



UMINHO I 2024

Mariana Rodrigues Macieira Desenvolvimento de um gelado de cânhamo e avelã com incorporação de pectina



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Mariana Rodrigues Macieira

Desenvolvimento de um gelado
vegano de cânhamo e avelã com
incorporação de pectina

outubro de 2024



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Mariana Rodrigues Macieira

**Desenvolvimento de um gelado
vegano de cânhamo e avelã com
incorporação de pectina**

Dissertação de Mestrado
Engenharia Química e Biológica

Trabalho efetuado sob a orientação de:
Professora Cristina Vicente
Engenheira Liliana Carvalho

Outubro de 2024

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição
CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Agradecimentos

Começo a agradecer à minha mãe por todo o apoio e paciência ao longo do meu percurso académico. Em relação ao ano 2024, ano em que desenvolvi este projeto, tenho a agradecer à engenheira Liliana Carvalho que me acolheu e orientou durante todo o processo de desenvolvimento deste projeto na empresa Gelado Colorido – Fabricação de Gelados e Sorvetes. Agradeço a todos os elementos da equipa Icecare pela oportunidade de me inserir numa empresa inovadora e ter a oportunidade de realizar funções do dia a dia da empresa.

Também gostaria de agradecer à minha orientadora Dr.^a Cristina Vicente por me ter guiado nesta jornada que é a escrita da tese.

Dedico este trabalho a todos os supracitados, à minha irmã Mafalda e, ao meu namorado Coutinho.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Desenvolvimento de um gelado vegano de cânhamo e avelã com incorporação de pectina

Resumo

Este projeto consistiu na elaboração de um gelado vegano de cânhamo de avelã e cânhamo com incorporação de pectina, cujo foco foi alcançar uma textura e cremosidade similar ao gelado comercial de avelã da empresa. O componente que confere funcionalidade ao gelado é a pectina, uma fibra com propriedades espessantes, no entanto esta tem de estar presente na quantidade mínima legislada para a alegação de saúde. O cânhamo contém canabinóides que têm um elevado interesse clínico devido ao seu potencial terapêutico, especialmente no tratamento do cancro. Porém este projeto apenas utilizou as sementes de cânhamo (ausentes de THC e CBD) para a produção de uma bebida vegetal que foi utilizada como base do gelado, mas futuramente podem ser introduzidos partes da planta com canabinóides.

O projeto foi dividido em três fases, desenvolvimento da bebida vegetal de cânhamo, elaboração da base de gelado e, por fim desenvolvimento do gelado. Através da reologia foi possível comparar as texturas das amostras obtidas com a base, gelado de avelã comercial da empresa.

Concluiu-se que a quantidade de pectina necessária para a alegação de saúde tornou o gelado muito duro, perdendo a cremosidade esperada de um gelado. Por outro lado, obteve-se resultados positivos para alegação nutricional “rico em fibra” no qual a base de gelado contendo a bebida vegetal artesanal de cânhamo com 20 g de amido de milho apresentou características semelhantes à base de gelado de avelã comercial. Concluiu-se também que a pectina estrutura e estabiliza o gelado, mas na presença de óleo de cânhamo gera uma matriz muito consistente que influencia negativamente as propriedades texturais do gelado.

Em suma, este gelado vegano tem potencial para ser uma alternativa à oferta de gelados atual, sendo ainda necessário otimizar as quantidades de matérias-primas utilizadas no seu desenvolvimento.

Palavras-chave: Gelado, Pectina, Cânhamo, Reologia, Vegano

Development of a vegan hemp and hazelnut ice cream with the incorporation of pectin.

Abstract

The goal of this project was to achieve a texture and creaminess similar to the company's commercial hazelnut ice cream. The component that provides functionality to the ice cream is pectin, a fiber with thickening properties. However, it must be present in the minimum legislated amount to make the health claim. Hemp contains cannabinoids that have clinical interest due to their therapeutic potential, particularly in cancer treatment. However, this project only used hemp seeds (which are free of THC and CBD) to produce a plant-based drink which was incorporated into the ice cream. In the future, parts of the plant containing cannabinoids may be introduced.

This project was divided into three phases: development of hemp-based plant milk, creation of the ice cream base, and, finally, ice cream development. Through rheology, it was possible to compare the textures of the samples obtained with the company's commercial hazelnut ice cream base. The main challenge of this project was to incorporate the minimum required amount of pectin to make the ice cream functional while creating a dairy-free version that closely mimics the texture of traditional ice cream.

It was concluded that the amount of pectin required for the health claim caused the ice cream to lose the creaminess expected. On the other hand, positive results were obtained for the nutritional claim "rich in fiber," where the ice cream base containing the handcrafted hemp plant-based drink with 20 g of cornstarch showed characteristics similar to the commercial hazelnut ice cream base. It was also concluded that pectin structures and stabilizes the ice cream, but in the presence of hemp oil, it creates a highly consistent matrix that negatively affects the textural properties of the ice cream.

In summary, this vegan ice cream has the potential to be an alternative to the current range of ice creams, although it is still necessary to optimize the quantities of raw materials used in its development.

Keywords: Ice Cream, Pectin, Hemp, Rheology, Vegan

Índice	
Resumo	v
Índice De Tabelas	ix
Índice De Figuras	xi
1 Enquadramento Geral.....	1
1.1 Motivação E Objetivos	1
1.2 Empresas E Entidades Envolvidas.....	3
1.3 Organização Da Dissertação	4
2 Considerações Teóricas.....	4
2.1 Leite De Vaca	8
2.2 Bebida Vegetal Como Alternativa Ao Leite De Vaca.....	9
2.3 Alimento Funcional.....	10
2.4 Cânhamo	13
2.5 Pectina	15
2.6 Gelado De Bebida Vegetal De Cânhamo E Avelã.....	17
2.7 Reologia.....	18
3 Materiais E Métodos	20
3.1 Equipamentos Utilizados Nos Testes	21
3.2 Fase 1: Desenvolvimento Da Bebida Vegetal De Cânhamo	22
3.3 Fase 2: Desenvolvimento Da Base De Gelado	22
3.4 Fase 3: Desenvolvimento Do Gelado	23
3.4.1.....	Parâmetros Físicos Do Gelado 23
3.4.2.....	Teste De Varrimento Da Taxa De Cisalhamento 23
3.5 Análise Estatística	24
4 Análise E Discussão De Resultados	25

4.1 Fase 1: Desenvolvimento Da Bebida Vegetal.....	25
4.2 Fase 2: Desenvolvimento Da Base Do Gelado.....	26
4.3 Fase 3 – Gelado.....	29
5 Considerações Finais.....	33
Referências Bibliográficas.....	35
Anexos.....	38

Índice de tabelas

Tabela 2. Valores de índice de consistência (k) e índice de fluxo (n) obtidos através da análise reológica para as bases de gelado testadas. Letras diferentes, dentro da mesma coluna, correspondem a diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$)	28
Tabela 3. Diferença entre as médias da viscosidade aparente para as diferentes amostras. Letras diferentes, dentro da mesma coluna, correspondem a diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$)	30
Tabela 4. Valores de índice de consistência (k), índice de fluxo (n) e coeficiente de regressão, obtidos através da análise reológica para os gelados testados. Letras diferentes, dentro da mesma linha, correspondem a diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).....	33
Tabela B 1. Análise da variância anova para o índice de consistência das bases de gelado	39
Tabela B 2. Diferença entre as médias dos índices de consistência das bases de gelado.	40
Tabela B 3. Análise da variância anova para o índice de escoamento a das bases de gelado	40
Tabela B 4. Diferença entre as médias dos índices de escoamento das bases de gelado .	41
Tabela C 1. Análise da variância Anova para a viscosidade aparente inicial ($t = 0,06$ s) .	41
Tabela C 2. Diferença entre as médias da viscosidade aparente inicial ($t = 0,6$ s)	42
Tabela C 3. Análise da variância Anova para a viscosidade aparente final ($t = 119$ s)	42
Tabela C 4. Diferença entre as médias da viscosidade aparente final ($t = 119$ s)	42
Tabela D 1. Análise da variância Anova para a tensão inicial ($t = 0,06$ s)	43
Tabela D 2. Diferença entre as médias da viscosidade aparente inicial ($t = 0,6$ s)	43
Tabela D 3. Análise da variância Anova para a tensão final ($t = 119$ s)	43
Tabela D 4. Diferença entre as médias da viscosidade aparente final ($t = 119$ s)	44
Tabela E 1. Análise da variância anova para o índice de consistência das amostras de gelado.....	44

Tabela E 2. Diferença entre as médias dos índices de consistência das amostras de gelado	45
Tabela E 3. Análise da variância anova para o índice de escoamento das amostras de gelado.....	45
Tabela E 4. Diferença entre as médias dos índices de consistência das amostras de gelado	45

Índice de figuras

Figura 1. Cinco princípios para um alimento ser considerado funcional.	11
Figura 2. Possíveis alterações que um alimento pode sofrer para se tornar funcional.	11
Figura 3. Relação entre taxa e tensão de cisalhamento para os diferentes fluidos.	20
Figura 4. Descrição das diferentes fases de desenvolvimento do projeto.	21
Figura 5. Máquina Technogel Mixgel 30.....	21
Figura 6. Processo de fabrico de gelado artesanal.	23
Figura 7. Discovery Hybrid Rheometer 1.....	23
Figura 8. Esquema de funcionamento do reómetro com sistema cone e prato. [30]	24
<i>Figura 9. Representação das curvas de escoamento das bases de gelado testadas.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 10. Representação das curvas de escoamento dos gelados testados.</i>	<i>32</i>

1 Enquadramento Geral

1.1 Motivação e objetivos

Os gelados são conhecidos essencialmente pela sua textura e prazer, estes podem ser classificados como o gelado artesanal ou sorvete. O gelado artesanal é um alimento à base de leite de vaca, e o sorvete é um alimento à base de água. Os sorvetes são maioritariamente constituídos por água e fruta, o que faz deles uma excelente opção saudável, pois a percentagem de gordura é praticamente nula. Os gelados, por serem à base de leite já apresentam uma percentagem de gordura maior, naturalmente proveniente do uso de leite. No entanto, os gelados artesanais apresentam uma maior percentagem de proteína. Para além dos ingredientes mencionados, existem outros que são essenciais para a produção de um bom gelado como o açúcar, emulsionantes e ar. O açúcar e os emulsionantes são importantes na medida em que controlam a formação de cristais de gelo e a sua estrutura. O ar apesar de não ser um ingrediente, é muito importante durante o processo de batimento, onde o ar é incorporado no gelado fazendo com que este fique com uma textura leve e suave.

A crescente popularidade dos alimentos à base de plantas é impulsionada por diversas razões, como restrições alimentares (alergias e intolerância à lactose), mudanças nos estilos de vida, crescente foco no bem-estar animal e uma maior consciencialização sobre questões ambientais, como a necessidade de reduzir as emissões de carbono. [2] Os países ocidentais têm direcionado a sua dieta para um equilíbrio entre o consumo de carne e plantas. O consumo de alimentos à base de plantas é considerado mais atraente e inclusivo, face aos alimentos de origem animal, devido à ausência de lactose, baixo teor de colesterol e menor quantidade de calorias, tornando-os uma opção acessível e saudável para todos, incluindo intolerantes à lactose e hipertensos. [4] Deste modo, a dieta está a adaptar-se a esta nova tendência, onde, apesar de não haver uma total restrição ao consumo de alimentos de origem animal, ocorre a sua substituição parcial por opções vegetais. [5]

Um alimento funcional é uma alternativa mais saudável ao alimento tradicional cuja formulação oferece benefícios à saúde. A categoria de alimento funcional vai

além da simples nutrição, destacando-se pela capacidade de proporcionar benefícios para a saúde, como melhorar funções específicas do organismo, ou reduzir o risco de determinadas doenças. Estes benefícios são provenientes de um enriquecimento ou adição de determinados ingredientes, mas a sua natureza deve ser semelhante ao alimento tradicional. [1]

O gelado é um alimento ao qual está associado a ideia de ter elevadas quantidades de açúcar e gorduras. Este paradigma está associado a marcas com o seu lugar bem definido no mercado dos gelados, no entanto, estas mesmas marcas têm vindo a aumentar o seu portfolio com novas fórmulas a pedido dos consumidores. Estes pedidos acompanham as tendências anteriormente mencionadas, os consumidores procuram um gelado com redução de açúcar, gordura ou um gelado vegano, mas esperam que este tenha a mesma textura e sabor que um gelado “normal”. Mas as empresas podem desafiar-se a desenvolver um gelado funcional, que é muito mais que uma simples sobremesa, pois apresenta benefícios à saúde. A Gelado Colorido – Fabricação de Gelados e Sorvetes, não é exceção e procurou desenvolver um gelado diferente, ou seja, um gelado vegano que para além disso, apresentasse benefícios para a saúde digestiva. Deste modo, o objetivo deste projeto foi o desenvolvimento de um gelado à base de uma bebida vegetal de cânhamo com incorporação de pectina.

O cânhamo foi selecionado para o desenvolvimento da bebida vegetal devido à sua atual ascensão e, aceitação no mercado. A empresa Gelado Colorido desenvolve gelados comerciais, mas a principal aposta de desenvolvimento são os gelados com fins medicinais que auxiliam no tratamento dos doentes. O cânhamo tem tido um elevado interesse clínico devido ao seu potencial terapêutico, especialmente no tratamento do cancro, devido à presença de tetrahydrocannabinol (THC) e canabidiol (CBD). Apesar destas substâncias serem bastantes reguladas, a empresa Gelado Colorido - Fabricação de Gelados e Sorvetes apostou numa versão inicial de gelado sem THC e CBD, visando futuramente a sua introdução para o mercado hospitalar.

A pectina é uma fibra alimentar com propriedades gelificantes e estabilizantes, utilizada na indústria alimentar e farmacêutica. Estas características fazem com que seja utilizada para a produção de geleias, de bebidas e laticínios. O gel formado pela pectina apresenta uma consistência naturalmente suave e firme, sem necessidade

de aditivos artificiais. Para além disso, a pectina, quando adicionada em menor quantidade, permite estabilizar emulsões prevenindo a separação de fases num produto, evitando que os sólidos se depositem. O facto de ser uma fibra solúvel tem vantagens para a saúde pois ajuda a regular o trânsito intestinal e os níveis de colesterol e, pode retardar a absorção de glicose no intestino. Na indústria farmacêutica, a pectina é utilizada como parte do revestimento dos comprimidos, controlando a libertação dos medicamentos. Face às vantagens que esta fibra contempla quando consumida na dose recomendada, o grupo-alvo escolhido foram os idosos. Assim, torna-se essencial produzir um gelado que não seja demasiado denso ou gelatinoso, de maneira a contornar as dificuldades de mastigação e deglutição do grupo-alvo.

1.2 Empresas e Entidades envolvidas

As entidades que prestaram o apoio necessário à realização desta dissertação foram a empresa Gelado Colorido - Fabricação de Gelados e Sorvetes, LDA e o Centro de Engenharia Biológica (Universidade do Minho).

A empresa Gelado colorido - fabricação de gelados e sorvetes, Lda. Dedica-se à produção de gelados artesanais e, funcionais. A empresa sediada em Vila Verde apresenta um Sistema de Gestão IDI certificado pela NP 4457 e, certificados como *Codex Alimentarius* (HACCP) e ISO 9001. A marca ICECARE oferece um portfólio diversificado de gelados e sorvetes sob o lema 'PRAZER SEM CULPAS', exibindo opções saudáveis que auxiliam na saúde e bem-estar da sociedade. Atualmente, os produtos ICECARE encontram-se nas prateleiras de alguns hipermercados (Pingo Doce e El Corte Inglés) de Portugal e Alemanha. A empresa Gelado Colorido - Fabricação de Gelados e Sorvetes permitiu o desenvolvimento de uma nova formulação de gelado contribuindo com as matérias-primas e instalações para a sua produção.

O Centro de Engenharia Biológica permitiu a utilização de equipamentos para avaliar as propriedades reológicas das amostras produzidas.

1.3 Organização da Dissertação

A dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos principais: enquadramento geral, considerações teóricas, materiais e métodos, resultados e discussão e por último, considerações finais.

No enquadramento geral introduziu-se de forma geral o trabalho desenvolvido, as entidades envolvidas e os principais objetivos a atingir. De seguida, nas considerações teóricas pretendeu-se explicar os conceitos chave necessários ao desenvolvimento do trabalho proposto. Os materiais e métodos descrevem os procedimentos e quais os materiais utilizados para a formulação das amostras e respetiva análise. Nos resultados e discussão são apresentados os resultados de todos os testes realizados. Por fim, nas considerações finais apresentam-se as principais conclusões da dissertação, assim como alternativas que podem ser testadas de forma a dar seguimento ao trabalho desenvolvido.

2 Considerações Teóricas

Este capítulo tem como finalidade descrever os conceitos chave de modo a facilitar a compreensão completa deste projeto. Para tal, começou-se por introduzir o elemento principal deste projeto: o gelado. Seguidamente, explorou-se um pouco as principais desvantagens do uso do leite como a intolerância à lactose e a alergia ao leite. De modo a desenvolver um gelado acessível a todos, explicou-se os desafios da substituição do leite por uma bebida vegetal e as respetivas soluções para formular um gelado diferentes, mas com as características de um gelado artesanal. Posteriormente, introduziu-se o conceito de alimento funcional, seguido de uma visão geral sobre o cânhamo e a fibra pectina. Por fim, introduziram-se alguns conceitos de reologia, que permitiram depois avaliar algumas propriedades dos gelados.

Gelado

No século XIII, Marco Polo adquiriu conhecimentos sobre receitas milenares de gelados à base de água, denominados de sorvetes, do Oriente para a Itália. No século XVII, os sorvetes já estavam presentes nas cortes reais, com publicações sobre o

tema por Nicolas Audiger e François Massialot. Em 1712, Massialot publicou uma receita de gelado com leite, e na Inglaterra os gelados à base de natas e açúcar ganharam popularidade. A confeitaria da rainha Anne, Mary Eales, publicou a primeira receita inglesa de gelado com leite, em 1733. O sucesso do gelado, deve-se muito aos italianos. Em 1686, o italiano Francesco Procopio Dei Coltelli fundou o Café Le Procope, em Paris, que até aos dias de hoje encontra-se no ativo, onde é possível comprar sorvetes caseiros. Pensa-se que Coltelli motivou os jovens mestres sorveteiros treinados em Itália a migrar para diferentes destinos, promovendo a sobremesa com a famosa frase “O, c'è un poco” (prove um pouco) nas ruas de toda a Europa. [2]

O gelado é um produto lácteo congelado adocicado, feito a parti de leite e seus derivados no qual pode ser adicionado frutas, aromas e corantes. [3] Durante a produção dos gelados deve-se ter em conta dois parâmetros essenciais: a incorporação de ar durante o abatimento e, o tamanho dos cristais de gelo durante o congelamento. O cenário ideal é desenvolver um gelado com cristais de gelo e bolhas de ar de dimensões reduzidas, de forma a obter um gelado suave e cremoso.[4] Em Portugal, o gelado define-se pelo “género alimentício obtido por congelação, e mantido nesse estado até ao momento de ser ingerido pelo consumidor, em cuja composição podem entrar todos os ingredientes alimentares, bem como os aditivos previstos pela legislação em vigor.” [5]

A adoção de uma dieta saudável e equilibrada ajuda a prevenir a desnutrição e a ocorrência de doenças não transmissíveis. O mercado alimentar atual apresenta uma extensa oferta onde, os fatores predominantes na escolha dos consumidores no momento de compra são: poder de compra; religião e tradições culturais; geografia e alterações climáticas, etc. Desta forma, as pessoas têm tendência a escolher produtos práticos e acessíveis, que são muita das vezes alimentos ricos em calorias, gorduras, açúcares livres e sal, deixando de parte as frutas, vegetais e grãos integrais.

O gelado é um alimento que possui um teor elevado de açúcar, mas pode ser facilmente inserido numa dieta equilibrada, com alguns ajustes na sua formulação, que por sua vez deve apresentar uma boa relação entre macronutrientes (proteínas,

gorduras e hidratos de carbono). Para além disso, podem ser adicionados outros componentes para o diferenciar, como emulsionantes, estabilizantes e aromatizantes.

Geralmente, a principal fonte de proteína de um gelado é o leite, por ser um ingrediente nutricionalmente interessante que garante a formação de bolhas de ar no gelado o que lhe confere cremosidade e sabor. [4] Esta excelente fonte nutricional, apresenta uma taxa de assimilação de 5–6% mais completa do que para outras proteínas, em geral. [2]

A gordura no gelado desempenha funções estruturais e sensoriais. A nível estrutural a gordura é responsável por difundir os componentes na matriz, uniformizando os sabores e conferindo cremosidade ao gelado. A nível sensorial, a gordura é o componente responsável pela sensação característica de derretimento na boca. Mais uma vez, o leite é a opção naturalmente utilizada uma vez que contém ácidos gordos essenciais, vitaminas lipossolúveis e esteróis, incluindo o colesterol. No entanto, o mercado atual contempla como alternativa ao leite gorduras não lácteas altamente saturadas para permitir a sua solidificação a baixas temperaturas. Deste modo, esta opção torna-se pouco apelativa do ponto de vista nutricional e de saúde, pois um elevado índice de gordura saturada está associado ao aumento do risco de doenças cardiovasculares. [2]

Os hidratos de carbono são constituídos por uma ou mais moléculas de monossacarídeos, cuja função é fornecer energia. Alguns exemplos de hidratos de carbono são: glicose, frutose, sacarose (glicose + frutose), maltose (glicose + glicose), amido, dextrina. Geralmente, os dissacarídeos e polissacarídeos não são absorvidos diretamente pelo corpo, logo precisam do auxílio de enzimas para quebrar as ligações que unem as moléculas de monossacarídeos, o que ocorre ao longo do trato digestivo. Posteriormente, as moléculas individuais, principalmente a glicose, são absorvidas no intestino e transportadas para todo o corpo através da corrente sanguínea. [2] Os hidratos de carbono maioritariamente utilizados na fabricação de gelados são a sacarose e glicose (dextrose). O leite, sendo o composto principal dos gelados tradicionais, apresenta fatores positivos face a estes hidratos de carbono, uma vez que um terço da sua composição de matéria sólida corresponde à lactose,

um dissacarídeo composto por uma molécula de glicose e galactose. [2] Por sua vez, a lactose é um dissacarídeo especial que apenas pode ser encontrado no leite. No gelado, estes compostos são utilizados para conferir sabor e controlar a quantidade de gelo formado durante o congelamento, de forma a adquirir cremosidade e resistência ao choque térmico (entrada e saída do frigorífico). [4]

Os emulsionantes promovem a mistura de duas fases líquidas (água e óleo), através da redução da tensão superficial, garantindo que a gordura fica dispersa uniformemente na solução. Apesar desta matéria-prima estar intrinsecamente associada à estabilidade da emulsão na presença de uma gordura, pode também ser utilizada para promover a distribuição de bolhas de ar e cristais de gelo. Para além disso, os emulsionantes podem originar estruturas coloidais capazes de clonar a sensação de derretimento de gelado. Alguns exemplos de emulsionantes são os polissorbatos 80, que promovem a coalescência parcial das gotículas de gordura, e os glicerídeos que controlam o tamanho e distribuição das bolhas de ar. A mistura entre estes dois compostos é usualmente utilizada, uma vez que o polissorbato 80 tem impacto na interface da gordura, e os glicerídeos promovem a estabilidade da emulsão e controlam a formação de cristais de gelo, porque atuam na interface das bolhas de ar. Esta combinação é essencial para permitir um gelado estável, suave e cremoso. [2]

Os estabilizantes são macromoléculas volumosas, que são frequentemente referidos como hidrocoloides por interagirem com a água, alterando as propriedades reológicas do produto. A sua introdução no gelado visa as seguintes funções: aumento da viscosidade aparente da base de gelado (anterior à congelação), prevenir a desagregação dos ingredientes, e regular a formação de cristais de gelo. Esta regulação parte da interação dos estabilizadores com a água que dificulta a sua aglomeração, reduzindo a formação de cristais de gelo. Ademais, alguns estabilizadores formam uma matriz que permite reter água e ar, fazendo com que o gelado mantenha o seu volume constante durante o armazenamento. O uso de estabilizantes depende das características do produto e produção. Nos gelados, o uso excessivo de estabilizadores provoca um efeito denominado de gomosidade, no qual o gelado não derrete suficientemente rápido na boca, devido à textura densa e

viscosa, levando a uma sensação mastigável indesejada. Alguns exemplos de estabilizadores são: goma guar, goma de alfarroba e carragenina. [2]

Uma forma de diferenciar as empresas alimentares é a sua oferta de sabores. Os aromatizantes são uma ferramenta que quando manuseada corretamente pode trazer vários benefícios económicos. Os sabores mais comercializados em todo o mundo são: baunilha, chocolate e morango. As empresas ambiciosas tendem a adotar uma estratégia preventiva antes de introduzir um novo sabor no mercado, produzindo um novo sabor em pequena escala e expondo-o em painéis de degustação para perceber a posição do consumidor face ao novo produto, sem perder grandes recursos. A escolha do aromatizante deve ter em conta o tipo (doce, amargo, ácido, frutado...) e intensidade do sabor. Idealmente, os sabores devem ser reconhecidos, mas não devem dominar o gelado. [2]

2.1 Leite de vaca

Em 2021 foram produzidos cerca de 924 784 L de leite. [6] O consumo de leite e produtos lácteos está fortemente ligado ao facto de que o leite é um alimento completo, essencial para o bom funcionamento do metabolismo e, a presença de cálcio favorece o desenvolvimento/fortificação dos ossos nos idosos e crianças.

No entanto, existem pessoas que apresentam reações adversas ao seu consumo, que estão divididas em dois grandes grupos: intolerantes à lactose (açúcar predominante no leite) e alérgicos ao leite. A principal diferença entre os grupos é que a intolerância à lactose é uma reação não imunológica à lactose, enquanto a alergia ao leite é uma reação imunológica às proteínas do leite de vaca. [7]

A lactose é o açúcar predominante do leite e produtos lácteos. Este açúcar é quebrado no intestino, pela enzima lactase, em dois açúcares simples (glicose e galactose) que podem ser absorvidos e entrar na corrente sanguínea. A intolerância à lactose ocorre principalmente pela ineficiente absorção da lactose, que pode dever-se à baixa concentração ou diminuição da atividade de enzima lactase. No primeiro caso, a deficiência enzimática impede a digestão eficiente da lactose. No segundo caso, a atividade enzimática pode ser afetada por fatores externos como infeções intestinais. Em qualquer dos casos a má absorção da lactose leva a que uma grande quantidade de lactose passe para o colón, onde as bactérias quebram a

lactose não digerida, através da fermentação, levando à produção de ácidos orgânicos, gases (como hidrogênio, metano e dióxido de carbono) e outras substâncias. Esses produtos da fermentação podem causar sintomas gastrointestinais, como cólicas, flatulência e diarreia. [8]

A alergia ao leite está associada à produção da imunoglobulina E (IgE), e é caracterizada por duas fases: sensibilização e ativação. A primeira fase inicia-se quando o copo é exposto pela primeira vez às proteínas do leite. A resposta do sistema imunológico é a produção de anticorpos denominados de imunoglobulina E (IgE) para combater a presença das proteínas do leite. Estes anticorpos ligam-se aos mastócitos e basófilos, dois tipos de células responsáveis pela resposta do sistema imunológico, que contêm na sua superfície recetores de alta afinidade com os anticorpos IgE. A segunda fase (ativação) ocorre quando o organismo é exposto novamente às proteínas do leite. Os mastócitos e basófilos já se encontram preparados para responder às proteínas do leite, porque os anticorpos já se encontram ligados à superfície das células defensoras. As proteínas do leite ligam-se aos anticorpos, resultando na libertação de histamina pelos mastócitos e basófilos. Esta resposta origina sintomas como inchaço, coceira, erupções cutâneas, congestão nasal, dificuldade respiratória e, em casos graves, choque anafilático. [9]

Em suma, a alergia ao leite costuma ocorrer no primeiro ano de vida, enquanto a intolerância à lactose ocorre com mais frequência durante a adolescência ou idade adulta. [8] A intolerância à lactose não implica a alergia ao leite, e por isso não é necessário remover o leite da dieta, apenas é preciso reduzir a ingestão de lactose ou suplementar a dieta com a enzima lactase. No caso da alergia do leite, é necessário remover o leite.

2.2 Bebida vegetal como alternativa ao leite de vaca

O leite de vaca é um alimento muito completo, sendo fundamental à produção de gelados artesanais. O leite é composto por lactose, gorduras e proteínas que conferem aos gelados características únicas. Em termos nutricionais, o leite é responsável por fornecer proteínas de elevada qualidade, minerais (cálcio e fósforo) e vitaminas (A, D e B12). Em termos físicos, a gordura, as proteínas e a lactose são responsáveis pela textura e cremosidade característica do gelado. Sendo que a

gordura láctea é responsável pela sensação de "derretimento na boca" e estabilização do sabor, as proteínas do leite evitam a formação de cristais de gelo e, juntamente com a lactose equilibram a consistência do gelado. [10]

Atualmente, a tendência alimentar tem se focado em dietas especiais, nas quais o consumidor procura uma opção diferente das tradicionais, por exemplo, ausência de lactose, baixo teor de colesterol, redução ou ausência de açúcar adicionado, ou um produto totalmente à base de plantas. Para além da saúde, os consumidores também têm vindo a preocupar-se com a questão ambiental, cujo equilíbrio alimentar entre refeições tradicionais, vegetarianas e veganas tem sido a resposta para combater a exploração excessiva dos animais. Atualmente, o mercado alimentar tem apresentado inúmeras novidades e a oferta tem vindo a diversificar-se, o mercado dos gelados não é exceção. As bebidas vegetais têm vindo a destacar-se e, consequentemente, os produtos lácteos têm neste momento uma forte competição à base de plantas. As bebidas vegetais são diferentes do leite, e cada uma apresenta características próprias em termos nutricionais, de textura e sabor.

O leite pode ser substituído no gelado, porém é preciso ter em conta os três componentes essenciais: gordura e proteínas. Para substituir a gordura láctea, podem ser utilizados óleos vegetais como o óleo de coco ou óleo de cânhamo, para garantir que a sensação de derretimento está presente no gelado. As proteínas lácteas podem ser substituídas por proteína de ervilha, soja ou cânhamo, de modo a evitar a formação de cristais de gelo. Podem ser adicionados estabilizantes como goma guar ou fibras vegetais como a pectina para formar uma matriz responsável pela textura suave do gelado. Apesar de haver opções vegetais para constituinte do leite, ainda há alguma dificuldade em encontrar o equilíbrio entre eles de forma a igualar o potencial tecnológico e nutricional do leite.

2.3 Alimento funcional

O conceito de alimento funcional foi desenvolvido nos anos oitenta, no Japão, onde foi implementada uma regulamentação para aprovar alimentos benéficos para a saúde. Esta alegação era comprovada através do estudo do consumo de alimentos e o seu respetivo efeito benéfico no corpo humano. Porém, na Europa, apenas na década de noventa é que foi dada a devida importância a este assunto, tendo surgido

assim nesta altura o conceito de “alimento funcional”. Segundo o Jornal Britânico da Nutrição (1999), um alimento funcional define-se pela sua capacidade de melhorar o bem-estar ou, reduzir o risco de doenças, garantindo o formato e nutrição de um alimento comum. Contudo, esta definição tem de garantir cinco princípios (figura 1): [1]

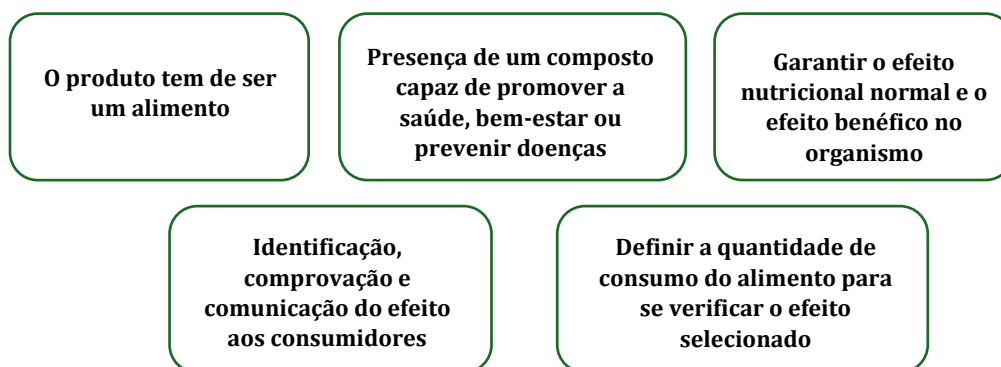


Figura 1. Cinco princípios para um alimento ser considerado funcional.

O conceito de alimento funcional aplica-se quando ocorre algum tipo de alteração a um alimento comum (figura 2) e, enquadra-se nas seguintes situações: [11]

- Adição de um componente que seja benéfico ao organismo;
- Remoção de componentes prejudiciais ao organismo, por meios biotecnológicos;
- Modificação química ou estrutural de um ou mais componentes que constituem o alimento;
- Aumento da biodisponibilidade dos compostos constituem o alimento.

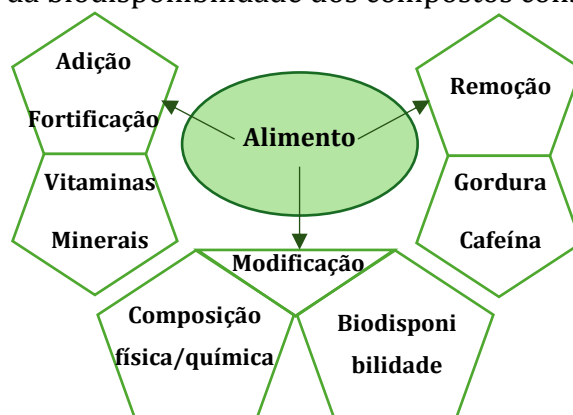


Figura 2. Possíveis alterações que um alimento pode sofrer para se tornar funcional.

O processo de caracterização e validação de um alimento de funcional consiste em quatro etapas: identificação do componente funcional; resposta do organismo ao componente funcional; avaliação da segurança do composto funcional e ensaios de intervenção humana. [11] Na primeira fase identificam-se as propriedades físico-químicas do componente funcional e a forma como este modifica o alimento comum. Posteriormente, analisa-se a presença do composto funcional através de exames ao sangue onde é comprovado a ingestão e absorção do componente funcional. Estas análises não indicam a biodisponibilidade do componente funcional no organismo. Nesta mesma fase, estuda-se a resposta biológica e física, do organismo, face à presença do composto funcional. A resposta biológica caracteriza-se pela análise da alteração dos níveis de metabolitos, proteínas ou enzimas nos fluidos corporais. A resposta física traduz-se na medição direta de parâmetros fisiológicos relacionados à função corporal em estudo. Por exemplo, para averiguar o efeito de um alimento funcional na redução do risco de uma doença cardiovascular, basta medir o estreitamento da artéria carótida, se se verificar uma expansão da mesma após a ingestão do alimento, então é possível concluir que o alimento é benéfico para a saúde cardiovascular. Na terceira etapa avalia-se e otimiza-se a quantidade de componente funcional a ser adicionada ao alimento comum, de forma a garantir que a funcionalidade do componente funcional sem causar danos colaterais ao consumidor. Por último, são realizados ensaios de intervenção humana, onde o alimento funcional é ingerido e são realizados estudos que comprovem a eficácia do mesmo.

O crescente aumento de vendas de alimentos que prometem benefícios nutricionais e para a saúde, como “baixo teor de gordura”, “sem adição de açúcar” e “rico em fibras”, na União Europeia gerou uma preocupação face à veracidade destas alegações. Deste modo, implementou-se uma legislação (Regulamento N.º 432/2012) que menciona os compostos que podem ter alegações funcionais e, a respetiva quantidade necessária para alegar um determinado efeito, num alimento comum. Para além disso, qualquer afirmação que esteja no rótulo, publicidade ou outras formas de marketing que indicam benefícios para a saúde, são consideradas alegações de saúde. [12]

2.4 Cânhamo

A espécie *Cannabis sativa*, foi uma das primeiras plantas a ser cultivada pelo ser humano há cerca de 12 000 anos. Pelo facto de ser uma planta fibrosa, foi inicialmente utilizada no ramo têxtil, para a produção de tecidos e cordas. [1]

Os primeiros vestígios da utilização desta planta como medicamento foram encontrados na China, onde a canábis era usada para tratar dores reumáticas, problemas intestinais, malária e doenças do sistema reprodutor feminino. [2] Em termos históricos, a canábis é até hoje uma planta importante na Índia, uma vez que é considerada um presente de Deus para o homem. No tempo dos Hindus a planta era utilizada no tratamento de insónias, febres e disenteria. [3] Atualmente, o canábis é uma parte importante de festivais religiosos como o Mahâshivarâtri e o Holi, onde os devotos consomem bebidas e alimentos à base de canábis. [1]

No século XIX, a *Cannabis sativa* chegou à Europa com Napoleão Bonaparte, e na França, o médico Moreau de Tours foi pioneiro no estudo de seus efeitos psicóticos. Em Paris, surgiram clubes de uso recreativo do haxixe, frequentados por intelectuais. Nos Estados Unidos, a canábis foi introduzida por imigrantes mexicanos, e em 1937, o Marijuana Tax Act regulamentou o seu uso exclusivamente medicinal. [4] Na década de 1960, o uso recreativo da *canábis* ganhou popularidade com os movimentos hippie e ativista. [2] Em 1971, a ONU classificou a planta como a primeira droga ilícita globalmente devido ao uso excessivo recreativo. [5]

Atualmente as opiniões sobre o uso da canábis dividem o mundo: há países que a proíbem, outros permitem o seu uso apenas com fins medicinais e outros regularizam o seu consumo como um alimento comum. No entanto, alguns governos que, atualmente proíbem o consumo da canábis estão a analisar propostas para o seu uso a nível medicinal, devido há crescente quantidade de estudos que demonstram o impacto positivo do seu consumo no tratamento de certas doenças.

A planta *Cannabis Sativa* é composta por canabinóides como o tetrahydrocannabinol (THC) e canabidiol (CBD). Os canabinóides estão presentes maioritariamente nos tricomas (glândulas de resina). Os tricomas são comumente concentrados nas flores, folhas, cálices e brácteas. As plantas femininas contêm uma maior concentração de canabinóides, uma vez que produzem flores. O cânhamo tem

interesse na forma de semente, haxixe e marijuana. O haxixe consiste num preparado de resina concentrada feito a partir da extração mecânica das glândulas de resina das plantas. Geralmente, as plantas utilizadas para a produção de haxixe são de baixo porte, densas e com flores ricas em resina. A marijuana consiste em flores secas e outras partes da planta que contêm níveis significativos de THC. Há dois tipos de marijuana: marijuana com sementes, resultado da fertilização natural entre plantas masculinas e femininas, e a marijuana sem sementes cujo produto resulta da ausência de fertilização durante o cultivo, onde as plantas masculinas são removidas, evitando o desenvolvimento de sementes. Esta estratégia aumenta o valor do produto, pois a energia da planta é direcionada apenas para a produção de resina, onde o THC é encontrado, tornando o produto mais potente. [13]

Os canabinóides têm um elevado interesse clínico devido ao seu potencial terapêutico, especialmente no tratamento do cancro. A eficácia anti-inflamatória destas duas substâncias foi comprovada em células do cancro da mama e próstata. Para além disso, o THC e o CBD apresentaram uma redução de náuseas e vômitos em pacientes de quimioterapia e, exibiram potencial anticancerígeno, induzindo apoptose, reduzindo o crescimento celular. [14] Atualmente, existe uma lei que limita a quantidade de canabinóides presente num determinado produto. A haxixe e a marijuana contêm elevados níveis de canabinóides e, por isso, o seu comércio é considerado ilegal. Apesar de haver uma controvérsia relacionada com o consumo de cânabis a empresa Gelado Colorido – Fabricação de Gelados e Sorvetes viu uma oportunidade de se diferenciar no mercado. Este projeto visa não só o desenvolvimento de um gelado no ponto de vista funcional, devido à incorporação de pectina, como também serve de base para um futuro projeto no qual as propriedades do cânhamo são aproveitadas ao máximo. Neste projeto apenas se utilizou as sementes de cânhamo para a produção de uma bebida vegetal que foi utilizada como base do gelado, ou seja, o cânhamo foi escolhido entre os vários tipos de sementes (p. ex: soja, aveia, amêndoa) das quais é possível produzir uma bebida vegetal.

As sementes de cânhamo têm uma longa história de cultivo na Europa Oriental e na China, devido ao facto de serem uma excelente fonte de óleo vegetal e proteína.

Atualmente, esta planta tem vindo a ter um crescente interesse o que fez com que a Europa Ocidental e o Canadá começassem a cultivar esta planta. [13]

As sementes de cânhamo são altamente nutritivas por terem um elevado teor proteico, sendo cerca de 60 a 80 % edestina, um tipo de proteína de alta qualidade; a restante percentagem é constituída por proteínas de albumina e aminoácidos essenciais. As proteínas que compõe as sementes de cânhamo têm a vantagem de serem facilmente digeridas e absorvidas pelo organismo. [15][16] Para além disso, estas sementes contêm todos os 9 aminoácidos essenciais, dos quais o enxofre tem uma forte presença, em comparação com os outros tipos de bebida vegetal. No caso dos lípidos, as sementes de cânhamo incluem ácido gama-linolênico (GLA; ômega-6) e o ácido estearidônico (ômega-3) superpoli-insaturados. [16]

Apesar das sementes de cânhamo apresentarem várias propriedades do ponto de vista nutricional, a bebida vegetal apresenta um índice nutricional inferior, sendo esta constituída por: 1,25 - 5,00 % de lípidios; 0,83 - 4,00 % de proteínas e 2,5 - 20,0 % de hidratos de carbono. Adicionalmente, também apresenta vitaminas (vitamina E) e minerais (sódio, fósforo, potássio, magnésio, cálcio, enxofre, ferro e zinco). [17] Tal como qualquer outra bebida vegetal a bebida vegetal de cânhamo apresenta um baixo teor de proteína por porção. Uma forma de combater este défice, pode ser através da adição de uma proteína vegetal, como proteína de ervilha ou proteína de cânhamo. [18]

O consumo desta bebida vegetal oferece inúmeras vantagens tais como: fortalecimento do sistema imunológico e cardiovascular; aumento no desempenho mental e função cognitiva e, ajuda na manutenção da pele, unhas e cabelo, oferecendo um aspeto brilhante, saudável, sem manchas. [19]

2.5 Pectina

A pectina representa cerca de dois terços da massa seca das paredes celulares primárias das plantas, proporcionando integridade estrutural, força e flexibilidade. A sua composição inclui três componentes principais: homogalacturonano (HG), raminogalacturonano-I (RGI) e raminogalacturonano-II (RGII). Devido à sua estrutura complexa e altamente diversificada, esta fibra é utilizada em diversos alimentos como emulsificante, estabilizante, agente de gelificação e espessante. [20]

A pectina pode-se dividir em dois grupos, pectina com elevado grau de metoxilação (HM) e baixo grau de metoxilação (LM). Na pectina HM há um maior teor de grupos metoxilo, a interação entre estas moléculas ocorre essencialmente por pontes de hidrogénio e interações hidrofóbicas, em meio ácido ($2 < \text{pH} < 3,5$), e na presença de concentrações de elevadas de sacarose (superiores a 55%). Este tipo de fibra é utilizado para preparar geleias tradicionais.

Na pectina LM o teor de grupos metoxilo é menor, e a interação entre as moléculas só resulta na formação de um gel na presença de iões divalentes, como cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), em meio ácido ($2 < \text{pH} < 6$). No processo de gelificação os iões divalentes ligam-se aos grupos carboxílicos presentes nas moléculas de ácido galactúrico. Neste caso, a estabilização do gel ocorre por pontes de hidrogénio e, ligações eletrostáticas entre os iões divalentes e as moléculas de pectina. Este tipo de fibra é utilizado para produzir alimentos com baixas calorias, uma vez que não precisa de açúcar para a formação de uma estrutura tridimensional. A pectina LM é mais estável do que a pectina HM em meio ácido e, em temperatura elevada, podendo ser armazenadas por mais de um ano. [20]

A recomendação diária indicada para o consumo de fibras alimentares é de 25 a 30 g. Assim, estipula-se que uma dose de 100 g de gelado deve incorporar 2 a 4 g de fibra. [21] O Regulamento UE n.º 432/2012 da comissão de 16 de maio de 2012, publicado no Jornal Oficial da União Europeia apresenta uma lista das alegações de saúde permitidas pela EFSA, onde é alegado que a ingestão diária de 6 g de pectina contribui para a manutenção de níveis normais de colesterol no sangue. [22] Porém pode ser mencionada uma alegação nutricional face à quantidade de pectina presente no produto, no caso de 3 g de fibras por 100 g ou, pelo menos, 1,5 g de fibras por 100 kcal é alegado que o produto é fonte de fibra e para 6 g de fibras por 100 g ou, pelo menos, 3 g de fibras por 100 kcal, é alegado que o produto é rico em fibra. [23]

A microbiota dos órgãos é sensível a alterações de dieta e clima. O seu desequilíbrio resulta na produção de metabolitos microbianos que podem desencadear modificações epigenéticas originando alergias. Uma forma de controlar o desequilíbrio da microbiota é através do consumo de alimentos

prebióticos, capazes de estimular o crescimento e, atividade de certos microrganismos. [24]

A microbiota intestinal é constituída maioritariamente por dois tipos de bactérias: firmicutes e bacteroidetes. A concentração destas bactérias varia de acordo com a dieta: o consumo de dietas ricas em gorduras tem tendência a aumentar a proporção de firmicutes, e o consumo de dietas ricas em fibras tende a aumentar a proporção de bacteroidetes. [25] A pectina não é diretamente digerida pelo organismo, pois não existem enzimas capazes de a digerir naturalmente, e por isso chega intacta ao intestino grosso, onde é fermentada pelas bactérias do tipo bacteroides, originando ácidos gordos de cadeia curta, como acetato, propionato e butirato. Estes ácidos, especialmente o butirato, estão associados a efeitos epigenéticos, ou seja, influenciam a ativação ou a desativação de genes, sem alterar a sequência de DNA. [26]

A adição de pectina a um gelado, deve ter em conta as suas características enquanto fibra. Uma dieta suplementada com quantidades excessivas de fibra pode levar a um desconforto intestinal originando inchaço, gases e cólicas, especialmente em pessoas com sensibilidade gastrointestinal ou, distúrbios digestivos. A pectina é comumente utilizada como espessante, e por isso existe a dificuldade de recriar um gelado cremoso.

2.6 Gelado de bebida vegetal de cânhamo e avelã

A substituição total de um componente essencial como o leite de vaca no gelado implica uma drástica diminuição do índice nutricional do produto final. Para além disso, a gordura animal é substituída por uma matriz composta por proteínas, hidratos de carbono e gorduras insaturadas. Apesar desta matriz apresentar vantagens como, a redução de ingestão de gorduras saturadas, que quando consumidas em excesso podem provocar problemas cardiovasculares, é difícil produzir um gelado semelhante ao de origem láctea. [24]

O desenvolvimento de um gelado de origem vegetal com pectina visa agregar ingredientes que não apenas oferecem sabor e textura, mas também proporcionam benefícios específicos para a saúde. Face às diferenças entre o leite de vaca e a bebida vegetal, a abordagem adotada para enriquecer o gelado passou por

suplementá-lo com pectina, minerais, proteína vegetal, gordura vegetal e, um emulsionante. A pectina selecionada foi a pectina LMP, permitindo a elaboração de um gelado com baixo teor de açúcar. Os minerais escolhidos para fortificar o gelado foram o cálcio e o magnésio, pelo facto de serem iões divalentes que conferem as condições ótimas para a pectina LMP exercer a sua função como espessante. Para além disso, adicionou-se proteína de cânhamo, óleo vegetal de cânhamo e lecitina de soja, de forma a tentar recriar a estrutura tridimensional que o leite de vaca confere ao gelado.

2.7 Reologia

A aplicação de uma força capaz de deformar o fluido, denomina-se de tensão de cisalhamento, τ (Pa). Quando uma tensão de cisalhamento é aplicada num fluido ocorre a transferência da força através de colisões entre as moléculas no fluido que faz com que a velocidade e energia do fluido diminua. A forma como a força é transferida ao longo do tempo denomina-se de taxa de cisalhamento, $\dot{\gamma}$ (s^{-1}). O coeficiente de proporcionalidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento é definido como viscosidade aparente, η (Pa. s), equação 1. [27]

$$\eta = \tau / \dot{\gamma} \quad (\text{equação 1})$$

A viscosidade aparente refere-se à resistência de movimento interno entre moléculas do fluido e à quantidade de energia dissipada durante o processo. Ademais, a viscosidade aparente de um fluido varia com a pressão e temperatura.

Os fluidos não newtonianos podem ser classificados como pseudoplásticos (shear-thinning), dilatante (shear-thickening) ou plásticos. Na presença de baixas taxas de cisalhamento a viscosidade aparente tende a ser constante, denominada de viscosidade aparente de cisalhamento zero (η_0). Quando é atingida a taxa de cisalhamento crítica, o comportamento do fluido é descrito pelo índice de escoamento (n) e índice de consistência (k) obtido através da lei da potência, equação 2.

$$\tau = k \times \dot{\gamma}^n \quad (\text{equação 2})$$

Se o índice de escoamento for inferior a 1, o fluxo apresenta um comportamento característico dos fluidos pseudoplásticos. Quando o índice de escoamento é igual a

1, então a viscosidade aparente permanece constante independentemente da taxa de cisalhamento, logo trata-se de um fluido newtoniano. No caso do índice de escoamento ser maior a 1, o fluxo apresenta um comportamento característico dos fluidos dilatantes.[28]

O comportamento de um fluxo pseudoplástico é o mais comum de um fluido não newtoniano, no qual a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação. Inicialmente, as moléculas tendem a estar desorganizadas, o que aumenta a resistência ao fluxo e, portanto, a viscosidade aparente. Porém, à medida que a taxa de cisalhamento aumenta, as moléculas tendem a alinhar-se com a direção do fluxo, resultando numa diminuição significativa da viscosidade aparente. Em alguns casos é possível chegar à viscosidade aparente mínima possível (η_{∞}) onde as moléculas apresentam o nível máximo de organização. [27]

O fluxo dilatante é um tipo de comportamento reológico onde a viscosidade de um material aumenta com o aumento da taxa de cisalhamento. Ou seja, à medida que a aplicação de força se intensifica ou elevamos a taxa de cisalhamento, o material tende a formar “redes” temporárias que apresentam resistência ao fluxo, aumentando a viscosidade aparente. Em taxas de cisalhamento muito elevadas as partículas organizam-se momentaneamente de forma a bloquear o fluxo, tornando o material sólido, este fenómeno é denominado “jamming”. [27]

Por fim, os materiais plásticos (Herschel-Bulkley e Bingham) apresentam características de um material sólido e líquido. A resposta de um material face a uma força externa depende da sua viscosidade aparente que traduz a facilidade com que este se deforma e, da sua elasticidade, indicador da capacidade de um material voltar à posição inicial. Os materiais plásticos apresentam uma tensão residual que se traduz no ponto crítico no qual, é aplicada uma força suficientemente intensa para romper a ligação entre as moléculas, destabilizando a sua estrutura, de forma que o material adquira propriedades de um líquido. No entanto, quando a força aplicada é menor que a força de tensão residual, o material é elástico, rede de moléculas absorve os choques energéticos através da deformação do material. Porém, uma vez ultrapassada a tensão residual, o material perde a sua elasticidade e a deformação é irreversível.

O comportamento destes materiais face ao aumento da taxa de cisalhamento encontra-se representado na figura 3.

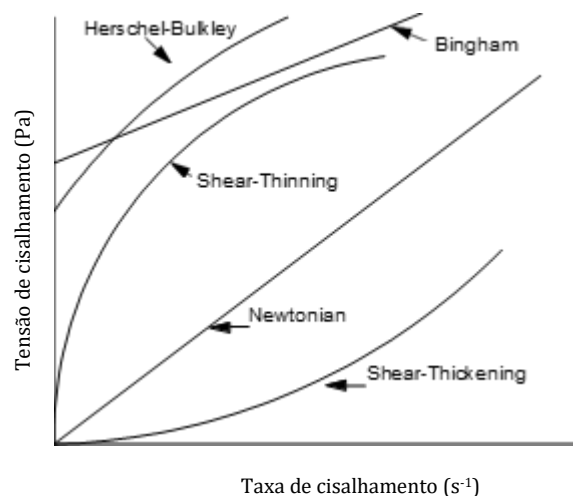


Figura 3. Relação entre taxa e tensão de cisalhamento para os diferentes fluidos. [28]

Na presença de qualquer tensão, os materiais que se comportam como fluidos em repouso apresentam uma curva que inicia na origem, uma vez que qualquer tensão induzirá uma taxa de cisalhamento. Todavia, para os fluidos com tensão residual, as curvas apenas iniciam no ponto que ultrapassa a tensão residual. No caso do fluido plástico de Bingham, o material apresenta um comportamento newtoniano após a tensão residual ser excedida. [27]

3 Materiais e Métodos

O projeto foi dividido em três fases, primeiramente elaborou-se a bebida vegetal de cânhamo, em seguida desenvolveu-se a base de gelado (mistura antes de congelar) e, por fim produziu-se o gelado à escala laboratorial. As diferentes fases encontram-se apresentadas figura 4.



Figura 4. Descrição das diferentes fases de desenvolvimento do projeto.

Neste trabalho, determinou-se os parâmetros reológicos (viscosidade aparente, índice de consistência e índice de escoamento) da base de gelado e do gelado constituído por bebida vegetal de cânhamo.

3.1 Equipamentos utilizados nos testes

O equipamento usado para elaboração de gelados à escala laboratorial foi o *Technogel Mixgel 30* (figura 5), que permitiu a pasteurização das amostras na fase 1 e 2, e a produção de gelado na fase 3.



Figura 5. Máquina Technogel Mixgel 30.

3.2 Fase 1: Desenvolvimento da bebida vegetal de cânhamo

Nesta fase, foram selecionados os diferentes ingredientes a serem utilizados na bebida vegetal e testou-se diferentes concentrações e métodos de produção. Os ingredientes selecionados foram: sementes de cânhamo (OrigensBio), farinha de amido de milho (Maizena), aroma de baunilha (Hacendo), sal grosso (Vatel) e água da companhia (Agere). As sementes de cânhamo antes de serem incorporadas na bebida foram deixadas de molho durante 12 horas para as amolecer e remover impurezas. Após serem filtradas foram adicionadas aos restantes ingredientes, seguindo uma receita standard, e misturadas com o auxílio de uma varinha mágica.

Os parâmetros analisados nesta fase foram a quantidade de amido de milho que variou entre 2 a 4 % (0 g, 20 g, 30 g, 40 g) e, o efeito da pasteurização na homogeneização da mistura. No fim do processo, as amostras foram transferidas para garrafas de 1,5 L, e armazenadas a uma temperatura de - 17,8°C.

3.3 Fase 2: Desenvolvimento da base de gelado

Nesta fase, foram selecionados os diferentes ingredientes a serem utilizados na base de gelado e testou-se diferentes quantidades de pectina. A matéria-prima utilizada nesta fase, para além da utilizada na bebida vegetal de cânhamo foi, pectina (Toufood), proteína vegetal de cânhamo (Iswari), dextrose, sacarose, lecitina de soja (Sanc Bernhard), pasta de avelã, óleo de cânhamo (Sanc Bernhard), cálcio e magnésio. Os ingredientes selecionados foram adicionados à bebida e moídos com o auxílio de uma varinha mágica. De seguida, a mistura foi pasteurizada a 65°C, utilizando o equipamento *Technogel Mixgel 30*.

A percentagem de pectina selecionada foi de 3 % para a alegação nutricional “rico em fibra” e 6 % para a alegação nutricional “fonte de fibra” e a alegação de saúde “manutenção de níveis normais de colesterol no sangue”.

3.4 Fase 3: Desenvolvimento do gelado

Por fim, na fase 3, desenvolveu-se o gelado, com as amostras mais promissoras da fase 2, seguindo o processo exemplificado na figura 6.

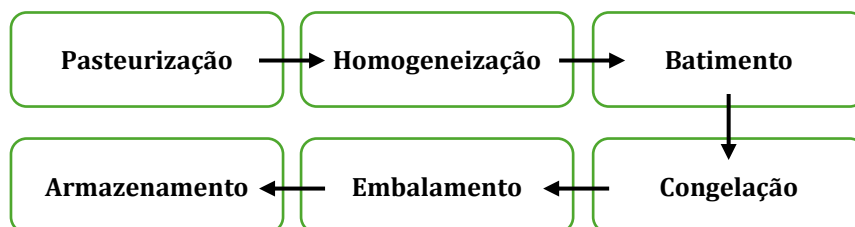


Figura 6. Processo de fabrico de gelado artesanal.

O procedimento da terceira fase foi igual ao da segunda, com a exceção de que após a pasteurização, deu-se o abatimento da temperatura a -6°C . Nesta fase optou-se por não utilizar os sais de magnésio e cálcio.

3.4.1 Parâmetros físicos do gelado

O equipamento utilizado nesta análise foi o reómetro Discovery Hybrid Rheometer 1 (TA – Instruments), figura 7. De uma forma geral este reómetro é constituído por um motor "drag cup" que controla o torque via campo magnético, rolamentos sem contacto que mantêm o eixo estável e um transdutor ótico que mede a rotação usando luz. A base possui uma placa Peltier que ajusta rapidamente a temperatura da amostra. [29]



Figura 7. Discovery Hybrid Rheometer 1.

3.4.2 Teste de varrimento da taxa de cisalhamento

Este teste é essencial para classificar o tipo de fluido, com base na aplicação de diferentes forças de cisalhamento, seguida da respetiva avaliação de determinados

parâmetros intrínsecos ao material como a viscosidade aparente e comportamento de escoamento. Este teste é essencial para perceber a forma como um material se comporta em processos de, por exemplo, mistura e bombeamento.

O sistema utilizado no procedimento experimental foi o de geometria de cone e prato (Figura 8). O prato apresentou um raio (R) de 20 mm e um ângulo (α) de 2.026° . Todos os processos foram realizados a 25°C em triplicado. A taxa de cisalhamento variou entre 0 e 400 s^{-1} .

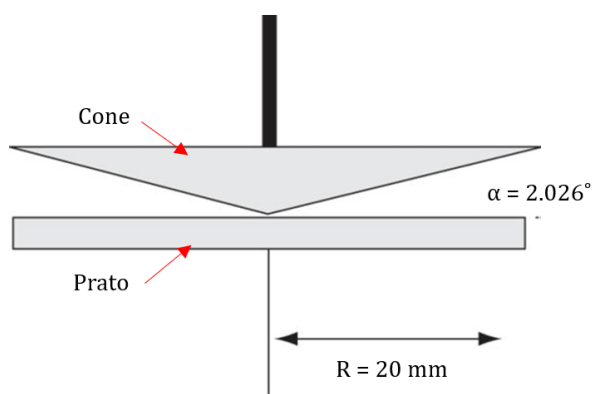


Figura 8. Esquema de funcionamento do reómetro com sistema cone e prato. [30]

3.5 Análise Estatística

A ANOVA avalia a diferença entre a média de grupos através da análise de três parâmetros essenciais: p , F e F crítico. O parâmetro p está relacionado com o nível de significância (α), neste caso considerou-se $\alpha = 0,05$. Se p for menor que 0,05 há uma diferença significativa entre grupos, mas se p for maior que 0,05 não há evidências suficientes para concluir que as médias dos grupos são diferentes. O parâmetro F consiste na razão entre a variabilidade entre os grupos e a variabilidade dentro dos grupos. Por fim o parâmetro $F_{\text{crítico}}$ indica se há ou não diferenças significativas entre o grupo. No caso de F ser menor ou igual ao $F_{\text{crítico}}$, concluiu-se que as médias dos grupos são diferentes, mas se F for maior que o $F_{\text{crítico}}$ não há diferenças significativas entre as médias do grupo.

O teste Tukey avalia se a relação entre dois conjuntos de dados é estatisticamente significativa. O método de Tukey é aplicado na ANOVA para calcular intervalos de confiança para as diferenças entre as médias. Desta forma,

recorreu-se ao cálculo da diferença mínima significativa (d.m.s), com o objetivo de identificar a existência de amostras estatisticamente diferentes entre si. Se a diferença das médias for superior à diferença mínima significativa, concluiu-se que há diferenças estatisticamente significativas para o nível de significância estabelecido ($\alpha=0,05$). A diferença mínima significativa calcula-se a partir da fórmula:

$$d.m.s = q\alpha \sqrt{\frac{QMR}{n}} \quad (\text{equação 3})$$

$q\alpha$ – Valor crítico de Tukey; QMR - Quadrado Médio do Resíduo; n – Número de réplicas

O valor crítico de Tukey foi obtido através da análise da tabela de valores de amplitude total estudentizada (q), anexo A.

4 Análise e discussão de resultados

Neste capítulo, apresentaram-se os principais resultados obtidos nos testes aplicados e a discussão dos mesmos. Na fase 1, avaliou-se o efeito da pasteurização e presença de amido de milho na bebida vegetal. Na fase 2, avaliou-se o efeito do amido de milho e pectina na base de gelado, e na fase 3, estudou-se o efeito da pectina e do óleo de cânhamo no gelado.

4.1 Fase 1: Desenvolvimento da bebida vegetal

Na primeira fase estudou-se o efeito do amido de milho e da pasteurização na bebida vegetal. A receita formulada para este teste foi inspirada numa receita de bebida vegetal de cânhamo artesanal que continha amido de milho.

O objetivo desta fase foi desenvolver 1 L de uma bebida vegetal semelhante ao leite para servir de ponto de partida para o desenvolvimento do gelado. A bebida deve ser homogênea sem partículas flutuantes para não interferir na textura e aparência do gelado. As bebidas vegetais são bastante líquidas por serem compostas maioritariamente por água, logo pensou-se em adicionar um espessante como amido de milho, para aumentar a viscosidade da bebida para que esta se assemelhasse ao leite. Associado à sedimentação das partículas, pensou-se em estudar o efeito da pasteurização, uma vez que esta etapa melhora a homogeneização, prevenindo a separação dos componentes. Assim, na fase 1 foi

realizado um teste com cinco amostras, em meio líquido (antes do congelamento), sólido (após congelamento) e aquoso (após descongelamento), como apresentado na tabela 1.

Da análise visual das bebidas vegetais verificou-se que a pasteurização facilitou a homogeneização da mistura e que as sementes sedimentaram na amostra BC, BP e BP20 e, na amostra BP30 e BP40 as sementes ficaram suspensas na bebida.

Desta forma, aferiu-se que a presença de uma concentração superior ou igual a 30 g de amido de milho promoveu o aumento da consistência da mistura fazendo com que as sementes ficassem em suspensão, resultando num sólido. A ausência de amido de milho (BP) resultou numa bebida com um elevado grau de sedimentação e, a incorporação de 20 g de amido de milho resultou numa bebida estável, mas com alguma sedimentação.

Para a fase seguinte selecionou-se a bebida vegetal BP 20 e a bebida vegetal BP, pensando na hipótese da pectina apresentar o mesmo efeito que o amido de milho, uma vez que são os dois espessantes.

4.2 Fase 2: Desenvolvimento da base do gelado

O foco desta fase foi incorporar a quantidade mínima de pectina para as alegações selecionadas, sendo que a prioridade foi a alegação de saúde, pois tornaria o gelado funcional. A finalidade desta fase consistiu em compreender se a pectina pode ser um substituto ou uma adição ao amido de milho, e perceber o seu efeito na base de gelado, uma vez que o amido de milho e a pectina apresentam características espessantes.

As amostras desenvolvidas tiveram uma massa total de 200 g, o que correspondeu à adição de uma quantidade de pectina igual a 6 g e 12 g, para as respetivas alegações de saúde. Assim, na fase 2 foi realizado um teste com cinco amostras:

BGT- Base de gelado de avelã comercial

BG6- Bebida vegetal de cânhamo pasteurizada sem amido de milho com 6 g pectina

BG12- Bebida vegetal de cânhamo pasteurizada sem amido de milho com 12 g pectina

BGA6- Bebida vegetal de cânhamo pasteurizada com 20 g amido de milho com 6 g pectina

BGA12- Bebida vegetal de cânhamo pasteurizada com 20 g amido de milho com 12 g pectina

4.2.1 Curvas de escoamento

Da análise reológica foi possível retirar as curvas de escoamento, que relacionam a tensão de cisalhamento com a taxa de cisalhamento, figura 9.

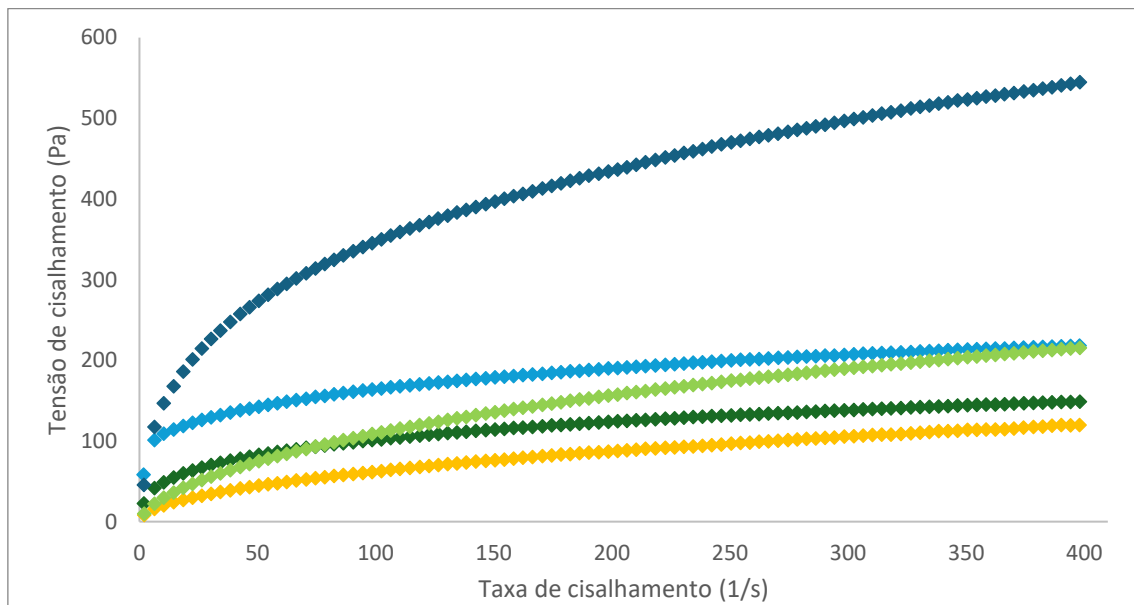


Figura 9. Representação das curvas de escoamento das bases de gelado testadas. Legenda: BGT BG6 BG12 BGA6 BGA12.

Da figura 9, verificou-se que os perfis das curvas de escoamento das amostras das bases de gelado indicaram um comportamento pseudoplástico. Para além disso, o perfil de escoamento da base de gelado BGT apresentou uma menor variação da tensão de cisalhamento com a taxa de cisalhamento. Os perfis de escoamento das amostras BG6 e BGA6 aproximaram-se do perfil de escoamento da base BGT. No entanto, a presença de amido de milho aumentou a tensão de cisalhamento. Os perfis de escoamento das amostras BG12 e BGA12 apresentaram perfis muito distintos do perfil da base BGT, e por isso anulou-se a hipótese de incorporar esta quantidade de pectina na fase seguinte, uma vez que um dos objetivos do projeto era desenvolver um gelado cuja textura fosse semelhante ao gelado de avelã à base de leite,

produzido pela empresa. Deste modo, a base de gelado que seguiu para a próxima fase foi a bebida vegetal 2, sem amido de milho com a incorporação de 6 g de pectina.

Uma vez que as amostras de base de gelado apresentaram um comportamento pseudoplástico, aplicou-se o modelo de lei de potência (equação 2) aos resultados das curvas de escoamento, sendo possível obter os parâmetros reológicos empíricos das amostras de gelado testadas. Desta forma, o índice de consistência (k) e o índice de fluxo (n) encontram-se representados na tabela 2.

Tabela 1. Valores de índice de consistência (k) e índice de fluxo (n) obtidos através da análise reológica para as bases de gelado testadas. Letras diferentes, dentro da mesma coluna, correspondem a diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$)

Gelado	BGT	BG6	BG12	BGA6	BGA12
k (Pa.s ⁿ)	$4,6^a \pm 0,2$	$17,0^b \pm 4,4$	$24,7^b \pm 0,8$	$7,7^a \pm 0,2$	$50,1^c \pm 1,4$
n	$0,541^a \pm 0,001$	$0,36^b \pm 0,01$	$0,33^c \pm 0,01$	$0,546^a \pm 0,006$	$0,388^b \pm 0,002$
R^2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Pela análise da tabela 2 verificou-se que o modelo matemático aplicado se ajustou adequadamente aos resultados obtidos pelas curvas de escoamento para as amostras de base de gelado, uma vez que o coeficiente de regressão foi próximo de 1, em todos os casos.

Avaliando os valores da tabela verificou-se que a amostra mais semelhante à base de gelado comercial foi a amostra BGA6. Comparando o efeito da quantidade de pectina no índice de consistência das amostras, averiguou-se que a presença de 12 g de pectina resultou em índices de consistência muito elevados, indicando que estas amostras apresentaram uma maior resistência ao escoamento sob a mesma taxa de deformação.

Para além disso, verificou-se que para índices de consistência mais elevados o índice de escoamento foi mais baixo, resultando numa maior viscosidade aparente da amostra, o que é esperado de um gelado. Um índice de consistência alto indica que o gelado é composto por uma estrutura que lhe confere cremosidade e estabilidade, para além de que ajuda a prevenir a separação de fases e a formação de cristais de gelo. O facto de apresentar um índice de escoamento baixo indica que a mistura apresenta pouca fluidez, e por isso terá mais dificuldade a derreter. De uma forma geral, as amostras que apresentaram índices de consistência mais elevados

também exibiram índices de escoamento mais baixos. Isto pode ser explicado pela presença do espessante, cujas moléculas se ligam para formar um gel, aumentando a viscosidade aparente da base. O aumento da viscosidade aparente torna o gelado mais denso, o que resulta num índice de consistência elevado, e diminui a fluidez do gelado, resultando num índice de resistência menor.

Comparando a mesma quantidade de pectina, mas diferente bebida vegetal aferiu-se que para 6 g de pectina a base sem amido BG6 apresentou um maior índice de consistência que a base com amido BGA6 e, para 12 g de pectina, a base sem amido BG12 apresentou um menor índice de consistência em relação à base com amido BGA12. Considerando que o amido de milho e a pectina são dois espessantes esperava-se que as amostras contendo estas duas matérias-primas apresentassem índices de consistência superiores. Apesar deste efeito ter-se verificado para as bases com 12 g de pectina, tal não se verificou para as bases com 6 g de pectina. Este resultado pode ser explicado pelo efeito antagonista, ou seja, para baixas concentrações de pectina o amido de milho pode ter interferido com as interações entre as moléculas de pectina e proteína, anulando a sua capacidade de gerar uma matriz com propriedades gelificantes. Contudo, a presença de 12 g de pectina vence este efeito, resultando num índice de escoamento notoriamente superior.

Analisando o índice de escoamento verificou-se que este foi inferior a um em todas as amostras, o que mais uma vez indicou o caráter pseudoplástico das bases de gelado.

4.3 Fase 3 – Gelado

Por fim na fase 3, realizaram-se os testes ao gelado fazendo variar a quantidade de pectina e óleo de cânhamo. No processo de produção do gelado foi adicionado a etapa de abatimento e congelamento.

As amostras sem pectina foram essenciais para perceber a dinâmica dos ingredientes na formulação de gelado e, se este apresentava uma cremosidade semelhante ao gelado de avelã comercial. As amostras com pectina foram fundamentais para compreender a forma como a pectina afeta a dinâmica da mistura e, se o facto de ser um espessante interfere na cremosidade e, na presença de cristais

de gelo do gelado. Por último, estudou-se o efeito do óleo de cânhamo no gelado para verificar a possibilidade de reduzir a quantidade de lípidos presente no gelado. Deste modo, na fase 3, foram realizadas 5 amostras:

GA – Gelado de avelã comercial

GOP - Gelado de cânhamo e avelã com óleo de cânhamo com pectina

GO - Gelado de cânhamo e avelã com óleo de cânhamo sem pectina

GP - Gelado de cânhamo e avelã sem óleo de cânhamo com pectina

G- Gelado de cânhamo e avelã sem óleo de cânhamo sem pectina

4.3.1 Viscosidade aparente e Tensão dos gelados

A viscosidade aparente é dependente da tensão e da taxa de cisalhamento, logo a sua análise reflete a resposta do fluido face a resistência do fluido ao escoamento a uma determinada tensão de cisalhamento. Assim, avaliou-se a viscosidade aparente e a tensão de cisalhamento entre os instantes 0,6 s e 119 s. As médias da viscosidade aparente e tensão encontram-se representadas na tabela 3.

Tabela 2. Diferença entre as médias da viscosidade aparente para as diferentes amostras. Letras diferentes, dentro da mesma coluna, correspondem a diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$)

	Instante t = 0,6 s		Instante t = 119 s	
	Viscosidade aparente	Tensão	Viscosidade aparente	Tensão
GA	1,43 ^a ± 0,05	3,3 ^a ± 0,1	0,09 ^a ± 0,01	39,4 ^a ± 3,1
GOP	1,55 ^a ± 0,09	4,7 ^b ± 0,2	0,16 ^b ± 0,01	64,1 ^b ± 2,1
GO	0,71 ^b ± 0,03	1,62 ^c ± 0,08	0,025 ^c ± 0,002	10,1 ^c ± 0,9
GP	1,39 ^a ± 0,09	4,3 ^b ± 0,6	0,22 ^d ± 0,02	85,4 ^d ± 6,8
G	0,91 ^b ± 0,23	2,1 ^c ± 0,5	0,027 ^c ± 0,004	10,3 ^c ± 0,9

Da tabela 3 aferiu-se que a viscosidade aparente diminuiu ao longo do tempo, mas a tensão aumentou. O aumento da tensão de cisalhamento é resultado do aumento da força aplicada, que por sua vez, é responsável por organizar as moléculas de forma que estas se alinham com a direção do fluxo, reduzindo a resistência ao movimento e, consequentemente, a viscosidade aparente diminui.

Analisando o efeito da pectina nos gelados, aferiu-se que as amostras de gelado com pectina apresentaram valores de tensão e viscosidade aparente mais elevadas relativamente com as amostras de gelado sem pectina, para os dois instantes. A incorporação de pectina no gelado resultou num aumento da viscosidade aparente

e tensão, uma vez que como é um agente gelificante / espessante foi capaz de gerar uma matriz, juntamente com lípidos e proteínas, responsável por aumentar a consistência e estabilidade do gelado.

Analisando o efeito do óleo de cânhamo, foi possível apurar que, para o instante inicial, os gelados com pectina apresentaram um valor de viscosidade aparente e tensão superior na presença de óleo de cânhamo. No entanto nos gelados sem pectina, a presença de óleo de cânhamo correspondeu a um valor de viscosidade aparente e tensão menor comparativamente à sua ausência. No instante final, aferiu-se que a ausência de óleo de cânhamo resultou num valor de viscosidade aparente e tensão superior para o gelado com e sem pectina. Inicialmente, o gelado com pectina e óleo de cânhamo apresentou a maior viscosidade aparente e tensão, indicando que a interação destas matérias-primas reforçou a estrutura do gelado, resultando no aumento da resistência ao escoamento. O gelado resultante da ausência de pectina, mas presença de óleo de cânhamo (GO) apresentou valores de viscosidade aparente e tensão iniciais mais baixos, indicando que sem a pectina para estabilizar a mistura, o óleo age como um lubrificante, resultando na diminuição da resistência do fluxo. No instante final, apurou-se que a presença de óleo de cânhamo no gelado com e sem pectina (GO e GOP), levou a que o valor da viscosidade aparente e tensão fosse inferior comparativamente com os gelados sem óleo (G e GP). Para verificar se de facto a estrutura do gelado sem óleo de cânhamo (GO e GOP) apresentou uma estrutura mais estável para taxas de cisalhamento prolongadas devem-se realizar ensaios oscilatórios.

4.3.2 Curvas de escoamento

Da análise reológica foi possível retirar as curvas de escoamento, que relacionam a tensão de cisalhamento com a taxa de cisalhamento, figura 10.

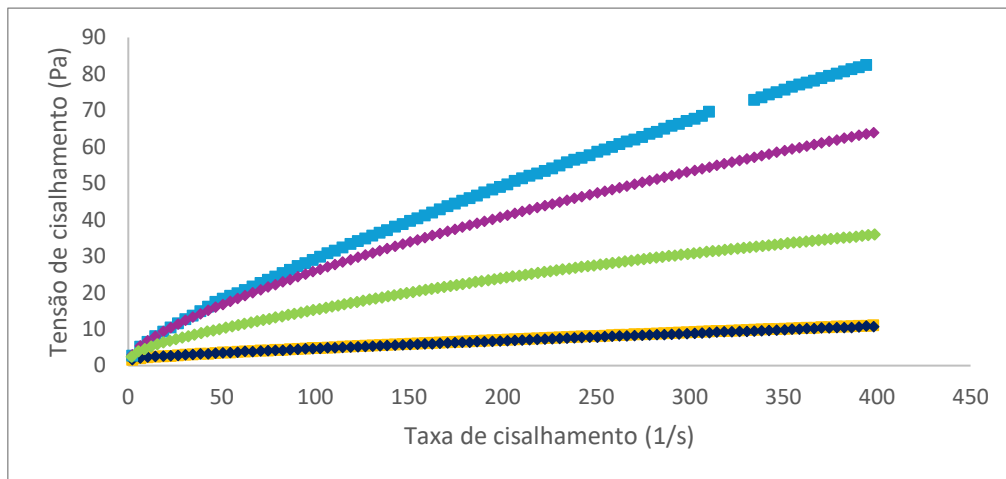


Figura 10. Representação das curvas de escoamento dos gelados testados. Legenda: ● GA ● GOP ● GO ● GP ● G.

Pela análise da figura 10, verificou-se que os perfis das curvas de escoamento das amostras de gelado indicaram um comportamento pseudoplástico. Pela avaliação dos perfis de escoamento, verificou-se que os gelados com pectina apresentaram diferenças significativas, mas os perfis de escoamento dos gelados sem pectina foram idênticos. Na presença de pectina, constatou-se que para baixas taxas de cisalhamento o óleo de cânhamo não interferiu com as curvas de escoamento, mas para taxas de cisalhamento elevadas o declive da curva de escoamento sem óleo de cânhamo (GP) foi mais acentuado do que do gelado com óleo de cânhamo (GOP). Deste modo, foi possível concluir que a presença de óleo de cânhamo e pectina originou um gelado consistente que apresentou uma menor variação de viscosidade aparente com o aumento da tensão. Para além disso, todas as amostras testadas apresentaram um perfil de escoamento diferente do perfil de escoamento do gelado de avelã comercial, as amostras com pectina (GOP e GP) apresentaram valores superior e as amostras sem pectina (GO e G) apresentaram valores inferiores. Este fenómeno pode dever-se ao facto de que o gelado de avelã comercial foi desenvolvido sob as condições de processamento industrial e não sob condições piloto como as amostras.

Ajustando o modelo de lei de potência (equação 2) aos resultados das curvas de escoamento, foi possível obter os parâmetros reológicos empíricos das amostras de gelado testadas. Desta forma, o índice de consistência (k) e o índice de fluxo (n) encontram-se representados na tabela 4.

Tabela 3. Valores de índice de consistência (k), índice de fluxo (n) e coeficiente de regressão, obtidos através da análise reológica para os gelados testados. Letras diferentes, dentro da mesma linha, correspondem a diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Gelado	GA	GOP	GO	GP	G
k (Pa.s ⁿ)	0,55 ^a ± 0,01	0,88 ^b ± 0,04	0,08 ^c ± 0,01	0,7 ^d ± 0,1	0,12 ^c ± 0,06
n	0,70 ^a ± 0,01	0,71 ^a ± 0,01	0,78 ^a ± 0,01	0,80 ^a ± 0,02	0,7 ^a ± 0,1
R ²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Pela análise da tabela 4 verificou-se que o modelo matemático aplicado se ajustou adequadamente aos resultados obtidos pelas curvas de escoamento das amostras de gelado, uma vez que o coeficiente de regressão foi próximo de 1, em todos os casos.

Analizando a presença de pectina nos gelados, verificou-se que os gelados com pectina incorporada (GOP e GP) apresentaram índices de consistência mais elevados que o gelado de avelã comercial, sugerindo que a quantidade de pectina necessária para que o gelado possa ter a alegação nutricional “rico em fibra”, resultou num gelado duro, uma vez que a tensão necessária para deformar o gelado é mais elevada do que o gelado de avelã comercial. A principal desvantagem deste efeito é a perda da cremosidade. Por outro lado, os gelados sem pectina (GO e G) apresentaram índices de consistência inferiores ao gelado de avelã comercial, indicando que o gelado desenvolvido apresentou uma estrutura instável e uma textura mais leve, resultando na diminuição da cremosidade e maior facilidade de derretimento.

Em relação ao índice de escoamento verificou-se que $n < 1$ para todas as amostras, o que mais uma vez indicou o caráter pseudoplástico dos gelados, sendo o seu valor semelhante para todas as amostras de gelado.

5 Considerações Finais

O desenvolvimento de um gelado funcional com pectina revelou um potencial significativo para a inovação no mercado de gelados. A pesquisa e desenvolvimento de um gelado funcional com pectina e ingredientes inovadores, como o óleo e proteína de cânhamo, atende a uma demanda crescente por produtos alternativos

no mercado, especialmente entre consumidores preocupados com a saúde e a sustentabilidade.

Este estudo demonstrou que a incorporação de pectina resultou no aumento da viscosidade aparente dos gelados, e, a sua interação com o óleo de cânhamo formou uma matriz estável que melhorou a consistência do produto. Porém, a concentração de pectina deve ser otimizada, uma vez que a quantidade necessária para a alegação nutricional foi excessiva, resultando num gelado duro com pouca cremosidade, prejudicando os atributos sensoriais do gelado.

No desenvolvimento da bebida vegetal, concluiu-se que o amido de milho e a pasteurização melhoraram a consistência e homogeneização da bebida. O amido de milho interagiu com as outras matérias-primas e, a pasteurização garantiu a segurança biológica e a uniformidade da mistura. Relativamente às bases de gelado, verificou-se que a interação entre o amido de milho e a pectina (6 g_{pectina}/100 g) resultou numa base próxima à base de gelado comercial, sugerindo que a combinação de ingredientes foi crucial para alcançar a textura desejada. Por fim, na fase de desenvolvimento do gelado, concluiu-se que a incorporação de pectina melhorou a consistência e estabilidade do gelado, mas pode comprometer a sua cremosidade. Para além disso, verificou-se que sem a pectina, o óleo de cânhamo atuou como um lubrificante, tornando a textura do gelado instável e leve. Assim, concluiu-se que a pectina é uma matéria-prima essencial para o desenvolvimento de um gelado vegano, mas é necessário otimizar as concentrações de todas as matérias-primas de forma a melhorar a textura e cremosidade do gelado desenvolvido.

As formulações testadas têm potencial para oferecer uma alternativa saudável e inovadora no mercado de gelados, mas requer ajustes adicionais para desenvolver um gelado que se aproxime das características dos gelados comuns. Futuramente, a amostra de gelado comercial poder ser desenvolvida em escala piloto para que o método de processamento não seja uma variável em estudo. Para além disso, talvez seja interessante desenvolver um gelado a partir da base de gelado onde se utilizou 6 g de pectina e a bebida vegetal contendo 20 g de amido de milho. Após o desenvolvimento do gelado estar concluído, seria interessante incluir os canabinóides como o tetrahidrocanabinol (THC) e canabidiol (CBD) para que este gelado fosse utilizado como reforço ao combate ao cancro.

Referências Bibliográficas

- [1] M. Doyon and J. A. Labrecque, "Functional foods: A conceptual definition," 2008. doi: 10.1108/00070700810918036.
- [2] H. D. Goff and R. W. Hartel, *Ice Cream*. Boston, MA: Springer US, 2013. doi: 10.1007/978-1-4614-6096-1.
- [3] O. Legassa, "International Journal of Food and Nutritional Science Ice Cream Nutrition and Its Health Impacts," 2022, doi: 10.15436/2377-0619.20.2678.
- [4] "Ice Cream Ingredients _ EuroGlaces," *Euroglaces - European Ice Cream Association*, Accessed: Feb. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.euroglaces.eu/ice-cream-ingredients>
- [5] "Norma Portuguesa - Gelados alimentares e misturas embaladas para congelar.," Mar. 2008, *Instituto Português da Qualidade*.
- [6] "DAIRY MARKET REVIEW Emerging trends and outlook 2022," *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, pp. 1–16, 2022.
- [7] A. Romulo, "Nutritional Contents and Processing of Plant-Based Milk: A Review," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Mar. 2022. doi: 10.1088/1755-1315/998/1/012054.
- [8] Nddic, "Lactose Intolerance National Digestive Diseases Information Clearinghouse."
- [9] V. Giovanna, C. Carla, C. Alfina, P. A. Domenico, and L. Elena, "The immunopathogenesis of cows milk protein allergy (CMPA)," 2012. doi: 10.1186/1824-7288-38-35.
- [10] "U.S. MILK AND WHEY INGREDIENTS IN ICE CREAM AND FROZEN DAIRY DESSERTS."
- [11] "Scientific Concepts of Functional Foods in Europe Consensus Document," *British Journal of Nutrition*, vol. 81, no. 4, pp. S1–S27, Apr. 1999, doi: 10.1017/S0007114599000471.

- [12] C. Sousa Silva, A. Rita Passos, A. Filipa Pereira, A. Ferreira Vinha, and A. Cláudia Nunes, "ALIMENTOS FUNCIONAIS: UMA TENDÊNCIA DE MERCADO FUNCTIONAL FOODS: A MARKET TREND ALIMENTOS FUNCIONALES: UNA TENDENCIA DE MERCADO."
- [13] R. C. Clark and M. D. Merlin, "Cannabis," 2013.
- [14] M. D. Mashabela and A. P. Kappo, "Anti-Cancer and Anti-Proliferative Potential of Cannabidiol: A Cellular and Molecular Perspective," Jun. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/ijms25115659.
- [15] T. Docimo, I. Caruso, E. Ponzoni, M. Mattana, and I. Galasso, "Molecular characterization of edestin gene family in Cannabis sativa L.," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 84, pp. 142–148, Nov. 2014, doi: 10.1016/j.plaphy.2014.09.011.
- [16] U. S. Vahanvaty, "Hemp Seed and Hemp Milk: The New Super Foods?," 2009. doi: 10.1177/1941406409342121.
- [17] A. Besir, N. Awad, M. Mortas, and F. Yazici, "A Plant-Based Milk Type: Hemp Seed Milk," 2022, *Sidas Medya A.S.* doi: 10.24323/akademik-gida.1149875.
- [18] J. Callaway *et al.*, "Efficacy of dietary hempseed oil in patients with atopic dermatitis," *Journal of Dermatological Treatment*, vol. 16, no. 2, pp. 87–94, 2005, doi: 10.1080/09546630510035832.
- [19] "Health Benefits of Organic Hemp Milk," *National Hemp Association*, 2016.
- [20] T. Vanitha and M. Khan, "Role of Pectin in Food Processing and Food Packaging," in *Pectins - Extraction, Purification, Characterization and Applications*, IntechOpen, 2020. doi: 10.5772/intechopen.83677.
- [21] A. Genovese, A. Balivo, A. Salvati, and R. Sacchi, "Functional ice cream health benefits and sensory implications," Nov. 01, 2022, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.foodres.2022.111858.

- [22] Comissão Europeia, “Regulamento (UE) n.o 432/2012,” 2012, *Jornal Oficial da União Europeia*.
- [23] Comissão Europeia, “Regulamento (CE) N.o 1924/2006,” 2006, *Jornal Oficial da União Europeia*.
- [24] A. Genovese, A. Balivo, A. Salvati, and R. Sacchi, “Functional ice cream health benefits and sensory implications,” Nov. 01, 2022, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.foodres.2022.111858.
- [25] S. Stojanov, A. Berlec, and B. Štrukelj, “The influence of probiotics on the firmicutes/bacteroidetes ratio in the treatment of obesity and inflammatory bowel disease,” Nov. 01, 2020, *MDPI AG*. doi: 10.3390/microorganisms8111715.
- [26] F. Blanco-Pérez, H. Steigerwald, S. Schülke, S. Vieths, M. Toda, and S. Scheurer, “The Dietary Fiber Pectin: Health Benefits and Potential for the Treatment of Allergies by Modulation of Gut Microbiota,” Oct. 01, 2021, *Springer*. doi: 10.1007/s11882-021-01020-z.
- [27] “A Basic Introduction to Rheology,” 2016.
- [28] J. Freeman. Steffe, *Rheological methods in food process engineering*. Freeman Press, 1996.
- [29] “Getting Started Guide Discovery Hybrid Rheometer (DHR Series).”
- [30] A. U. Khan, N. Mahmood, and A. A. Bazmi, “Direct comparison between rotational and extrusion rheometers,” *Materials Research*, vol. 12, no. 4, pp. 477–481, 2009, doi: 10.1590/S1516-14392009000400017.

Anexos

Anexo A. Valores de amplitude total estudentizada para $\alpha = 0,05$

Anexo B. Análise estatística dos parâmetros reológicos da base de gelado (fase 2)

Anexo C. Análise estatística da viscosidade aparente dos gelados (fase 3)

Anexo D. Análise estatística da tensão dos gelados (fase 3)

Anexo E. Análise estatística dos parâmetros reológicos dos gelados (fase 3)

Anexo A. Valores de amplitude total estudentizada para $\alpha = 0,05$

Graus de Liberdade	Número de Tratamentos														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2	6,08	8,33	9,80	10,88	11,73	12,43	13,03	13,54	13,99	14,40	14,76	15,09	15,39	15,67	
3	4,50	5,91	6,82	7,50	8,04	8,48	8,85	9,18	9,46	9,72	9,95	10,15	10,35	10,52	
4	3,93	5,04	5,76	6,29	6,71	7,05	7,35	7,60	7,83	8,03	8,21	8,37	8,52	8,66	
5	3,64	4,60	5,22	5,67	6,03	6,33	6,58	6,80	6,99	7,17	7,32	7,47	7,60	7,72	
6	3,46	4,34	4,90	5,30	5,63	5,90	6,12	6,32	6,49	6,65	6,79	6,92	7,03	7,14	
7	3,34	4,16	4,68	5,06	5,36	5,61	5,82	6,00	6,16	6,30	6,43	6,55	6,66	6,76	
8	3,26	4,04	4,53	4,89	5,17	5,40	5,60	5,77	5,92	6,05	6,18	6,29	6,39	6,48	
9	3,20	3,95	4,41	4,76	5,02	5,24	5,43	5,59	5,74	5,87	5,98	6,09	6,19	6,28	
10	3,15	3,88	4,33	4,65	4,91	5,12	5,30	5,46	5,60	5,72	5,83	5,93	6,03	6,11	
11	3,11	3,82	4,26	4,57	4,82	5,03	5,20	5,35	5,49	5,61	5,71	5,81	5,90	5,98	
12	3,08	3,77	4,20	4,51	4,75	4,95	5,12	5,27	5,39	5,51	5,61	5,71	5,80	5,88	
13	3,06	3,73	4,15	4,45	4,69	4,88	5,05	5,19	5,32	5,43	5,53	5,63	5,71	5,79	
14	3,03	3,70	4,11	4,41	4,64	4,83	4,99	5,13	5,25	5,36	5,46	5,55	5,64	5,71	
15	3,01	3,67	4,08	4,37	4,59	4,78	4,94	5,08	5,20	5,31	5,40	5,49	5,57	5,65	
16	3,00	3,65	4,05	4,33	4,56	4,74	4,90	5,03	5,15	5,26	5,35	5,44	5,52	5,59	
17	2,98	3,63	4,02	4,30	4,52	4,70	4,86	4,99	5,11	5,21	5,31	5,39	5,47	5,54	
18	2,97	3,61	4,00	4,28	4,49	4,67	4,82	4,96	5,07	5,17	5,27	5,35	5,43	5,50	
19	2,96	3,59	3,98	4,25	4,47	4,65	4,79	4,92	5,04	5,14	5,23	5,31	5,39	5,46	
20	2,95	3,58	3,96	4,23	4,45	4,62	4,77	4,90	5,01	5,11	5,20	5,28	5,36	5,43	

Anexo B. Análise estatística dos parâmetros reológicos da base de gelado (fase 2)

Tabela B 1. Análise da variância anova para o índice de consistência das bases de gelado

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância
GA	2	9,118956	4,559478	0,034939
GOP	2	33,89355	16,94677	19,22983
GO	2	49,32128	24,66064	0,607764
GP	2	15,29128	7,645641	0,040573
G	2	100,1217	50,06083	1,888005

ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	2645,474	4	661,3684	151,6823	2,1E-05	5,192168
Dentro de grupos	21,80111	5	4,360223			
Total	2667,275	9				

Teste de Tukey

- Nº testes: 5

$F > F_{\text{crítico}}$ e $p < 0,05$
Há pelo menos uma amostra estatisticamente diferente das outras.

- Nº amostras: 2 (duplicado)
- Nível de significância: 0,05
- Grau de liberdade: 5
- Valor crítico de Tukey: 5,67

Diferença mínima significativa

$$d.m.s = 4,65 \sqrt{\frac{4,36}{3}} = 8,37$$

Tabela B 2. Diferença entre as médias dos índices de consistência das bases de gelado

	BGT	BG6	BG12	BGA6	BGA12
BGT	0	12,3873	20,10116	3,086163	45,50136
BG6		0	7,713866	9,301132	33,11406
BG12			0	17,015	25,4002
BGA6				0	42,41519

Não existem diferenças estatisticamente significativas entre: BGT-BGA6 e BG6-BG12

Tabela B 3. Análise da variância anova para o índice de escoamento a das bases de gelado

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância
BGT	2	1,081618	0,540809	1,32E-06
BG6	2	0,728802	0,364401	0,000145
BG12	2	0,652701	0,32635	0,000101
BGA6	2	1,092239	0,546119	3,57E-05
BGA12	2	0,776594	0,388297	3,52E-06

ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	0,084994	4	0,021248	369,9441	2,3E-06	5,192168
Dentro de grupos	0,000287	5	5,74E-05			
Total	0,085281	9				

F > F_{crítico} e p < 0,05
Há pelo menos uma amostra estatisticamente diferente das outras.

Diferença mínima significativa

$$d.m.s = 4,65 \sqrt{\frac{5,74 \times 10^{-5}}{3}} = 0,0304$$

Tabela B 4. Diferença entre as médias dos índices de escoamento das bases de gelado

	BGT	BG6	BG12	BGA6	BGA12
BGT	0	0,176408	0,214458	0,005311	0,152512
BG6		0	0,038051	0,181718	0,023896
BG12			0	0,219769	0,061946
BGA6				0	0,157822

Não existem diferenças estatisticamente significativas entre: BGT-BGA6 e BG6-BGA12

Anexo C. Análise estatística da viscosidade aparente dos gelados (fase 3)

Tabela C 1. Análise da variância anova para a viscosidade aparente inicial ($t = 0,06$ s)

SUMÁRIO					
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância	
GA	3	4,28334	1,42778	0,002168536	
GOP	3	4,63548	1,54516	0,008694123	
GO	3	2,142057	0,714019	0,000938834	
GP	3	4,18063	1,393543333	0,008117784	
G	3	2,73762	0,91254	0,05345059	

ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	1,581837834	4	0,395459459	26,94971885	2,46E-05	3,47805
Dentro de grupos	0,146739734	10	0,014673973			
Total	1,728577568	14				

$F > F_{\text{crítico}}$ e $p < 0,05$

Há pelo menos uma amostra estatisticamente diferente das outras.

Teste de Tukey

- Nº testes: 5
- Nº amostras: 3 (triplicado)
- Nível de significância: 0,05
- Grau de liberdade: 10
- Valor crítico de Tukey: 4,65

Diferença mínima significativa

$$d.m.s = 4,65 \sqrt{\frac{0,01467}{3}} = 0,3252$$

Tabela C 2. Diferença entre as médias da viscosidade aparente inicial (t = 0,6 s)

	GA	GOP	GO	GP	G
GA	0	0,11738	0,713761	0,034237	0,51524
GOP		0	0,831141	0,151617	0,63262
GP			0	0,679524	0,198521
G				0	0,481003333

Não existem diferenças estatisticamente significativas entre: GA-GOP-GP e GO- G

Tabela C 3. Análise da variância Anova para a viscosidade aparente final (t = 119 s)

SUMÁRIO

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância
GA	3	0,2933663	0,097788767	7,0242E-05
GOP	3	0,479282	0,159760667	3,20496E-05
GO	3	0,0764003	0,025466767	5,21033E-06
GP	3	0,651769	0,217256333	0,000478817
G	3	0,0819043	0,027301433	1,47261E-05

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	0,084040483	4	0,021010121	174,7799821	3,31E-09	3,47805
Dentro de grupos	0,00120209	10	0,000120209			
Total	0,085242572	14				

F > F_{crítico} e p < 0,05

Há pelo menos uma amostra estatisticamente diferente das outras.

Diferença mínima significativa:

$$d. m. s = 4,65 \sqrt{\frac{1,20 \times 10^{-4}}{3}} = 0,029$$

Tabela C 4. Diferença entre as médias da viscosidade aparente final (t = 119 s)

	GA	GOP	GO	GP	G
GA	0	0,061972	0,072322	0,119468	0,070487333
GOP		0	0,134294	0,057496	0,132459233
GO			0	0,19179	0,001834667
GP				0	0,1899549

Não existem diferenças estatisticamente significativas entre: GO-G

Anexo D. Análise estatística da tensão dos gelados (fase 3)

Tabela D 1. Análise da variância anova para a tensão inicial ($t = 0,06$ s)

SUMÁRIO

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância
GA	3	9,889442	3,296481	0,008939
GOP	3	13,96079	4,653597	0,044751
GO	3	4,84903	1,616343	0,005726
GP	3	13,03039	4,343465	0,342281
G	3	6,236126	2,078709	0,298129

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	21,585	4	5,396251	38,55426	4,77E-06	3,47805
Dentro de grupos	1,399651	10	0,139965			
Total	22,98465	14				

F > F_{crítico} e p < 0,05

Há pelo menos uma amostra estatisticamente diferente das outras.

Diferença mínima significativa

$$d.m.s = 4,65 \sqrt{\frac{0,1399}{3}} = 1$$

Tabela D 2. Diferença entre as médias da viscosidade aparente inicial ($t = 0,6$ s)

	GA	GOP	GO	GP	G
GA	0	1,357116	1,680137	1,046984	1,217772
GOP		0	3,037254	0,310132	2,574888
GO			0	2,727121	0,462366
GP				0	2,264756

Não existem diferenças estatisticamente significativas entre: GOP-GP e GO-G

Tabela D 3. Análise da variância anova para a tensão final ($t = 119$ s)

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância
GA	3	118,1691	39,38971	9,948635
GOP	3	192,4633	64,15444	4,357245
GO	3	30,26469	10,08823	0,831833
GP	3	256,1865	85,39549	46,83084
G	3	30,97912	10,32637	0,826782

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	13206,89	4	3301,723	262,8956	4,42E-10	3,47805
Dentro de grupos	125,5907	10	12,55907			

F > F_{crítico} e p < 0,05

Há pelo menos uma amostra estatisticamente diferente das outras.

Total	13332,48	14
-------	----------	----

Diferença mínima significativa:

$$d. m. s = 4,65 \sqrt{\frac{12,56}{3}} = 9,51$$

Tabela D 4. Diferença entre as médias da viscosidade aparente final ($t = 119$ s)

	GA	GOP	GO	GP	G
GA	0	24,76473	29,30148	46,00578	29,06334
GOP		0	54,06621	21,24105	53,82806
GO			0	75,30726	0,238143
GP				0	75,06912

Não existem diferenças estatisticamente significativas entre: GO-GP

Anexo E. Análise estatística dos parâmetros reológicos dos gelados (fase 3)

Tabela E 1. Análise da variância anova para o índice de consistência das amostras de gelado

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância
GA	3	1,637291	0,545764	0,000216
GOP	3	2,676968	0,892323	0,001077
GO	3	0,240399	0,080133	0,000193
GP	3	2,235166	0,745055	0,009493
G	3	0,351563	0,117188	0,003804

ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	1,608118	4	0,402029	135,977	1,13E-08	3,47805
Dentro de grupos	0,029566	10	0,002957			
Total	1,637684	14				

Diferença mínima significativa:

$$d. m. s = 4,65 \sqrt{\frac{0,003}{3}} = 0,15$$

F > F_{crítico} e p < 0,05

Há pelo menos uma amostra estatisticamente diferente das outras.

Tabela E 2. Diferença entre as médias dos índices de consistência das amostras de gelado

	GA	GOP	GO	GP	G
GA	0	0,346559	0,465631	0,199292	0,428576
GOP		0	0,81219	0,147267	0,775135
GO			0	0,664922	0,037055
GP				0	0,627868

Não existem diferenças estatisticamente significativas entre: GO-G

Tabela E 3. Análise da variância anova para o índice de escoamento das amostras de gelado

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância
GA	3	2,110112	0,703371	0,00016
GOP	3	2,116996	0,705665	0,000133
GO	3	2,347518	0,782506	0,000175
GP	3	2,385769	0,795256	0,00041
G	3	2,203028	0,734343	0,009231

ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	0,02197	4	0,005492	2,716584	0,091102	3,47805
Dentro de grupos	0,020218	10	0,002022	F < F_{crítico} e p > 0,05		
Total	0,042188	14		Não existem amostras estatisticamente diferentes		

Diferença mínima significativa:

$$d.m.s = 4,65 \sqrt{\frac{0,002}{3}} = 0,12$$

Tabela E 4. Diferença entre as médias dos índices de consistência das amostras de gelado

	GA	GOP	GO	GP	G
GA	0	0,002295	0,079136	0,091886	0,030972
GOP		0	0,076841	0,089591	0,028677
GO			0	0,01275	0,048163
GP				0	0,060914

Não existem diferenças estatisticamente significativas entre nenhuma das amostras