíduo obtido após filtração e incineração fornece o teor de fibra bruta. Os resultados foram expressos em g/100 g de produto.

Análise microbiológica

A contagem de Enterobacteriaceae foi efectuada de acordo com as normas estabelecidas pelo Regulamento (CE) n.º 365/2010 da Comissão Europeia. Foram preparadas três diluições sucessivas, seguidas de inoculação da amostra numa camada dupla de Ágar Bile Vermelho Violeta com Glicose (VRBG) e incubação a 37 ± 1 °C durante 24 ± 2 h. Posteriormente, foram contadas as colónias características. A pesquisa de *Listeria monocytogenes* foi efectuada de acordo com as normas estabelecidas no Regulamento (CE) n.º 1441/2007 da Comissão Europeia. Foi efectuado um pré-enriquecimento em ½ suplemento Fraser, seguido de uma incubação a 37 ± 1 °C durante 24 ± 2 h, e um enriquecimento subsequente nas mesmas condições de incubação. O isolamento foi efectuado por esgotamento em suplemento de ágar ALOA e em ágar PALCAM, incubando a 37 ± 1 °C durante 24 ± 2 h. Os resultados foram expressos em unidades formadoras de colónias por grama (CFU/g).

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas com o GraphPad Prism 9.0 (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA), sendo considerado um resultado estatisticamente significativo quando $p < 0,05$. Os dados são apresentados como média ($\pm$ desvio padrão (DP)) para variáveis contínuas e como frequências absolutas e relativas (%) para variáveis categóricas. Para comparar as médias de duas variáveis contínuas que seguem uma distribuição normal, foi utilizado um teste t de Student para amostras independentes. Quando existe uma variável independente e uma variável dependente com mais de dois grupos, foi efectuada uma ANOVA unidirecional. Seguiu-se um teste post hoc de Tukey de diferença honestamente significativa (HSD) para identificar os grupos específicos com médias diferentes. O teste de

Results and Discussion

Sensory Analysis

Hedonic sensory test results are shown as appearance, aroma, texture, flavour, overall appreciation and purchase intention (Table 1).

Control yoghurt z0 had a significantly better acceptance in terms of texture and purchase intention, compared to formulation z2. Although formulation z1 had lower scores in these two parameters in comparison to z0, this difference was not significant. Studies suggest that consumers seem to favour yoghurts with a sweet taste over those with a more acidic profile. Common approaches to achieve this include flavouring with fruit or adding sugar (27,28,29). This preference for sweetness is further supported by the fact that z1 received the highest scores (although not significant) even when compared to z2 and the commercial product. This result can be explained by the composition of z1, which contains 20% STF and 80% peach, in contrast to z2, which has 30% STF and 70% peach. The higher proportion of STF in z2, a fruit with a more acidic profile, likely reduced the perceived sweetness, influencing consumer preference.

Concerning the ordering test for taste (Table 2), a general favouritism was observed in the order $z0 > z1 > z2$, and this was consistent with the results obtained in the hedonic test. Friedman's test results show the ordering between samples in terms of preference is highly significant and cannot be ascribed to random effects.

In the comments of the panellists, the most appreciated property of z0 was its texture, as mentioned by 47.82% of the respondents. However, the highest disapproval rate for z0 was its flavour with 13%. On the other hand, z1 was mostly appreciated for its flavour (43.47%), while the least preferred attribute was texture (26.08%). For z2, the most important attribute was flavour (34.78%), while texture received the lowest rating (47.82%). In general, the preference

Friedman, um teste não paramétrico, é utilizado para comparar três ou mais grupos e avaliar a significância dos testes de ordenação.

Resultados e Discussão

Análise sensorial

Os resultados do teste sensorial hedónico são apresentados para os parâmetros de aparência, aroma, textura, sabor, apreciação global e intenção de compra (Tabela 1).

O iogurte z0 (controlo) apresentou uma aceitação significativamente superior em termos de textura e intenção de compra quando comparada com a formulação z2. Embora a formulação z1 tenha registado pontuações inferiores nestes dois parâmetros em relação à z0, a diferença não foi estatisticamente significativa. Os estudos sugerem que os consumidores parecem preferir os iogurtes com sabores adocicados, em vez dos que têm um perfil mais ácido. As abordagens comuns para alcançar este objetivo incluem aromatizar com fruta ou adicionar açúcar (27,28,29). No que diz respeito ao sabor, a amostra z1 obteve as pontuações mais elevadas (embora não significativamente diferentes), mesmo em comparação com o produto comercial. Este resultado pode ser explicado pela composição do z1, que contém 20% de medronho e 80% de pêsego, em contraste com o z2, que tem 30% de medronho e 70% de pêsego. A maior proporção de medronho em z2, um fruto com um perfil mais ácido, provavelmente reduziu a doçura percebida, influenciando a preferência do consumidor.

No teste de ordenação do sabor (Tabela 2), observou-se um favoritismo geral na mesma ordem $z0 > z1 > z2$, consistente com os resultados do teste hedónico. Os resultados do teste de Friedman demonstraram que a ordenação das amostras em termos de preferência é estatisticamente muito significativa, não podendo ser atribuída ao acaso.

Nos comentários dos inquiridos, a textura do iogurte controlo z0 foi destacada como a característica mais apreciada, mencionada por 47,82% dos participantes. Contudo, o sabor foi o atributo mais desaprovado da z0, registando uma taxa de rejeição de 13%. Por outro lado, o sabor foi o atributo mais valorizado da amostra z1 (43,47%), enquanto a textura foi o aspeto menos apreciado (26,08%). Relativamente à amostra z2, o sabor foi também a característica mais destacada (34,78%), enquanto a textura recebeu a classificação mais baixa (47,82%). De forma geral, a preferência pela

Table 1 - Analysis of the hedonic test of sensory evaluation, regarding the parameters of appearance, aroma, texture, taste, global appreciation, and purchase intention.

Tabela 1 - Análise do teste hedônico de avaliação sensorial relativamente aos parâmetros de aspeto, aroma, textura, sabor, apreciação global e intenção de compra.

Parameters / Parâmetros	Formulations / Formulações		
	z0	z1	z2
Appearance / Aspeto	7.52 ($\pm$ 1.47) ^a	7.39 ($\pm$ 1.41) ^a	7.43 ($\pm$ 1.31) ^a
Aroma / Aroma	7.61 ($\pm$ 1.44) ^a	7.39 ($\pm$ 1.31) ^a	7.09 ($\pm$ 1.44) ^a
Texture / Textura	7.78 ($\pm$ 1.28) ^a	6.74 ($\pm$ 1.32) ^{ab}	5.83 ($\pm$ 2.10) ^b
Flavour / Sabor	7.30 ($\pm$ 1.74) ^a	7.43 ($\pm$ 1.47) ^a	6.83 ($\pm$ 1.72) ^a
Overall appreciation / Apreciação global	7.52 ($\pm$ 1.59) ^a	7.30 ($\pm$ 1.22) ^a	6.57 ($\pm$ 1.75) ^a
Purchase intention / Intenção de compra	4.26 ($\pm$ 1.05) ^a	3.65 ($\pm$ 0.98) ^{ab}	3.35 ($\pm$ 1.15) ^b

Data expressed as mean ($\pm$ SD). Abbreviations: z0, control yoghurt; z1, formulation z1; z2, formulation z2. /

Dados expressos em média ($\pm$ DP). Abreviaturas: z0, iogurte controlo; z1, formulação z1; z2, formulação z2.

Distinct letters indicate significant differences (ANOVA, Tukey's multiple comparisons test of three formulations within each parameter).

Significance observed for the texture parameter between z0 and z2 ($p < 0.01$) and for the purchase intention parameter between z0 and z2 ($p < 0.05$). No other statistically significant results were found. /

Letras distintas indicam diferenças significativas (ANOVA, teste de comparações múltiplas de Tukey de três formulações dentro de cada

parâmetro). Significância observada para o parâmetro textura entre z0 e z2 ($p < 0,01$) e para o parâmetro intenção de compra entre z0 e z2 ($p < 0,05$). Não foram encontrados outros resultados estatisticamente significativos.

Table 2 - Evaluation of the preference for taste (ordering test).

Tabela 2 - Avaliação da preferência pelo sabor (teste de ordenação).

Samples / Amostras	Score / Escala	P value ^a / valor de p ^a
	(Minimum-1, Maximum-3) / (Mínimo-1, Máximo-3)	
	Average (SD) / Média (DP)	
z0	2.35 ($\pm$ 0.48)	<0.0001
z1	1.65 ($\pm$ 0.48)	
z2	1.35 ($\pm$ 0.48)	

Data expressed as mean ($\pm$ SD). Abbreviations: z0, control yoghurt; z1, formulation z1; z2, formulation z2. /

Dados expressos em média ($\pm$ DP). Abreviaturas: z0, iogurte controlo; z1, formulação z1; z2, formulação z2.

^a p-values Friedman's test (non-parametric test). /

^a Valores de p Teste de Friedman (teste não paramétrico).

for z0 over the developed formulations could be explained by the fact z0 is a commercial Greek natural yoghurt, whose production process has been industrially tested and optimised to meet consumers' preferences. Also, the presence of sclerites (hard granules) from STF in both formulations z1 and z2 may have negatively affected its acceptance. Still, 30.4% of respondents preferred z1 yoghurt over control yoghurt z0, concerning overall appreciation. The results for flavour combined with the remaining parameters reveal z1 is the preferred formulation among the two formulations prepared in this study.

iogurte Z0 em relação às formulações desenvolvidas (z1 e z2) pode ser explicada pelo facto de z0 ser um iogurte natural grego comercial, cujo processo de produção foi otimizado industrialmente para atender às preferências dos consumidores. Além disso, a presença de escleritos (pequenos grânulos duros) do medronho nas formulações z1 e z2 pode ter afetado negativamente a aceitação destes produtos. Ainda assim, é relevante notar que 30,4% dos participantes preferiram o iogurte z1 ao iogurte de controlo z0 no parâmetro de apreciação global. Quando se analisam os resultados do sabor em conjunto com os restantes parâmetros, conclui-se que a amostra z1 foi a formulação preferida entre as duas desenvolvidas neste estudo.

Table 3 - Texture profile of the control yoghurt (z0) and the preferred final formulation (z1).**Tabela 3** - Perfil de textura do iogurte de controlo (z0) e a formulação final preferida (z1).

	z0	z1	p value ^a / valor de p ^a
Firmness, N / Firmeza, N	0.63 ($\pm$ 0.01)	0.27 ($\pm$ 0.01)	0.199
Consistency, N/s / Consistência, N/s	14.25 ($\pm$ 0.28)	6.36 ($\pm$ 0.22)	0.199
Cohesiveness, N / Coesividade, N	-0.61 ($\pm$ 0.04)	-0.19 ($\pm$ 0.01)	0.223

Data expressed as mean ($\pm$ SD). Abbreviations: z0, control yoghurt; z1, formulation z1; z2, formulation z2. /

Dados expressos em média ($\pm$ DP). Abreviaturas: z0, iogurte de controlo; z1, formulação z1; z2, formulação z2.

^a p-values for comparisons between groups were tested by t-student test. /

^a Os valores de p para comparações entre grupos foram testados pelo teste t-student.

Physical analysis

Texture of the yoghurt is one of the most important attributes, and can be influenced by multiple factors, such as the content of proteins, lipids, total soluble solids, and fermentation (30,31). Although there was no statistical significance for the parameters of firmness, consistency, cohesiveness between z1 and z0 samples (Table 3), the values for mechanical parameters analysed were higher in sample z0 when compared to the developed z1 sample, which may explain the preference for the commercial yoghurt in the hedonic test of sensory analysis.

The presence of sour cream in commercial formulations may explain the disparity of values, since the addition of fat tends to influence the parameters associated with firmness and consistency (32). Additionally, studies indicate that the closer cohesivity values are to zero the lower soluble solids content there seems to be in yoghurt (31). Consequently, the developed product is anticipated to have a lower concentration of total solids compared to commercially available Greek natural yoghurt.

This difference in texture may explain the higher sensory scores given to commercial yoghurt, as consumers tend to prefer products with a creamier texture.

Chemical analysis

The pH control is useful for monitoring the quality and safety of yoghurt during development as it relates to acidity criteria and microbiological growth. The pH of the yoghurt should be lower than that of milk (pH = 6.35 - 6.9) due to the synergistic effect of the bacterial cultures present in the fermented milk

Análise física

A textura do iogurte é um dos atributos mais importantes, influenciado por diversos fatores, como o teor de proteínas, lípidos, sólidos solúveis totais e o processo de fermentação (30,31). Embora não tenha sido observada significância estatística para os parâmetros de firmeza, consistência e coesividade entre as formulações z1 e z0 (Tabela 3), os valores dos parâmetros mecânicos analisados foram superiores no iogurte controlo z0 em comparação com a formulação z1. Esta diferença pode ajudar a explicar a maior preferência pelo iogurte comercial no teste hedónico realizado na análise sensorial.

A presença de creme azedo nas formulações comerciais pode justificar esta disparidade, uma vez que a adição de gordura tende a influenciar positivamente os parâmetros relacionados com a firmeza e a consistência (32). Além disso, estudos indicam que valores de coesividade mais próximos de zero estão frequentemente associados a um menor teor de sólidos solúveis no iogurte (31). Assim, é provável que o produto desenvolvido apresente uma menor concentração de sólidos totais em comparação com o iogurte natural grego comercial.

Esta diferença na textura pode explicar as pontuações sensoriais superiores atribuídas ao iogurte comercial, já que os consumidores tendem a preferir produtos com uma textura mais cremosa.

Análise química

O controlo do pH é um parâmetro essencial para monitorizar a qualidade e a segurança do iogurte durante o desenvolvimento, com impacto nos critérios de acidez e no crescimento microbiológico. O pH do iogurte deve ser inferior ao do leite (pH = 6,35-6,9), devido ao efeito sinérgico das culturas bacterianas

product. The reduction in pH has several beneficial effects on human health, namely an increase in the bioavailability of calcium and phosphorus, facilitating their absorption; and, due to the partial degradation of macronutrients, there is greater digestibility compared to milk (34).

The optimum acidic conditions for commercial yoghurt have been described as lactic acidity levels ranging from 7.0 to 9.0 mg/g and a pH between 4.0 and 4.4, which help prevent an excessively acidic taste in the product (34). The fruit purée, the yoghurt z1 without fruit purée and the final product with both z1 yoghurt and fruit purée present pH values of 3.73 (± 0.02), 4.61 (± 0.06) and 4.12 (± 0.01), respectively, which fall within the recommended interval previously described. Similarly, the developed yoghurt (9.0 mg/g of lactic acid) falls in the upper limit of the recommended standards. Furthermore, the incorporation of fruit purée (pH = 3.73) lowers the pH of the developed yoghurt, given that most fruits have acidic pH values of 3-5 (35).

Regarding the nutritional profile of the preferred developed formulation (Table 4), the energy value (62.64 kcal/100g), fat content (1.68 g), carbohydrate content (8.44 g) and simple sugars (6.23 g) of the z1 yoghurt are lower than the representative values for commercial Greek yoghurt with fruit, as consumed by the general population, listed in the Food Composition Table provided by INSA (Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge)(36). All these nutritional parameters are also lower in z1 yoghurt when compared to the reference natural Greek yoghurt, except for the carbohydrate content. On the other hand, the protein content in z1 yoghurt (3.22 g/100g) is higher compared to the Commercial Greek yoghurt with fruit. This characteristic of the z1 yoghurt might present as advantageous as a higher protein content in yoghurt is preferred by consumers aiming to increase protein intake, supporting muscle maintenance, tissue repair, and satiety, particularly for athletes, the elderly, or those on specific diets.

Regarding texture, the z1 yoghurt had a considerably lower total solids content compared to commercial Greek yoghurts, which typically range between 23% and 25% (37). The lower total solids content appears to correlate with the reduced firmness and consistency observed in the texture profile analysis of the developed product. Regarding fibre, however, the yoghurt developed had a higher value (0.47 g) than the commercial Greek yoghurt with fruit, however this value was similar to the z0 formulation. The presence

presentes no produto lácteo fermentado. A redução do pH traz benefícios significativos para a saúde humana, como o aumento da biodisponibilidade de cálcio e fósforo, facilitando a sua absorção, e a melhoria da digestibilidade em comparação com o leite, devido à degradação parcial dos macronutrientes (34).

As condições ácidas ideais para iogurtes comerciais são geralmente descritas por níveis de acidez láctica entre 7,0 e 9,0 mg/g e um pH entre 4,0 e 4,4, que evitam um sabor excessivamente ácido no produto (34). No presente estudo, o puré de fruta, o iogurte z1 sem puré de fruta e o produto final (iogurte z1 com puré de fruta) apresentaram valores de pH de 3,73 ($\pm 0,02$), 4,61 ($\pm 0,06$) e 4,12 ($\pm 0,01$), respetivamente, enquadrando-se nos intervalos recomendados. Adicionalmente, o iogurte desenvolvido apresentou uma acidez de 9,0 mg/g de ácido láctico, posicionando-se no limite superior das normas indicadas. A incorporação de puré de fruta (pH = 3,73) reduziu o pH do iogurte desenvolvido, refletindo a acidez típica das frutas, geralmente com valores de pH entre 3 e 5 (35).

No que diz respeito ao perfil nutricional da formulação desenvolvida preferida (Tabela 4), o valor energético (62,64 kcal/100 g), o teor de gordura (1,68 g), o teor de hidratos de carbono (8,44 g) e o teor de açúcares simples (6,23 g) do iogurte z1 são inferiores aos valores de referência para iogurte grego adoçado com fruta, disponíveis na Tabela de Composição de Alimentos do INSA (Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge) (36). Todos estes parâmetros nutricionais são também inferiores no iogurte z1 quando comparados com o iogurte grego natural de referência, exceto o teor de hidratos de carbono. O teor proteico do iogurte z1 (3,22 g/100 g) destacou-se como superior em comparação com os iogurtes gregos de referência, tanto o adoçado com fruta como o natural. Este aspeto é particularmente vantajoso, uma vez que um maior teor de proteínas no iogurte é preferido por consumidores que procuram aumentar a ingestão proteica, seja para suporte muscular, reparação tecidual ou aumento da saciedade, especialmente relevante para atletas, idosos ou indivíduos com dietas específicas.

Relativamente à textura, o iogurte z1 apresentou um teor consideravelmente menor de sólidos totais (20,65%) em comparação com iogurtes gregos comerciais, que tipicamente variam entre 23% e 25% (37). Esta diferença pode estar correlacionada com a menor firmeza e consistência observadas na análise de textura. No entanto, em termos de fibra, o iogurte desenvolvido apresentou um valor mais elevado (0,47 g) do que o iogurte grego natural de referência, embora inferior ao iogurte grego adoçado com

Table 4 - Nutritional characterization of z1 formulation.**Tabela 4** - Caracterização nutricional da formulação z1.

	Reference sweetened Greek yoghurt with fruit (per 100 g)* / Referência ao iogurte grego adoçado com fruta (per 100 g)*	RDA (%) / DDR (%)	Reference natural Greek yoghurt (per 100 g)* / Referência iogurte grego natural (per 100 g)*	RDA (%) / DDR (%)	Final product (z1) (per 100 g) / Produto final (z1) (per 100 g)	RDA (%) / DDR (%)
Energy / Energia						
Kcal / Kcal	113	5.65	85	4.25	62.64 (± 0.50)	3.13
kJ / kJ	475		354		263.87 (± 2.10)	
Proteins, g / Proteínas, g	2.7	5.4	1.4	2.8	3.22 (± 0.03)	6.44
Lipids, g / Lípidos, g	5	7.14	6.6	9.43	1.68 (± 0.01)	2.4
of which are saturated, g / Dos quais saturados, g	3.2	16	4.2	21	1	5
of which are monounsaturated, g / Dos quais insaturados, g	1.3	-	1.6	-	0.46	-
of which are polyunsaturated, g / Dos quais poliinsaturados, g	0.2	-	0.2	-	0.07	-
Carbohydrates, g / Carboidratos, g	13.7	5.27	4.8	1.85	8.44 (± 0.10)	3.25
of which are sugars / Dos quais açúcares	13.7	15.22	4.8	5.33	6.23 (± 0.21)	6.92
Fibre, g / Fibra g	0.8	2.67	0	0	0.47 (± 0.02)	1.88
Ashes, g / Cinzas, g	0.7	-	0.75	-	0.72 (± 0.01)	-

Data expressed as mean (± SD). Abbreviations: RDA, Recommended Daily Allowance for an average adult, i.e., 2000 kcal or 8400 kJ. /

Dados expressos em média (± DP). Abreviações: DDR, Dose Diária Recomendada para um adulto médio, ou seja, 2000 kcal ou 8400 kJ.

*these reference values for sweetened Greek yoghurt with fruit and natural Greek yoghurt are found in the Food Composition Table (Tabela de Composição de Alimentos), provided by INSA (Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge) and are based on comprehensive analyses of the nutritional content of foods commonly consumed in Portugal (45). /

*Estes valores de referência para o iogurte grego adoçado com fruta e para o iogurte grego natural constam da Tabela de Composição de Alimentos, disponibilizada pelo INSA (Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge) e baseiam-se em análises exaustivas do conteúdo nutricional dos alimentos habitualmente consumidos em Portugal (45).

of fibre is due to the fruit puree used, which contains 1.49 g of fibre.

According to the Commission Regulation (EC) N.º 1924/2006 on nutrition and health claims made on foods (38), the product has “no added sugars”, i.e., it only contains naturally occurring sugars; is “low fat”, as it is less than 3 g/100 g; and is “low saturated fat”, as it does not exceed 1.5 g/100 g. While the developed yoghurt falls under the semi-skimmed yoghurt category, the Greek yoghurt on the market has a full-fat yoghurt profile, likely due

fruta. A presença de fibra deve-se ao puré de frutos utilizado, que contém 1,49 g de fibra.

De acordo com o Regulamento (CE) n.º 1924/2006 sobre alegações nutricionais e de saúde (38), o iogurte desenvolvido pode ser classificado como um produto com “baixo teor de gordura” (<3 g/100 g), “baixo teor de gordura saturada” (<1,5 g/100 g) e “sem açúcares adicionados”, contendo apenas os açúcares naturalmente presentes nos ingredientes. Em contrapartida, os iogurtes gregos comerciais são frequentemente classificados como iogurtes gordos,

Table 5 - Quantification of sugars in the preferred developed formulation (z1).

Tabela 5 - Quantificação dos açúcares na formulação desenvolvida preferida (z1).

Sugars / Açúcares	Commercial greek yoghurt with fruit (%)* / iogurte grego comercial com frutos (%)*	Final product (%) / Produto final (%)
Lactose / Lactose	15.51 ($\pm$ 0.18)	2.98 ($\pm$ 0.06)
Sucrose / Sacarose	30.49 ($\pm$ 8.86)	1.55 ($\pm$ 0.01)
Glucose / Glucose	5.97 ($\pm$ 4.82)	0.98 ($\pm$ 0.06)
Fructose / Frutose	43.13 ($\pm$ 4.19)	0.73 ($\pm$ 0.09)
Galactose / Galactose	4.91 ($\pm$ 0.31)	n.d.
Maltose / Maltose	n.d.	n.d.

Data expressed as mean ($\pm$ SD). Abbreviations: n.d., not detected. * Average from two different commercial Greek-yoghurts (46) /
 Dados expressos em média ($\pm$ DP). Abreviaturas: n.d., não detectado. * Média de dois iogurtes gregos comerciais diferentes (46).

to strategies frequently employed in commercial products to enhance the perception of creaminess, such as the addition of sour cream or other enriching ingredients. These ingredients are used to increase the richness and mouthfeel of the yoghurt without altering its classification significantly. The absence of these strategies in yoghurt z1 explains the lower consistency observed.

The sugar composition of yoghurt z1 showed a predominance of lactose and sucrose, as well as a small amount of glucose and fructose content (Table 5). Fruits such as peaches and STF can be influenced by fruit ripeness, harvest time and other factors. In fresh peach, sucrose content predominates, compared to the negligible amount of fructose and glucose (39). On the other hand, in fresh STF a fructose content followed by glucose prevails, with a minimum content of sucrose (40). During the yoghurt fermentation process, lactic acid bacteria convert the predominant sugar in milk, lactose, into lactic acid (41). Concentrated yoghurt tends to have a lactose content between 2.86 and 4.91 g/100 g, which is in line with the value found for the z1 formulation, and lower than that of non-concentrated natural yoghurt (42).

In the lipid profile of the developed yoghurt, there is a predominance of saturated fatty acids, followed by monounsaturated (MUFAs) and polyunsaturated (PUFAs) fatty acids (Table 6). The presence of palmitic, oleic, stearic, myristic, linoleic and lauric acids, in descending order, is noticeable in the developed yoghurt z1. Studies concerning the lipid profile of Greek yoghurt made from cow's milk suggest similar values (43,44).

devido a estratégias que aumentam a cremosidade, como a adição de natas azedas ou outros ingredientes enriquecedores. Estes ingredientes são utilizados para aumentar a riqueza e a textura oral do iogurte sem alterar significativamente a sua classificação. A ausência dessas estratégias no iogurte z1 explica a menor consistência observada.

A composição de açúcares no iogurte z1 revelou uma predominância de lactose e sacarose, com pequenas quantidades de glucose e frutose (Tabela 5). O teor de açúcares pode ser influenciado pela maturação dos frutos, pelo tempo de colheita e por outros fatores. No pêssego fresco, o teor de sacarose predomina, em comparação com a quantidade insignificante de frutose e glucose (39). Por outro lado, no medronho fresco, prevalece um teor de frutose seguido de glucose, com um teor mínimo de sacarose (40). Durante o processo de fermentação do iogurte, as bactérias convertem a lactose, principal açúcar do leite, em ácido láctico (41), resultando num teor de lactose no iogurte concentrado entre 2,86 e 4,91 g/100 g, valor consistente com o encontrado na formulação z1 e inferior ao de iogurtes naturais não concentrados (42).

No perfil lipídico (Tabela 6), o iogurte desenvolvido apresentou uma predominância de ácidos gordos saturados, seguidos por ácidos gordos monoinsaturados (MUFAs) e poliinsaturados (PUFAs). Entre os ácidos gordos identificados, destacam-se, por ordem decrescente, o palmítico, oleico, esteárico, mirístico, linoleico e láurico. Estudos prévios indicam que o perfil lipídico de iogurtes gregos elaborados a partir de leite de vaca é consistente com estas observações (43,44).

Table 6 - Classification of the fatty acids present in the fat content of formulation z1.**Tabela 6** - Classificação dos ácidos gordos presentes no conteúdo de gordura da formulação z1

Fatty Acids / Ácidos gordos	Commercial Yoghurt* (%) / Iogurte Comercial* (%)	Final product (z1) (%) / Produto final (z1) (%)
Caproic acid (C6:0) / Ácido Caproico (C6:0)	2.56 (± 0.31)	0.48 (± 0.05)
Capric acid (C10:0) / Ácido Capríco (C10:0)	3.60 (± 0.28)	1.50 (± 0.05)
Lauric acid (C12:0) / Ácido Laurico (C12:0)	4.07 (± 0.45)	3.01 (± 0.09)
Myristic acid (C14:0) / Ácido Mirístico (C14:0)	11.99 (± 1.69)	10.21 (± 0.18)
Pentadecanoic acid (C15:0) / Ácido Pentadecanoico (C15:0)	1.50 (± 0.30)	0.98 (± 0.02)
Palmitic acid (C16:0) / Ácido Palmítico (C16:0)	29.11 (± 0.97)	31.36 (± 0.04)
Palmitoleic acid (C16:1) / Ácido Palmítico (C16:1)	1.73 (± 0.20)	1.59 (± 0.01)
Margaric acid (C17:0) / Ácido Margarico (C17:0)	0.91 (± 0.14)	0.30 (± 0.00)
Stearic acid (C18:0) / Ácido Esteárico (C18:0)	9.93 (± 1.65)	11.40 (± 0.01)
Oleic acid (C18:1) / Ácido Oleico (C18:1)	19.05 (± 2.41)	26.01 (± 0.37)
Linoleic acid (C18:2) / Ácido Linoleico (C18:2)	0.29 (± 0.28)	3.04 (± 0.02)
Linolenic acid (C18:3) / Ácido Linolénico (C18:3)	0.63 (± 0.22)	0.97 (± 0.01)
Arachidic acid (C20:0) / Ácido Araquidónico (C20:0)	0.22 (± 0.13)	0.17 (± 0.02)
Eicosatrienoic acid (C20:3) / Ácido Eicosatrienoico (C20:3)	0.22 (± 0.22)	0.13 (± 0.00)
Eicosapentaenoic acid (C20:5) / Ácido Eicosapentaenoico (C20:5)	0.26 (± 0.21)	0.11 (± 0.05)
Behenic acid (C22:0) / Ácido Beénico (C22:0)	0.19 (± 0.11)	0.12 (± 0.03)
Docosapentaenoic acid (C22:5) / Ácido Docosapentaenoico (C22:5)	n.d.	0.08 (± 0.00)
Saturated / Saturados	64.08	59.73
Monounsaturated / Monoinsaturados	20.78	27.6
Polyunsaturated / Polinsaturados	1.4	4.12

Data expressed as mean (± SD). Abbreviations: n.d., not detected. ** Average from seven Greek yoghurt samples (40). /
 Dados expressos em média (± DP). Abreviaturas: n.d., não detetado. ** Média de sete amostras de iogurte grego (40).

Microbiological Analysis

Reduced pH values prevent the growth of a wide range of bacteria, thus lowering the risk of food spoilage (45). Nevertheless, to guarantee quality control, microbiological tests were conducted to detect *Enterobacteriaceae* and *Listeria monocytogenes*. In this sense, the presence of *Enterobacteriaceae* at 37 °C is made in a context of ensuring an adequate state of hygiene, since these microorganisms are sensitive to heat treatments, and indicative of food products with inadequate hygiene processing (46). *Listeria monocytogenes*, a pathogenic bacterium with the ability to resist adverse environmental conditions, is an essential indicator of contamination and assessment of hygiene conditions. Presence of this bacterium tends to be frequent in dairy products since milk is often one of the most commonly contaminated foods during the production chain; and can survive the yoghurt fermentation process (47). Overall, the hygiene and safety conditions necessary were met according to the legislation. The final z1 product presented < 10 CFU/g for *Enterobacteriaceae* at 37 °C and absence of *Listeria monocytogenes* in 25 g of sample, guaranteeing an adequate level of microbiological safety.

This study reveals some limitations, including a small sample size and a non-uniform consumer panel in the sensory test in terms of gender. Moreover, psychological factors such as expectation and habituation errors may have biased the results. Nevertheless, the hedonic and preference tests yielded coherent results, indicating that z0 (control) had the highest scores overall, followed by z1 and z2. Further improvements are necessary to enhance the rheological and textural properties of the yoghurt, which could involve increasing straining time, protein content, or adding sour cream. In this work, only powdered milk was used as an attempt to improve these properties. Using local ingredients to create innovative food products, such as the fruits used in this yoghurt, is crucial to promote sustainable and healthy consumption habits. This study also describes for the first time a yoghurt containing STF puree.

Análise microbiológica

Os valores reduzidos de pH impedem o crescimento de uma vasta gama de bactérias, diminuindo assim o risco de deterioração dos alimentos (45). Contudo, para assegurar o controlo de qualidade, foram realizados testes microbiológicos para a deteção de *Enterobacteriaceae* e *Listeria monocytogenes*. A presença de *Enterobacteriaceae* a 37 °C foi avaliada como indicador de higiene, uma vez que estes microrganismos são sensíveis a tratamentos térmicos e podem sinalizar um processamento higiénico inadequado dos alimentos (46). Já a *Listeria monocytogenes*, uma bactéria patogénica com elevada resistência a condições ambientais adversas, é um parâmetro essencial na avaliação da contaminação e das condições de higiene. A presença desta bactéria é particularmente preocupante em produtos lácteos, dado que o leite é frequentemente contaminado ao longo da cadeia de produção, e a bactéria pode sobreviver ao processo de fermentação do iogurte (47). No geral, as condições de higiene e segurança foram cumpridas, de acordo com a legislação vigente. O produto final z1 apresentou valores inferiores a 10 UFC/g para *Enterobacteriaceae* a 37 °C e ausência de *Listeria monocytogenes* em 25 g de amostra, garantindo assim um nível adequado de segurança microbiológica.

Este estudo revela algumas limitações, incluindo uma pequena dimensão da amostra e um painel de consumidores não uniforme no teste sensorial em termos de género. Além disso, factores psicológicos como os erros de expectativa e de habituação podem ter enviesado os resultados. No entanto, os testes hedónicos e de preferência produziram resultados coerentes, indicando que z0 (controlo) teve as pontuações mais elevadas em geral, seguido de z1 e z2. São necessários mais aperfeiçoamentos para melhorar as propriedades reológicas e texturais do iogurte, o que pode envolver o aumento do tempo de coagem, o teor de proteínas ou a adição de natas azedas. Neste trabalho, apenas foi utilizado leite em pó, numa tentativa de melhorar estas propriedades. A utilização de ingredientes locais para criar produtos alimentares inovadores, como é o caso dos frutos utilizados neste iogurte, é fundamental para promover hábitos de consumo sustentáveis e saudáveis. Este estudo descreve também, pela primeira vez, um iogurte com puré de medronho.

Conclusion

The development of new food products aims to meet consumers' demands, preferences and needs. Consumers are increasingly aware of their health and the nutritional and quality characteristics of food. All these factors seem to affect individual and community food choices either directly or indirectly.

In conclusion, two formulations of a Greek yoghurt (strained to remove most of the whey) with a layer of fruit purée and no added sugars were developed. Sensory analysis determined that the best formulation was z1. Subsequently, further analysis of texture, pH, acidity, nutritional composition, sugar and fatty acid content, and microbiological parameters was performed. The z1 revealed promising nutritional characteristics when compared to commercial Greek yoghurts, namely by presenting higher fibre and lower energy value, fat, carbohydrate and simple sugar content. It has been found suitable for consumption and meets scientific and regulatory requirements, as well as in compliance with the claims "Low-fat" and "Low-saturated fat". Using local ingredients to create innovative food products, such as the fruits used in this yoghurt, is crucial to promote sustainable and healthy consumption habits. To the best of our knowledge, this study also describes, for the first time, a yoghurt containing STF puree.

Future studies should explore the potential health benefits of fermented dairy products, including Greek yoghurt, and investigate the impact of low-fat versus full-fat dairy consumption.

Authors Contributions Statement

Conceptualization, R.C., I.B., M.C.; methodology, R.C., J.M., C.B., V.V., H.B., A.M.R., M.C., C.E.S., and I.B.; validation, C.B., V.V., H.B., L.P., A.R., A.S., I.P., A.M.R., C.E.S., M.C., I.B., M.L.P., M.N., P.P. and R.M.; formal analysis, R.C. and I.B.; investigation, R.C., J.M., V.V., H.B., A.R., A.S., I.P. and M.C.; writing—original draft preparation, R.C. and J.M.; writing—review and editing, I.B., M.L.P., P.P. and M.N.; visualization, P.P., M.L.P., M.N. and I.B.; supervision, M.C., I.B. and R.M.; project administration, C.E.S. and I.B.; funding acquisition, C.E.S. and I.B.; M.C. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Conclusões

O desenvolvimento de novos produtos alimentares tem como objetivo satisfazer as exigências, preferências e necessidades dos consumidores. Os consumidores estão cada vez mais conscientes da sua saúde e das características nutricionais e de qualidade dos alimentos. Todos estes factores parecem afetar, direta ou indiretamente, as escolhas alimentares individuais e comunitárias.

Em conclusão, foram desenvolvidas duas formulações de um iogurte grego (coado para remover a maior parte do soro) com uma camada de puré de fruta e sem adição de açúcares. A análise sensorial determinou que a melhor formulação era a z1. Subsequentemente, foi efetuada uma análise mais aprofundada da textura, pH, acidez, composição nutricional, teor de açúcar e de ácidos gordos e parâmetros microbiológicos. O z1 revelou características nutricionais promissoras quando comparado com os iogurtes gregos comerciais, nomeadamente por apresentar maior teor de fibra e menor valor energético, gordura, hidratos de carbono e açúcares simples. Foi considerado adequado para consumo e cumpre os requisitos científicos e regulamentares, bem como as alegações "Baixo teor de gordura" e "Baixo teor de gordura saturada". A utilização de ingredientes locais na criação de produtos alimentares inovadores, como é o caso dos frutos utilizados neste iogurte, é fundamental para promover hábitos de consumo sustentáveis e saudáveis. Tanto quanto é do nosso conhecimento, este estudo também descreve, pela primeira vez, um iogurte contendo puré de medronho.

Futuros estudos devem explorar os potenciais benefícios para a saúde dos produtos lácteos fermentados, incluindo o iogurte grego, e investigar o impacto do consumo de produtos lácteos com baixo teor de gordura versus o consumo de produtos lácteos com teor de gordura total.

Declaração sobre as contribuições do autor

Conceitualização: R.C., I.B., M.C.; metodologia: R.C., J.M., C.B., V.V., H.B., A.M.R., M.C., C.E.S. e I.B.; validação: C.B., V.V., H.B., L.P., A.R., A.S., I.P., A.M.R., C.E.S., M.C., I.B., M.L.P., M.N., P.P. e R.M.; análise formal: R.C. e I.B.; investigação: R.C., J.M., V.V., H.B., A.R., A.S., I.P. e M.C.; redação—preparação do rascunho original: R.C. e J.M.; redação—revisão e edição: I.B., M.L.P., P.P. e M.N.; visualização: P.P., M.L.P., M.N. e I.B.; supervisão: M.C.,

Funding

This work was developed within the project FUSILLI (Fostering the Urban Food System transformation through Innovative Living Labs Implementation). FUSILLI has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No. 101000717. This work was also supported by FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia (grants UIDB/04567/2020 and UIDP/04567/2020 to CBIOS).

R.M. is funded by FCT Scientific Employment Stimulus contract CEEC/04567/CBIOS/2020. M.C. is funded by CULTIVAR project (CENTRO-01-0145-FEDER-000020), co-financed by the Regional Operational Program Centro 2020, Portugal 2020, and the European Union, through the European Fund for Regional Development (ERDF), Collaborative Project.

Conflict of Interests

All authors have stated that there are no financial and/or personal relationships that could represent a potential conflict of interest.

I.B. e R.M.; gestão do projeto: C.E.S. e I.B.; aquisição de financiamento: C.E.S., I.B. e M.C. Todos os autores leram e aprovaram a versão final do manuscrito publicada.

Financiamento

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto FUSILLI (Fostering the Urban Food System Transformation through Innovative Living Labs Implementation), financiado pelo programa de investigação e inovação Horizonte 2020 da União Europeia, ao abrigo do acordo de subvenção n.º 101000717. Adicionalmente, contou com o apoio da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia através das bolsas UIDB/04567/2020 e UIDP/04567/2020 atribuídas ao CBIOS.

R.M. foi financiado pelo contrato de Estímulo ao Emprego Científico da FCT (CEEC/04567/CBIOS/2020), enquanto M.C. recebeu financiamento pelo projeto CULTIVAR (CENTRO-01-0145-FEDER-000020), cofinanciado pelo Programa Operacional Regional Centro 2020, Portugal 2020, e pela União Europeia, através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), no âmbito de um projeto colaborativo.

Conflito de interesses

Todos os autores declararam que não existem relações financeiras e/ou pessoais que possam representar um potencial conflito de interesses.

References / Referências

1. Wajs, J., Brodziak, A., & Król, J. (2023). Shaping the physicochemical, functional, microbiological and sensory properties of yoghurts using plant additives. *Foods*, 12. <https://doi.org/10.3390/foods12061275>
2. Fisberg, M., & Machado, R. (2015). History of yogurt and current patterns of consumption. *Nutrition Reviews*, 73(1), 4–7. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv020>
3. Le Roy, C. I., Kurilshikov, A., Leeming, E. R., Visconti, A., Bowyer, R. C. E., Menni, C., Fachi, M., Koutnikova, H., Veiga, P., Zhernakova, A., et al. (2022). Yoghurt consumption is associated with changes in the composition of the human gut microbiome and metabolome. *BMC Microbiology*, 22(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12866-021-02364-2>
4. Hadjimbei, E., Botsaris, G., & Chrysostomou, S. (2022). Beneficial effects of yoghurts and probiotic fermented milks and their functional food potential. *Foods*, 11. <https://doi.org/10.3390/foods11172691>
5. García-Burgos, M., Moreno-Fernández, J., Alférez, M. J. M., Díaz-Castro, J., & López-Aliaga, I. (2020). New perspectives in fermented dairy products and their health relevance. *Journal of Functional Foods*, 72, 104059. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104059>
6. Tognon, G., Nilsson, L. M., Shungin, D., Lissner, L., Jansson, J. H., Renström, F., et al. (2017). Nonfermented milk and other dairy products: associations with all-cause mortality. *American Journal of Clinical Nutrition*, 105, 1502–1511. <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.140798>
7. Sonestedt, E., Borné, Y., Wirfält, E., & Ericson, U. (2021). Dairy consumption, lactase persistence, and mortality risk in a cohort from Southern Sweden. *Frontiers in Nutrition*, 8, 779034. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.779034>
8. Wan, Z., Khubber, S., Dwivedi, M., & Misra, N. N. (2021). Strategies for lowering the added sugar in yogurts. *Food Chemistry*, 344, 128573. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128573>
9. Gyawali, R., Feng, X., Chen, Y. P., Lorenzo, J. M., & Ibrahim, S. A. (2022). A review of factors influencing the quality and sensory evaluation techniques applied to Greek yogurt. *Journal of Dairy Research*, 89, 213–219. <https://doi.org/10.1017/S0022029922000346>
10. Simões, M. P., Veloso, A., Barateiro, A., Ramos, C., Fragoso, P., Silvino, P., et al. (2022). Estado de nutrição de pomares de pessegueiro na região da Beira Interior: Nutrição em pessegueiros. *Revista de Ciências Agrárias*, 44, 285–292. <https://doi.org/10.19084/rca.25186>
11. Farinha, D., Faustino, H., Nunes, C., Sales, H., Pontes, R., & Nunes, J. (2023). Bioactive compounds of Portuguese fruits with PDO and PGI. *Foods*, 12(16), 2994. <https://doi.org/10.3390/foods12162994>
12. Oliveira, A., Pintado, M., & Almeida, D. P. F. (2012). Phytochemical composition and antioxidant activity of peach as affected by pasteurization and storage duration. *LWT - Food Science and Technology*, 49, 202–207. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.008>
13. Bebek Markovinović, A., Brčić Karačonji, I., Jurica, K., Lasić, D., Skendrović Babojelić, M., Duralija, B., Šić Žlabur, J., Putnik, P., & Bursać Kovačević, D. (2022). Strawberry tree fruits and leaves (*Arbutus unedo* L.) as raw material for sustainable functional food processing: A review. *Horticulturae*, 8(10), 881. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100881>
14. Ramires, F. A., Durante, M., D'Antuono, I., Garbetta, A., Bruno, A., Tarantini, A., et al. (2024). Novel fermentation strategies of strawberry tree (*Arbutus unedo*) fruits to obtain high nutritional value products. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(2), 684. <https://doi.org/10.3390/ijms25020684>
15. O'Rell, K., & Chandan, R. C. (2013). Manufacture of various types of yogurt. In R. C. Chandan & A. Kilara (Eds.), *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks* (2nd ed., pp. 263–295). Chichester, WS, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118481301.ch12>
16. amin, M. R., Alcântara, M. R., Nunes, A. P., & Oliveira, M. N. (2009). Effects of milk supplementation with skim milk powder, whey protein concentrate and sodium caseinate on acidification kinetics, rheological properties and structure of nonfat stirred yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1744–1750. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.019>
17. International Organization for Standardization (ISO). (2014). *ISO 11136:2014 - Sensory analysis — Methodology — General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area*. Geneva, Switzerland: ISO.
18. International Organization for Standardization (ISO). (2006). *ISO 8587:2006 - Sensory analysis — Methodology — Ranking*. Geneva, Switzerland: ISO.
19. Comissão Técnica C 310 /CT 31, Instituto Português da Qualidade. (1996). *NP EN 1132. Sumos de frutos e de produtos hortícolas. Determinação do valor do pH*. Lisboa, Portugal.
20. Comissão Técnica C 320 /CT 32, Direção Geral da Qualidade. (1982). *NP 701. Iogurtes. Determinação da acidez*. Lisboa, Portugal. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/727-394481>
21. Ireton-Jones, C. S. (2017). Intake: Energy. In J. L. Raymond & L. K. Mahan (Eds.), *Krause's Food & The Nutrition Care Process* (14th ed., p. 17). St. Louis, Missouri, USA: Elsevier Health Sciences.
22. International Organization for Standardization (ISO). (2020). *ISO 21543:2020. Milk and milk products — Guidelines for the application of near infrared spectrometry*. Geneva, Switzerland: ISO.
23. Association of Official Analytical Chemists International (AOAC). (1935). *AOAC Official Method 935.42. Ash of cheese. Gravimetric method*. Rockville, MD, USA: AOAC.
24. Association of Official Analytical Chemists International (AOAC). (1983). *AOAC Official Method 982.14. Glucose, Fructose, and Maltose in Presweetened Cereals - Liquid Chromatographic Method*. Rockville, MD, USA: AOAC.
25. Association of Official Analytical Chemists International (AOAC). (1996). *AOAC Official Method 996.01, Fat (total, saturated, unsaturated, and monounsaturated) in cereal products - Acid hydrolysis capillary gas chromatographic method*. Rockville, MD, USA: AOAC.
26. Horwitz, W. (Ed.), & Latimer, G. W. (Assistant Ed.). (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC* (18th ed.). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
27. Mathias, T. R. S., Carvalho Junior, I. C., Carvalho, C. W. P., & Sérvulo, E. F. C. (2011). Rheological characterization of coffee-flavored yogurt with different types of thickener. *Alimentos e Nutrição*, 22(4), 521–529.
28. Bourne, M. C. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement* (2nd ed.). San Diego, CA, USA: Academic Press.
29. Santos, M. S., Estevinho, L. M., de Carvalho, C. A. L., da Silva Conceição, A. L., & de Castro Almeida, R. C. (2020). Rheological and sensorial evaluation of yogurt incorporated with red propolis. *Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 1080–1089. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04142-5>

30. Gahrue, H. H. (2018). Yogurt. The most suitable carrier for increasing bioavailability of minerals. *Progress in Nutrition*, 20(2-S), 294–296. <https://doi.org/10.23751/pn.v20i2-S.5690>
31. Deshwal, G. K., Tiwari, S., Kumar, A., Raman, R. K., & Kadyan, S. (2021). Review on factors affecting and control of post-acidification in yoghurt and related products. *Trends in Food Science and Technology*, 109, 499–512. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.057>
32. Cohen, S., Itkin, M., Yeselson, Y., Tzuri, G., Portnoy, V., Harel-Baja, R., et al. (2014). The PH gene determines fruit acidity and contributes to the evolution of sweet melons. *Nature Communications*, 5, 4026. <https://doi.org/10.1038/ncomms5026>
33. Uduwerella, G., Chandrapala, J., & Vasiljevic, T. (2017). Minimising generation of acid whey during Greek yoghurt manufacturing. *Journal of Dairy Research*, 84(3), 346–354. <https://doi.org/10.1017/S0022029917000279>
34. European Commission. (2006). *Regulation - 1924/2006 - EN - Nutrition and health claims made on foods*. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2006/1924/oj>
35. Vlaic, R. A., Muresan, A. E., Muresan, C. C., Petrut, G. S., Muresan, V., & Muste, S. (2018). Quantitative analysis by HPLC and FT-MIR prediction of individual sugars from the plum fruit harvested during growth and fruit development. *Agronomy*, 8(12), 306. <https://doi.org/10.3390/agronomy8120306>
36. Cirilli, M., Bassi, D., & Ciacchiulli, A. (2016). Sugars in peach fruit: A breeding perspective. *Horticulture Research*, 3. <https://doi.org/10.1038/hortres.2015.67>
37. Yang, S., Bai, M., Kwok, L. Y., Zhong, Z., & Sun, Z. (2023). The intricate symbiotic relationship between lactic acid bacterial starters in the milk fermentation ecosystem. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2280706>
38. Nsabimana, C., Jiang, B., & Kossah, R. (2005). Manufacturing, properties and shelf life of labneh: A review. *International Journal of Dairy Technology*, 58(3), 129–137. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2005.00205.x>
39. Sumarmono, J., Sulistyowati, M., & Soenarto. (2015). Fatty acids profiles of fresh milk, yogurt and concentrated yogurt from Peranakan Etawah goat milk. *Procedia Food Science*, 3, 216–222. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.01.024>
40. Serafeimidou, A., Zlatanov, S., Laskaridis, K., & Sagredos, A. (2012). Chemical characteristics, fatty acid composition and conjugated linoleic acid (CLA) content of traditional Greek yogurts. *Food Chemistry*, 134, 1839–1846. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.102>
41. Sourri, P., Tassou, C. C., Nychas, G. J. E., & Panagou, E. Z. (2022). Fruit juice spoilage by *Alicyclobacillus*: Detection and control methods—A comprehensive review. *Foods*, 11(5), 747. <https://doi.org/10.3390/foods11050747>
42. UK Health Security Agency. (2009). *Guidelines for assessing the microbiological safety of ready-to-eat foods placed on the market*. GOV-10791. London, UK. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/66debd72e87ad2f1218265e1/UKHSA-ready-to-eat-guidelines-2024.pdf>
43. Ivanek, R., Gröhn, Y. T., & Wiedmann, M. (2006). *Listeria monocytogenes* in multiple habitats and host populations: Review of available data for mathematical modeling. *Foodborne Pathogens and Disease*, 3, 319–336. <https://doi.org/10.1089/fpd.2006.3.319>
44. Dias, P. G. I., Sajiwan, J. W. A., & Rathnayaka, R. M. U. S. K. (2020). Consumer perception and sensory profile of probiotic yogurt with added sugar and reduced milk fat. *Heliyon*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04328>
45. Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge. (2023). *Tabela de Composição de Alimentos 6.0*. Lisboa, Portugal. <https://portfir-insa.min-saude.pt/>
46. Associação Portuguesa de Nutrição. (2021). *logurtes e Leites Fermentados: Para Saber Mais* (2nd ed., Vol. 57).
47. Walker, R. W., & Goran, M. I. (2015). Laboratory-determined sugar content and composition of commercial infant formulas, baby foods and common grocery items targeted to children. *Nutrients*, 7, 5850–5861. <https://doi.org/10.3390/nu707525>