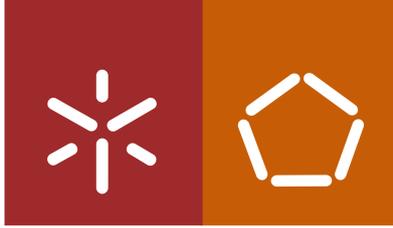


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Dário Miguel Guilherme Portelinha

Valorização do soro para produção de iogurte



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Dário Miguel Guilherme Portelinha

Valorização do soro para produção de iogurte

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Tecnologia Química e Alimentar

Trabalho realizado sobre a orientação do
Professor Doutor António Augusto Vicente
e da
Mestre Maria José Costa

outubro de 2013

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

Agradecimentos

Quero expressar os meus agradecimentos a todos os que me ajudaram e apoiaram ao longo do curso.

Ao meu orientador, Doutor António Vicente, pela sua disponibilidade, atenção e preocupação.

A todos os investigadores do LIP, principalmente à Maria José Costa, pela sua disponibilidade, orientação e ajuda em todas as fases deste projeto.

Ao Departamento de Engenharia Biológica da Universidade do Minho, por me ter disponibilizado as instalações e materiais indispensáveis à atividade experimental.

A todos os colaboradores da Quinta dos Moinhos Novos, em particular, ao Engenheiro Paulo Margarido, pela boa disposição e pela ajuda.

Aos meus pais e à minha família pelo apoio e por estarem sempre presentes.

À Sara pela paciência, preocupação, apoio e carinho demonstrado.

Resumo

O soro é um subproduto obtido pela indústria dos laticínios na produção de queijo e possui uma composição nutricional com cerca de 55% dos nutrientes do leite e 85 a 90 % do volume de leite utilizado na produção de queijo.

Devido ao enorme volume de soro de queijo obtido, derivado da produção diária e intensiva de queijo, este soro torna-se um problema a nível de tratamento de efluentes e passa a constituir um poluente devido à sua elevada carga orgânica e elevada quantidade produzida.

Neste projecto o objectivo foi aproveitar este subproduto e contribuir para um decréscimo do efluente e poluente e criar uma possível alternativa usando este soro na produção de uma bebida láctea fermentada que é a mais consumida em todo o mundo, o iogurte. Passando este efluente a ser um lucro ao invés de um custo e desperdício.

Relativamente às características do soro foram obtidos valores de 92,6 % relativamente ao teor de humidade, 7,4 % de sólidos totais, 0,85 % de cinzas, 0,63 % de teor proteínas e 5,92 % de hidratos de carbono e lípidos.

Para conferir ao soro os requisitos necessários para possibilitar a concretização e consequente produção do iogurte desejado, foram adicionados 10% de leite em pó e uma composição optimizada de polissacarídeos de 0,43 % de goma xantana e de 0,64 % de pectina. Após esta formulação, foram adicionados 8,6% de açúcar e posteriormente foram realizados testes físico-químicos, microbiológicos e sensoriais.

Nas amostras de iogurte obtidas foi possível observar um pH de 4,5, uma acidez titulável de 0,74 %, 78,75 % de teor de humidade, 21,43 % de sólidos totais, 1,07 % de cinzas, 2,78 % de teor de proteínas, 16,53 % hidratos de carbono, 1,03 % lípidos e 362158,2 J por 100 gramas de produto. Em relação à cor, no sistema de medição CIE $L^*a^*b^*$, o iogurte obteve valores de $L^* = 79,34$, $a^* = -2,79$ e $b^* = 5,91$. Ao nível microbiológico foi possível quantificar no iogurte cerca de $1,43 \times 10^7$ UFC/g.

Relativamente à análise sensorial do produto, este revelou uma apreciação positiva em relação à aparência e corpo/textura, no entanto em relação ao sabor ainda são necessários alguns reajustes.

Através destes resultados é possível constatar que este projeto é viável já que as características se encontram dentro dos requisitos legais, o produto desejado foi obtido e depois de alguma optimização é possível a sua futura comercialização.

Abstract

Whey is a by-product obtained by the dairy industry in cheese production and has an interesting nutritional composition, having about 55% of the nutrients of the milk, and from 85 to 90% of the volume of milk used in cheese production. A possible alternative to the use of whey is in the production of a fermented milk, like the yoghurt.

Yogurt is the fermented milk type most widely consumed worldwide, being obtained by symbiotic fermentation of a culture of *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* or any other species *Lactobacillus* spp. This milk product is characterized by an acid flavor, typical texture and millions live bacteria.

The liquid whey does not present the necessary requirements for its possible transformation into yogurt, specifically protein content and total solids, so 10% milk powder were added, in order to fulfill those requirements.

In order to create a product with suitable consistency and texture polysaccharides were added (pectin, xanthan gum and guar gum), being tested different combinations until the ideal composition of these polysaccharides was found, evaluating the consistency by a Bostwick consistometer. The optimal combination was 0,43% xanthan gum and 0,64% pectin.

The whey characterization resulted in values of 92,6% moisture, 7,4% total solids, 0,85% ash, 0,63% protein and 5,92% carbohydrates and lipids.

Sugar was added to yogurt at a concentration of 8,6%, and physical and chemical analyses, microbiological tests and sensory evaluation were conducted.

In relation to the physical-chemical analyses, the yogurt produced fulfilled all legal requirements, having a pH of 4,5 and a titratable acidity of 0,74%. In terms of composition, the yoghurt is a low fat yogurt with 362158,2 J per 100 g, with 78,75% moisture, 21,43% total solids, 1,07% ash, 2,78% protein and 16,53% carbohydrates and 1,03% lipids. Regarding the color measurement system (CIE L * a * b *), yogurt obtained values L * of 79,34, a * of - 2,79 and b * of 5,91.

The total number of microorganisms obtained in the yogurt was 1,43 10⁷ CFU / g.

The rheology results were in accordance with the characteristics of a gel as yoghurt, obtained tan δ values of 3,4 and 3,3 for the frequencies of 0,1 and 1 Hz, respectively. It was found that there are differences between the commercial yogurts and the produced yoghurts, yoghurt produced has a higher tan δ value, this fact being due to the presence of polysaccharides.

In the sensory analysis of the product it showed a good appreciation for the overall appearance and body/texture. Taste evaluation was worse due to the use of goat milk whey and goat milk in its production, as well as the lack of an added flavor.

In conclusion, the product meets all regulatory requirements and has the desired physical characteristics for yoghurt, being possible its commercialization, once the taste is rectified by adding a flavoring agent.

Índice

Agradecimentos.....	II
Resumo.....	III
Abstract.....	IV
Índice.....	V
Índice de tabelas.....	VIII
Índice de figuras.....	IX
1. Introdução.....	1
2. Revisão da literatura.....	2
2.1. Queijo.....	2
2.1.1. Considerações gerais.....	2
2.1.2. Caseínas.....	3
2.2. Soro.....	5
2.2.1. Considerações gerais.....	5
2.2.2. Características gerais e composição físico-química.....	6
2.2.3. Principais componentes do soro.....	7
2.2.3.1. Proteínas.....	7
2.2.3.2. Gorduras.....	8
2.2.3.3. Lactose.....	9
2.2.3.4. Sais e vitaminas.....	10
2.2.4. Processamento do soro.....	10
2.2.5. Produtos do soro.....	12
2.2.5.1. Soro líquido.....	12
2.2.5.2. Concentrados do soro e outros produtos obtidos a partir do soro.....	13
2.2.6. Aspectos económicos.....	13
2.2.7. Legislação relacionada com o soro e problemas ambientais.....	15
2.3. Iogurte.....	17
2.3.1. Considerações gerais.....	17
2.3.2. História e tendências de consumo.....	18
2.3.3. Matérias-primas e ingredientes.....	19
2.3.3.1. Produtos do soro.....	20
2.3.3.2. Caseinatos e Concentrados proteínas do leite.....	21
2.3.3.3. Edulcorantes.....	21

2.3.3.4. Estabilizantes.....	22
2.3.3.6 Frutas e aromas	24
2.3.3.7 Culturas lácticas	25
2.3.4. Processamento.....	27
2.3.4.1. Padronização	28
2.3.4.2. Homogeneização	29
2.3.4.3. Pasteurização	29
2.3.4.4. Inoculação, fermentação e arrefecimento	29
2.3.5. Composição e aspetos nutritivos e de saúde	30
2.3.6. Interações entre as proteínas no processo de produção do iogurte	32
2.3.7. Parâmetros de qualidade do iogurte	33
2.3.7. Reologia do iogurte	35
3. Projeto valorização do soro de queijo através da produção de iogurte	38
4. Materiais e métodos	40
4.1. Materiais	40
4.2. Métodos	41
4.2.1. Obtenção do soro	41
4.2.2. Produção de iogurte.....	43
4.3. Análises químicas, físicas e microbiológicas	45
4.3.1. Medição da consistência do iogurte.....	45
4.3.2. Determinação do pH.....	45
4.3.3. Determinação da densidade.....	46
4.3.4. Determinação da Acidez titulável.....	46
4.3.5. Determinação da humidade e teor de sólidos totais	46
4.3.6. Determinação do teor de cinzas	47
4.3.7. Determinação do teor em proteínas	48
4.3.8. Determinação do teor em lípidos.....	50
4.3.9. Determinação sólidos solúveis.....	51
4.3.10. Determinação dos hidratos de carbono	51
4.3.11. Contagem total de microrganismos	51
4.3.12. Medição da cor	52
4.3.13. Testes de reologia.....	52
4.3.14 Análise sensorial.....	53
4.4 Tratamento estatístico.....	54

5. Resultados e Discussão	55
5.1. Composição do soro	55
5.2. Consistência das misturas testadas.....	58
5.3. Caracterização do iogurte	60
5.3.1. Ph e acidez titulável	60
5.3.2. Composição nutricional do iogurte	62
5.3.3. Cor	66
5.3.4 Microbiologia do iogurte	68
5.4 Reologia do iogurte	70
5.5 Prova organolética	74
6. Conclusão	77
Bibliografia	79
Anexo 1 – Ficha da prova organolética	83
Anexo 2- Curvas de ajuste do modelo de <i>Herschel-Bulkley</i>	84

Índice de tabelas

Tabela 1: Composição de diferentes soros em g/L, adaptado de Moulin, et al. (1984)	7
Tabela 2: Estabilizantes e quantidades usadas nos iogurtes, adaptado de Chandan (2006). ..	23
Tabela 3: Composição de diferentes iogurtes, adaptado de Tamime, et al. (2007)	31
Tabela 4: Ingredientes usados no processo de obtenção do soro	40
Tabela 5: Ingredientes usados no processo de obtenção do iogurte	40
Tabela 6: Reagentes usados na caracterização física, microbiológica e química	41
Tabela 7: Resultado do teste t-student.....	54
Tabela 8: Densidade, pH e composição do soro	55
Tabela 9: Distância percorrida no consistômetro de Bostwick pelo iogurte padrão e pelas misturas produzidas	58
Tabela 10: pH e acidez titulável do iogurte.....	60
Tabela 11: Composição do iogurte	63
Tabela 12: Cor do iogurte medido em CIE L*a*b*	67
Tabela 13: Contagem microbiológica do iogurte.....	68
Tabela 14: Constantes do modelo de Herschel-Bulkley para o iogurte	71
Tabela 15: Tan δ do iogurte às frequências de 0,1 e 1 Hz	73

Índice de figuras

Figura 1- Estrutura e componentes da caseína (Bylund, 2003)	3
Figura 2: Diagrama dos processos de processamento do soro, adaptado de Bylund (2003)....	11
Figura 3: Processo de produção de iogurte estagnado (Chandan, 2006).....	28
Figura 4: Processo da microprodução de queijo "Puro de cabra"	42
Figura 5: Etapas do processo de produção de iogurte	43
Figura 6: Imagem do iogurte obtido	68
Figura 7: Curva de escoamento do iogurte	70
Figura 8: Teste oscilatório.....	72
Figura 9: Apreciação global dos atributos no iogurte.....	74
Figura 10: Avaliação da contribuição de defeitos particulares da aparência	75
Figura 11: Avaliação da contribuição de defeitos particulares do corpo/textura	75
Figura 12: avaliação da contribuição de defeitos particulares do sabor	76
Figura 13: Ficha da prova organolética	83
Figura 14: Curva de ajuste do Modelo de Herschel-Bulkley, para o valor 1 Pa aparente de limite de elasticidade, iogurte padrão	84
Figura 15: Curva de ajuste do Modelo de Herschel-Bulkley, para o valor 10 Pa aparente de limite de elasticidade, iogurte padrão	84
Figura 16: Curva de ajuste do Modelo de Herschel-Bulkley, para o valor 1 Pa aparente de limite de elasticidade, amostra 1	85
Figura 17: Curva de ajuste do Modelo de Herschel-Bulkley, para o valor 10 Pa aparente de limite de elasticidade, amostra 1.....	85
Figura 18: Curva de ajuste do Modelo de Herschel-Bulkley, para o valor 1 Pa aparente de limite de elasticidade, amostra 2.....	86
Figura 19: Curva de ajuste do Modelo de Herschel-Bulkley, para o valor 10 Pa aparente de limite de elasticidade, amostra 2.....	86

1. Introdução

O consumo de laticínios está constantemente presente nos hábitos alimentares da população. Um dos laticínios mais consumido pela população é o queijo que possui uma oferta bastante abrangente e variada nos mais variados locais de comércio.

Na produção de queijo ocorre a formação de um subproduto, o soro. Este subproduto é o efluente líquido resultante da coagulação das caseínas durante a produção de queijo.

O soro possui uma composição nutricional muito rica e anualmente as quantidades produzidas são excessivamente elevadas (cerca de 190 milhões de toneladas por ano), isto implica um elevado e indesejado impacto ambiental negativo.

Neste sentido é necessário que as indústrias encontrem alternativas para o reaproveitamento deste subproduto de forma a reduzirem os custos do tratamento referente a estes efluentes produzidos para conseguirem uma diminuição a nível do impacto ambiental negativo por parte da empresa. O reaproveitamento deste subproduto permite retirar uma mais-valia ao gerar um produto de valor acrescentado. Todos estes factores em conjunto contribuem para uma melhoria significativa na empresa quer a nível ambiental quer a nível financeiro nomeadamente a nível lucrativo.

Atualmente a procura de bebidas lácteas fermentadas, nomeadamente do iogurte, tem aumentado sobretudo devido a estudos que evidenciam que este tipo de alimentos se encontra directamente relacionado com efeitos benéficos para a saúde. Por isso, cada vez mais são enunciados pela comunicação social atraindo a atenção por parte dos consumidores.

Assim, uma possível alternativa para o soro obtido a partir da produção de queijo, pode passar pela sua inserção na formulação de uma nova bebida láctea fermentada como o iogurte, pois possui muitos dos nutrientes presentes no leite e as condições necessárias para a sua criação além de ser um produto bastante consumido.

2. Revisão da literatura

2.1. Queijo

O queijo é um nome muito genérico que faz parte de um enorme conjunto de produtos obtidos a partir do leite (laticínios), já é manufaturado há milhares de anos por diferentes culturas. Conseqüentemente existe uma enorme diversidade de sabores, texturas e formas dos mesmos (Fox, et al., 2000).

2.1.1. Considerações gerais

O queijo é um concentrado, principalmente da caseína e gordura presentes no leite. Não existe uma definição consensual para definir o termo de queijo devido à multiplicidade de variações existentes do mesmo. Segundo o *Codex Alimentarius* e a Food and Agriculture Organization (FAO), o queijo pode ser caracterizado como um sólido ou semi-sólido em que o rácio proteínas séricas/caseína não pode exceder o do leite, sendo obtido por um dos seguintes processos (Bylund, 2003; Fox, et al., 2000):

-Coagulação total ou parcial do leite ou derivado, através da adição de um agente coagulante, ocorrendo a formação de coágulos, cuja concentração de proteínas será superior à do material que lhe deu origem;

- Coagulação das proteínas do leite ou derivado utilizando uma técnica de processamento, cujo resultado é um produto com características químicas, físicas e organolépticas similares às do queijo;

O processo de fabrico de queijo envolve algumas etapas que são comuns à maioria dos géneros existentes, apesar de haver etapas distintas que se utilizam em certos géneros de queijos (Bylund, 2003).

2.1.2. Caseínas

As caseínas são um grupo de proteínas presentes no leite em maior quantidade, pertencem à família das fosfoproteínas e são insolúveis em água. Como a água é o composto presente em maior quantidade no leite, as caseínas encontram-se organizadas sob a forma de micelas, permitindo assim a sua solubilidade no leite (Figura 1).

Estas micelas de caseínas estão divididas em submicelas. À superfície encontram-se as *k*-caseínas, que possuem uma região hidrofílica e uma hidrofóbica. A região hidrofílica está direccionada para o exterior da micela e permite a solubilidade e estabilização das micelas no leite e a região hidrofóbica está direccionada para o interior, que por sua vez se encontra ligada ao núcleo hidrofóbico da micela, rico em α -caseína e β -caseína, que são proteínas hidrofóbicas (Bylund, 2003; Wit, 2001). A estrutura das micelas pode ser observada na Figura 1.

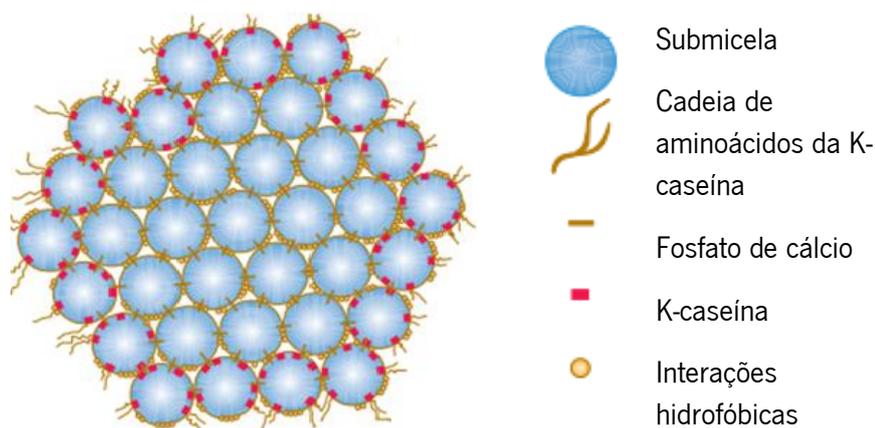


Figura 1- Estrutura e componentes da caseína (Bylund, 2003)

As interações entre as submicelas surgem devido à presença de fosfato de cálcio e às interações de hidrofobicidade entre elas. A quantidade de íões cálcio é muito importante para a estrutura dos colóides, pois se a concentração de cálcio decresce na micela, esta é desintegrada em submicelas mais pequenas. O tamanho das micelas é muito relativo, mas em média cada micela possui entre 400 a 500 submicelas. Estas interações permitem preservar a estrutura das micelas até temperaturas da ordem dos 100 °C (Bylund, 2003).

A solubilidade das micelas sofre alterações, se a *k*-caseína presente à superfície da micela se separa do resto da micela, leva à formação de aglomerados de caseína.

O decréscimo de solubilidade das micelas resulta na formação de precipitados de caseína, esta precipitação é conseguida através da acidificação do meio, neutralizando a carga da *k*-

caseína ou através da adição de enzimas, que hidrolisam pontes específicas da k-caseína, a primeira é denominada de precipitação ácida e a segunda por precipitação enzimática (Bylund, 2003).

A precipitação ácida é induzida pelo decréscimo do pH. Esta descida pode acontecer devido à presença de bactérias que produzem ácido láctico ao longo do seu crescimento e dessa forma acidificam o leite, ou em alternativa, através da adição direta de um ácido fraco.

A diminuição do pH tem como consequência a alteração na estrutura dos coloides, o cálcio presente na micela começa a separar-se desta e volta à forma de ião, dissolvendo-se no meio. Outra alteração que ocorre é a aproximação do ponto isoelétrico das caseínas.

O ponto isoelétrico das caseínas depende muito da quantidade de iões presentes em solução. A perda de estabilidade do complexo ocorre a um pH ente os 5,1 e 5,3, sendo o pH ótimo para a precipitação das caseínas presentes no leite de 4,6, podendo esta ocorrer entre pH 4,5 e 4,9. No ponto isoelétrico acontece a precipitação do complexo de caseína devido à neutralização das cargas das k-caseínas, dissociação do cálcio do complexo, destabilização das micelas e, conseqüente, diminuição da solubilidade do complexo (Bylund, 2003).

A precipitação enzimática ocorre através da adição de enzimas. As enzimas podem ser de origem animal ou vegetal, sendo a renina a enzima mais usada como coagulante no fabrico de queijo. Esta enzima é proveniente do estômago de ruminantes, sendo atualmente produzida por bactérias geneticamente modificadas ou por leveduras (Bylund, 2003).

A k-caseína possui 169 aminoácidos e do ponto de vista enzimático os aminoácidos na posição 105 e 106, a fenilalanina e metionina, são os de acesso mais fácil a muitas proteases. A k-caseína pode ser dividida em duas regiões, uma região polar e outra apolar.

A região polar da k-caseína encontra-se entre a posição 106 e 169 dos aminoácidos e permite à proteína possuir características hidrofílicas, os restantes aminoácidos das posições 1 até à 105, possuem propriedades apolares e possuem ligações de hidrofobicidade com a α -caseína e β -caseína.

A quebra da ligação entre os aminoácidos 105 e 106 é a primeira fase da ação das enzimas, sendo que posteriormente ocorre a segunda fase, a coagulação e a sinérese, como consequência da perda de estabilização do coágulo, originando um declínio da solubilidade das micelas no leite. A terceira fase sucede na maturação do queijo, onde as enzimas presentes

podem degradar a caseína do queijo. A precipitação enzimática é influenciada pela temperatura, pelo pH e pela concentração de íons cálcio (Bylund, 2003).

A precipitação ácida ocorre sempre a um pH inferior a 5 e a precipitação enzimática a um pH superior a 5,6.

O aumento da temperatura facilita tanto a precipitação enzimática como ácida. A temperatura altera a solubilidade das proteínas presentes no leite, sendo que a caseína é mais solúvel a temperaturas baixas. Outra consequência do aumento da temperatura é o desnaturamento das proteínas do soro, tornando-as menos solúveis no leite e favorecendo assim a sua coagulação.

A adição de cloreto de cálcio leva ao aumento das forças iônicas durante a coalescência das submicelas, devido à ação do cálcio, íon divalente, formando uma coalhada mais firme e coesa (Bylund, 2003).

2.2. Soro

O soro é o efluente líquido resultante da remoção da gordura e caseína do leite através da precipitação dos complexos de caseína, neste sentido o soro é um subproduto da produção de queijo (Rodrigues, 2001).

2.2.1. Considerações gerais

Desde os 8 000 a.C. quando o Homem começou a produzir queijo, foram procuradas alternativas para reutilizar este subproduto (soro). Nos primeiros séculos o seu uso era muito rudimentar, sendo este usado principalmente como fertilizante para o solo ou como alimento para os animais. Na Idade Média usou-se como produto farmacêutico, servindo para aplicar em queimaduras ou para o fabrico de algumas poções e loções para a pele, sendo o consumo deste em alimentação humana muito limitado (Kosikowki, 1979; Mathur, et al., 1979).

O aumento do consumo de queijo originou um aumento considerável no volume de soro obtido, por essa razão as primeiras fábricas de produção industrial de queijo instalaram-se perto de cursos de água, de forma a aí poderem efetuar a descarga dos efluentes.

Contudo, tais descargas resultavam em poluição aquática. Atualmente, a legislação proíbe a descarga do soro no meio ambiente, assim como também, restringe a eliminação deste como um simples resíduo aquoso nos sistemas de tratamento de água municipais (Kosikowki, 1979; Fox, et al., 2000).

Atualmente, os industriais de produção de queijo já possuem conhecimento técnico e científico para valorizar o soro em produtos com valor acrescentado, mas mesmo assim uma grande parte do soro, principalmente dos pequenos produtores, continua a ser descartado ou simplesmente tratado como um efluente doméstico (Rodrigues, 2001; Fox, et al., 2000).

A importância deste resíduo e da possibilidade do seu reaproveitamento deve-se ao facto de mundialmente serem produzidos mais de 190 milhões de toneladas, anualmente, contendo uma das maiores fontes de proteína que não são usadas para alimentação humana.

É também de salientar que o soro corresponde a 80 - 90% do volume o soro de leite usado no fabrico de queijo, dependendo do rendimento da coagulação, possuindo então proteínas solúveis, vitaminas, minerais, lactose, com uma aplicabilidade que e pode revelar muito interessante (Fox, et al., 2000; Bylund, 2003).

2.2.2. Características gerais e composição físico-química

O soro é tipicamente resultante da produção de queijo, e a sua cor é conferida por uma proteína, a riboflavina ou vitamina B₂.

A classificação do soro é feita de acordo com o processo pelo qual o mesmo foi obtido. O soro resultante da precipitação ácida é denominado por soro ácido, já o soro obtido pela precipitação enzimática por soro doce (Rodrigues, 2001; Moulin, et al., 1984). Devido às diferenças da fonte de obtenção do soro, a sua composição também difere, podendo ser observadas diferenças evidenciadas na Tabela 1.

Tabela 1: Composição de diferentes soros em g/L, adaptado de Moulin, et al. (1984)

Constituintes (g/L)	Soros				
	Queijo de Vaca			Queijo de Ovelha	Queijo de Cabra
	Doce	Mistura	Ácido	Doce	Ácido
Matéria seca	70,84	70,49	65,76	83,84	62,91
Lípidos	5,06	3,38	0,85	6,46	0,40
Lactose	51,81	50,84	45,25	50,98	39,18
Azoto total	1,448	1,454	1,223	2,933	1,466
Azoto não proteico	0,368	0,414	0,536	0,796	0,669
Ácido láctico	0,322	2,226	7,555	1,763	8,676
Cinza	5,255	5,888	7,333	5,654	8,361
Fósforo	0,412	0,470	0,649	0,545	0,703
Cálcio	0,466	0,630	1,251	0,494	1,345
Potássio	1,455	1,491	1,485	1,281	1,812
Sódio	0,505	0,537	0,528	0,616	0,433

2.2.3. Principais componentes do soro

Os principais componentes do soro, como é possível verificar na Tabela 1, são a lactose, as proteínas do soro, os lípidos e os sais minerais, existindo outros componentes minoritários como as enzimas e as vitaminas (Wit, 2001).

2.2.3.1. Proteínas

As proteínas são uma parte importante da nossa dieta, pois são responsáveis pela construção do material celular presente no organismo e pela regulação de certos processos celulares. As proteínas são compostas por sequências de aminoácidos, que podem possuir diferentes organizações (Bylund, 2003; Fox, et al., 1984).

As proteínas existentes no soro são as denominadas proteínas séricas, pois estas encontram-se solúveis no leite, podendo também encontrar-se pequenos fragmentos de caseína, resultantes do processo de fabrico de queijo.

Normalmente, as proteínas séricas representam cerca de 20% das proteínas existentes no leite, sendo as proteínas presentes em maior quantidade, a β -lactoglobulina e a α -lactoalbumina (50 % e 25%, respetivamente), as outras proteínas representam cerca de 25%, entre elas

encontram-se a albumina de soro bovino, as imunoglobulinas, as peptonas, a lactoferrina, a lactoperoxidase e os glicomacropéptidos (Rodrigues, 2001; Wit, 2001).

Estas proteínas são mais facilmente desnaturadas pelo calor que a caseína. Ao serem desnaturadas pela elevação da temperatura, estas tornam-se capazes de efetuarem ligações com os complexos de caseína.

As proteínas do soro possuem um elevado valor nutricional e excelentes propriedades físicas e funcionais, quer no estado nativo, quer após processos de tratamento físico, químico ou enzimático (Fox, et al., 2000).

As proteínas maioritárias, a β -lactoglobulina e a α -lactalbumina, são sintetizadas nas glândulas mamárias. A α -lactalbumina possui um enorme valor nutricional, devido à sua composição em aminoácidos ser considerada biologicamente ótima, esta proteína também desempenha um papel muito importante na síntese de lactose. A β -lactoglobulina desnatura a 60°C e origina a formação de ligações entre a β -lactoglobulina e a α -lactalbumina e a k-caseína, essa ligação dá origem à libertação de moléculas que são responsáveis pelo sabor e aroma a leite quente (Fox, et al., 2000).

As proteínas minoritárias como a lactoperoxidase, a lactoferrina ou as imunoglobulinas circulam naturalmente no sangue do animal, devido às suas características antibacterianas, principalmente as lactoperoxidasas e a lactoferrina possuem um elevado valor comercial quando vendidos como isolados para a indústria farmacêutica ou alimentar (Wit, 2001).

As enzimas são outro grupo das proteínas minoritárias que estão presentes no soro, elas desempenham um papel muito importante como biocatalisador de muitas reações biológicas, sendo dependentes do pH e da temperatura do meio. As enzimas mais importantes são a peroxidase, a catalase e as lípases. Este grupo de proteínas é normalmente usado em testes de controlo de qualidade do produto (Wit, 2001).

2.2.3.2. Gorduras

Os lípidos existentes no soro estão numa emulsão, pois não são solúveis em água, estando dispersos em pequenos glóbulos cujo diâmetro médio é de 3,5 μm , podendo variar entre os 0,1

e os 20 μm . Os lípidos presentes em maior quantidade são os triglicerídeos, existindo também diglicerídeos e monoglicerídeos, ácidos gordos, esteróis e algumas vitaminas.

Os lípidos são um dos constituintes do soro com menor densidade, $0,93 \text{ g/m}^3$ a $15,5 \text{ }^\circ\text{C}$, por essa razão este nutriente tende a subir quando o soro se encontra em repouso, pois possui uma densidade inferior (Bylund, 2003).

Os lípidos estão em estado líquido, pertencem ao grupo químico dos ésteres e o composto presente em maior quantidade são os ácidos gordos, representando cerca de 90%. O glicerol é um componente muito importante, pois permite a ligação entre as moléculas de ácidos gordos. Cada molécula de glicerol tem a capacidade de se ligar a 3 ácidos gordos, permitindo a formação de triglicerídeos, que é a gordura presente em maior quantidade, sendo este formado por uma molécula de glicerol e 3 ácidos gordos (Bylund, 2003).

2.2.3.3. Lactose

A lactose é o principal hidrato de carbono existente no soro, sendo este nutriente a principal fonte de energia existente no soro. A lactose ou galactose β -1,4 glucose, é um dissacárido formado por dois monossacarídeos, a glucose e a galactose, a fórmula química desta molécula é $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ e tem um peso compreendido entre 342,0 e 360,1 Da., encontrando-se dissolvida no soro, estando presente numa concentração próxima dos 5% no soro (Fox, et al., 2000; Rodrigues, 2001).

A principal limitação da aplicação deste açúcar na indústria alimentar deve-se ao facto de haver muitos indivíduos que são intolerantes, pois estes deixam de sintetizar a lactase no seu organismo. Outra limitação à sua aplicação é o facto de apresentar menos solubilidade que outros açúcares, tendo tendência para cristalizar em concentrações elevadas. Há ainda outros aspetos que limitam a sua aplicação, como o facto de ser 60 % menos doce que a sacarose, de difícil digestão e em concentrações elevadas origina um sabor desagradável (Fox, et al., 2000; Rodrigues, 2001).

2.2.3.4. Sais e vitaminas

O soro possui uma concentração de matéria inorgânica próxima de 0,7 %. Esta matéria inorgânica encontra-se em solução, podendo existir também nos compostos de caseína, caso estes ainda se encontrem no soro.

Os sais mais importantes são o cálcio, o sódio, o potássio e o magnésio. A concentração destes sais é relativamente constante no soro, podendo variar em função do leite. A fase de lactação do manífero leva à alteração da concentração dos sais, por exemplo, na fase final da lactação, o leite possui uma concentração maior de cloreto de sódio e uma diminuição dos restantes sais na mesma proporção (Bylund, 2003).

As vitaminas são um dos componentes minoritários do soro, existindo em pequenas concentrações da ordem dos miligramas por litro, Estes compostos são essenciais para muitos processos no organismo humano, sendo que a carência destes nutrientes origina doenças. As vitaminas que existem no soro são a A, a B₁, a B₂, a D, a E e a K, que se caracterizam por possuírem uma estrutura química bastante complexa, sendo que as vitaminas A e D são solúveis nos lípidos ou solventes orgânicos, enquanto que as restantes são solúveis na água (Wit, 2001).

2.2.4. Processamento do soro

Nos últimos anos foram desenvolvidos e aperfeiçoados pela indústria processos que permitem a obtenção de produtos com valor acrescentado a partir do soro, através do aproveitamento dos nutrientes que este contém (Bylund, 2003).

O destino final do soro cabe aos produtores. Estes devem decidir se pretendem reduzir a quantidade de soro produzido através de alterações na composição do leite, eliminá-lo como efluente ou então valorizá-lo de forma a tornar-se uma matéria-prima para diferentes indústrias.

As características do soro, os produtos finais pretendidos, os volumes produzidos, a capacidade da unidade, as condições de armazenamento do soro líquido, os diagramas de fluxo, os balanços mássicos e os energéticos, para além das leis e requisitos em vigor são fatores decisivos no tipo de processamento e uso a dar ao soro (Rodrigues, 2001).

No diagrama da Figura 2 é possível visualizar alguns dos processos usados no tratamento e os produtos obtidos no final de cada processo.

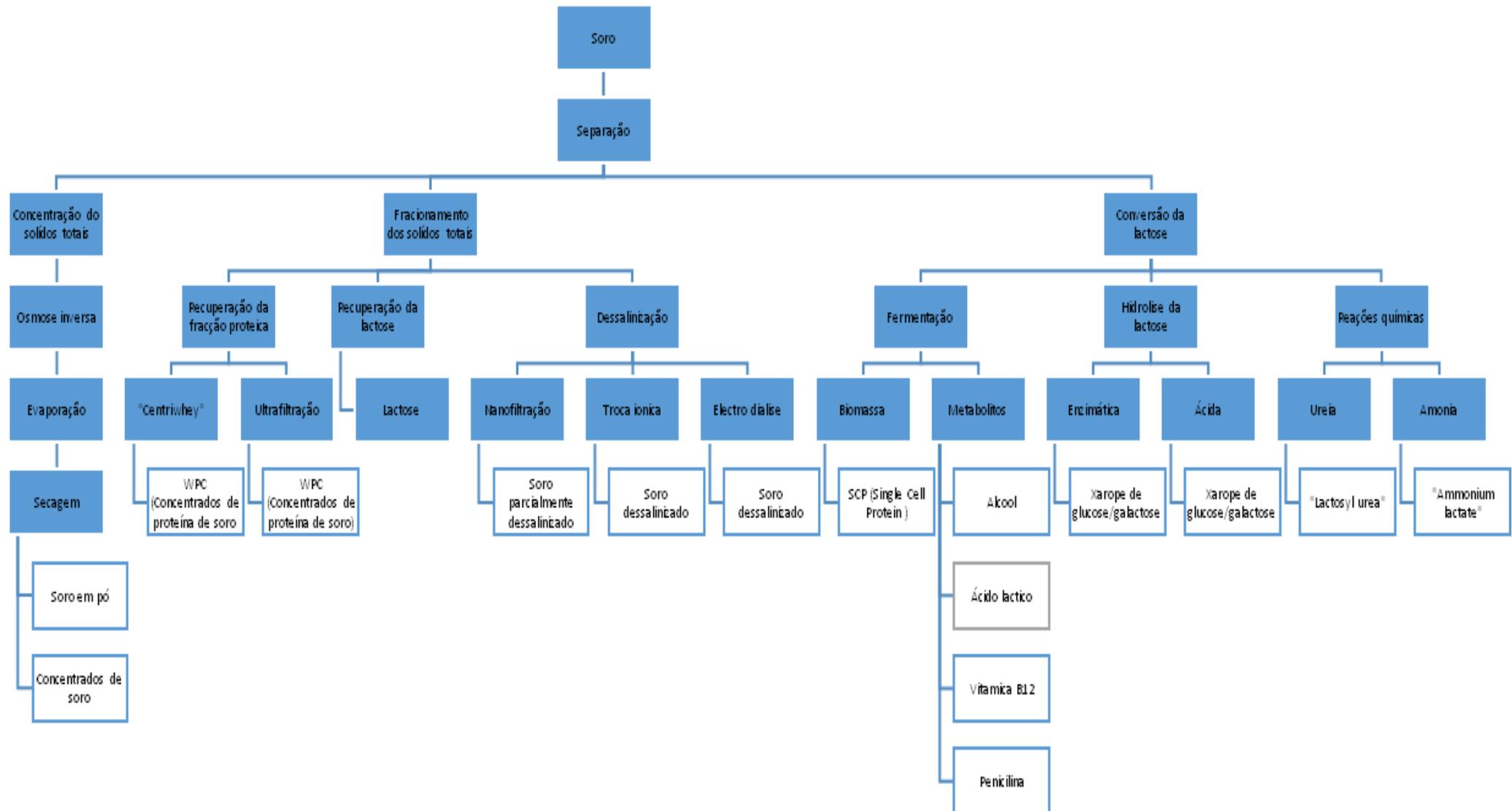


Figura 2:Diagrama dos processos de processamento do soro, adaptado de Bylund (2003).

O soro deve ser processado o mais rapidamente possível, pois a temperatura a que se encontra ≈ 30 °C e a composição permitem um rápido crescimento bacteriano. Por essa razão este deve ser rapidamente refrigerado para uma temperatura inferior a 5 °C de forma a evitar crescimento bacteriano. As alternativas à refrigeração, quando permitidas pela legislação em vigor, são a adição de SO₂, cuja concentração deverá ser de 0,4 % ou a adição de H₂O₂, onde a concentração deverá ser de 0,2% (Bylund, 2003).

Estes tipos de conservação apenas permitem uma manutenção das características do soro para períodos de tempo breves. Para uma conservação por períodos mais prolongados é necessário congelar ou pasteurizar (Bylund, 2003).

2.2.5. Produtos do soro

O desenvolvimento tecnológico permitiu que se passasse a ver o soro não como um efluente mas como uma potencial fonte de riqueza. Os produtos produzidos a partir do soro possuem valores diferentes, segundo a complexidade da tecnologia empregue na sua produção, sendo que nesta secção serão apresentados individualmente e caracterizados esses produtos (Bylund, 2003; Jelen, 1992; Mizubuti, 1994; Moulin, et al., 1984; Wit, 2001).

2.2.5.1. Soro líquido

A utilização do soro em estado líquido é possível para produção de diversos produtos alimentares, como é o caso dos queijos de soro (requeijão), ou de bebidas fermentadas (bebidas lácteas ou alcoólicas). Apesar de ser possível obter diversos alimentos nutritivos, principalmente bebidas, com o soro líquido, estes produtos possuem um interesse comercial muito limitado e normalmente específico para um público-alvo bastante pequeno.

Embora haja muitos estudos e interesse em vários países, principalmente dos Estados Unidos da América e do Japão, na criação de novas bebidas a partir da fermentação láctica do soro, o seu uso para tal finalidade é muito limitado.

Para os pequenos produtores, a solução é a utilização do soro como adubo, fonte de alimentação para os animais ou a rejeição como efluente líquido a tratar (Jelen, 1992; Kosikowki, 1979; Mathur, 1979; Moulin, et al., 1984; Rodrigues, 2001; Wit, 2001).

2.2.5.2. Concentrados do soro e outros produtos obtidos a partir do soro

Os processos de concentração do soro são muito usados de forma a reduzir os custos de transporte e de armazenamento. O soro concentrado é o produto obtido a partir do soro mais comercializado devido às múltiplas aplicações, para além da facilidade de transporte e de armazenamento. Este produto tem um valor comercial relativamente elevado em comparação com o soro líquido, devido ao dispêndio de uma grande quantidade de energia na sua obtenção (Jelen, 1992; Kosikowki, 1979).

Outros dos produtos obtidos a partir da concentração do soro são os concentrados de proteínas do soro (WPC). O valor comercial destes concentrados proteicos é 3 a 10 vezes superior que do soro em pó, devido à especificidade do produto a nível funcional e valor nutritivo (Jelen, 1992; Kosikowki, 1979).

Devido às propriedades funcionais, biológicas e fisiológicas específicas de cada proteína existente no soro, um dos possíveis produtos obtidos a partir do soro é o fracionamento individual das proteínas do soro, pois certas características destas proteínas não são observáveis nos concentrados, devido às interações existentes entre as diferentes proteínas (Jelen, 1992; Kosikowki, 1979).

A lactose também é um dos principais produtos obtidos a partir do soro. Este produto tem muita aplicabilidade devido às suas propriedades, sendo usado sobretudo como aditivo alimentar. As outras aplicações são na indústria farmacêutica, como excipiente para medicamentos, e ainda na indústria das fermentações e química, onde é possível obter produtos com elevado interesse comercial (Jelen, 1992; Kosikowki, 1979; Mathur, 1979; Moulin, et al., 1984; Rodrigues, 2001; Wit, 2001).

2.2.6. Aspetos económicos

Nas últimas décadas, tem-se verificado um aumento da produção de soro devido a um crescimento da população e do conseqüente aumento da procura mundial de queijo (Chandan, et al., 2011).

Em 2008, foram produzidas cerca de 186 milhões de toneladas de soro, atualmente este valor já deverá ser superior a 190 milhões de toneladas, pois verifica-se um crescimento anual entre os 2 e os 8% (Affertsholt, 2009).

Na União Europeia, podem ser encontrados a maioria dos produtores, o que torna este mercado, o mais desenvolvido em todo o mundo, existindo uma forte competitividade. As cotas de produção limitativas de leite, as baixas margens de lucro e o aumento da produção de queijo, colocam constantemente desafios a esta indústria, no sentido de a tornar uma indústria mais eficiente. Neste sentido, o soro tem um papel preponderante, de forma a tornar-se uma fonte de riqueza e não dispendiosa (Chandan, et al. 2011; Rodrigues, 2001).

O valor dos produtos do soro é proporcional dependendo do processo tecnológico que lhe dá origem. Os produtos com menor processamento, como o soro ou lactose em pó possuem um valor inferior às proteínas purificadas, já os concentrados de proteínas do soro e a lactose para fórmulas infantis ou farmacêuticas possuem valores comerciais intermédios. O soro líquido possui um valor comercial quase nulo (Chandan, et al., 2011).

Os produtos obtidos a partir do soro representam aproximadamente 3,2 milhões de toneladas por ano, sendo que 59 % representa o soro em pó, 19 % de lactose, 12 % de WPC e 10 % os restantes componentes.

Em Portugal, a produção de queijo corresponde a uma pequena percentagem da produção da União Europeia. Desta forma, devido à baixa concentração deste tipo de indústrias em território nacional, quando comparadas com os outros países da União Europeia, não é recomendável o desenvolvimento de grandes empreendimentos para a utilização do soro (Rodrigues, 2001), tais como aproveitamento para produção de bioetanol. É neste sentido que se revela interessante o seu aproveitamento em aplicações tais como a que se sugere no âmbito desta Tese.

Segundo o Instituto Nacional de Estatísticas, em 2010 foram produzidos 76 404 toneladas de queijo. Se por cada quilograma de queijo são formadas nove quilogramas de soro, assim corresponde a 687 636 toneladas de soro formados por ano. Sendo que apenas 43 776 de toneladas de soro foram processadas, das quais 22 058 toneladas correspondem a soro líquido (Instituto Nacional de Estatística, 2011).

A principal aplicação do soro, em Portugal, é a produção de queijo de soro tradicional, requeijão, sendo este obtido pela precipitação das proteínas do soro após tratamento térmico. O

consumo deste produto é muito limitado, devido sobretudo ao tempo de prateleira reduzido (Rodrigues, 2001).

2.2.7. Legislação relacionada com o soro e problemas ambientais

Apesar de existir muita informação da utilização de soro durante as últimas duas décadas, em Portugal, ainda existem muitas indústrias que não valorizam o soro, descartando-o como efluente. A eliminação do soro, como efluente não é só uma violação da lei, como também, é um desperdício de uma grande fonte nutricional com variadíssimas aplicações, como foi demonstrado nas secções anteriores (Rodrigues, 2001).

Em Portugal, a indústria de lacticínios é influenciada pela legislação/normas europeias e portuguesas e pela política agrícola comum. A política agrícola é regida pelo sistema europeu que estabelece as quotas de produção de leite para cada estado membro, de forma a controlar a produção de leite na União Europeia, esta política europeia é muito importante para os produtores de lacticínios, pois obriga-os a procurar e a aproveitar todos os elementos do leite da melhor forma possível (Rodrigues, 2001).

Em relação à legislação portuguesa, é necessário o cumprimento das normas que dizem respeito à segurança alimentar, à venda, ao transporte, à legislação ambiental, entre outras. A legislação impõe, que cada produtor de queijo encontre aplicações para o soro produzido na sua indústria (Rodrigues, 2001).

O principal problema da descarga do soro como efluente líquido é a elevada carga orgânica apresentada, fruto da rica constituição nutricional. Os efluentes destas indústrias também são caracterizados pelos grandes volumes e variações cíclicas de pH, devido às operações de higienização dos equipamentos, originando efluentes quer ácidos quer alcalinos. Por essa razão, o soro deve ser captado separadamente dos restantes efluentes, de forma a viabilizar o seu aproveitamento (Fox, et al., 2000; Rodrigues, 2001).

Na indústria alimentar, o soro é um dos efluentes com maior teor de carência bioquímica de oxigénio (CBO), sendo este parâmetro a quantidade de oxigénio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável presente no efluente. Estima-se que por cada 100 kg de efluente de soro de queijo líquido com 3,5 kg de CBO e 6,8 kg de carência química de oxigénio (CQO), possuem uma carga poluente que pode ser comparada aos efluentes produzidos por 15 pessoas num

ano. Tal facto demonstra que o soro é aproximadamente 100 vezes mais poluente que um efluente doméstico comum, convertendo para números mais facilmente compreensíveis, uma produção diária de 100 mil litros de soro equivale à poluição diária de uma cidade com 50 mil habitantes (Fox, et al., 2000; Moulin, et al., 1984; Rodrigues, 2001).

A libertação de soro nos sistemas biológicos é muito perigosa, pois devido à sua composição altera o ambiente ecológico onde é libertado, podendo originar a morte a algumas espécies animais e vegetais (Fox, et al., 2000; Rodrigues, 2001).

Os efluentes devem ser tratados por sistemas biológicos (lamas ativadas e ou digestão anaeróbia), caso não existam processos de recuperação do soro, são necessários diversos pré-tratamentos de forma a reduzir os níveis de CBO. Para reduzir a carga orgânica presente no problema, esses pré-tratamentos implicam um aumento do custo do processo (Fox, et al., 2000; Rodrigues, 2001).

2.3. Iogurte

O iogurte é definido pelo *Codex Alimentarius* como um produto láctico obtido a partir do leite através da fermentação de uma cultura simbiótica de *Lactobacillus bulgaricus* e de *Streptococcus thermophilus* ou outra qualquer espécie *Lactobacillus spp.* Sendo assim uma excelente fonte nutricional.

2.3.1. Considerações gerais

Os alimentos obtidos a partir do leite através de fermentações constituem uma parte vital da nutrição humana, na maioria das regiões do globo, há milhares de anos, (Hui, 2006).

A fermentação foi a melhor forma de conservação e manutenção dos nutrientes do leite encontrada pelo Homem, permitindo um período de conservação significativamente maior do que o leite em si, sendo realizada por bactérias lácticas nativas no leite. Essas bactérias têm a capacidade de transformar os açúcares e outros nutrientes existentes no leite em ácido láctico, que é responsável pela descida do pH, inibindo assim o crescimento de muitos microrganismos patogênicos e formadores de esporos (Chandan, 2006).

Existem mais de 400 produtos diferentes, que provêm da fermentação do leite, em todo o mundo, sendo a grande maioria destes produtos, alimentos tradicionais de certas culturas e regiões. As diferenças entre os diversos produtos é devida principalmente à origem do leite, à flora microbiana usada, aos ingredientes usados (açúcares, frutos, sementes, entre outros) e ao método de conservação (Chandan, 2006).

A fermentação do leite, para além de permitir a conservação dos principais nutrientes do leite, produz alterações na textura, no sabor, na viscosidade e nas características sensoriais.

Pelas características e composições nutricionais, os produtos lácticos fermentados são fatores indispensáveis para uma alimentação saudável, sendo alguns destes produtos denominados alimentos funcionais pelo benefício ao nível de saúde que dão ao indivíduo que o consome (Chandan, 2006).

O iogurte é obtido pela fermentação do leite usando uma cultura simbiótica de *Lb. bulgaricus* e de *S. thermophilus* ou outra qualquer espécie *Lactobacillus spp.* Este produto lácteo é caracterizado por um sabor ligeiramente ácido e textura característica, devido à transformação

da lactose presente no leite em ácido láctico pelas bactérias termófilas. Este alimento deverá ser refrigerado até ao consumo, porque é produto fresco com milhões de bactérias vivas (Chandan, 2006).

A consistência e a viscosidade do coágulo são as propriedades físicas mais importantes no produto final, estando diretamente relacionadas com a quantidade de sólidos presentes na mistura. Devido a este facto, o leite é normalmente fortificado com a adição de diversos ingredientes de forma a aumentar o conteúdo de sólidos presentes no leite.

Os ingredientes mais usados são o leite em pó ou os concentrados de proteínas do soro. Esta adição tem como resultado uma melhoria do produto e conseqüente aumento da qualidade deste. Em relação aos iogurtes batidos, normalmente, para além da fortificação do leite são adicionados alguns estabilizantes, que conseguem reduzir e prevenir a sinérese do iogurte (Chandan, 2006).

2.3.2. História e tendências de consumo

O iogurte representa o produto lácteo fermentado mais vendido em todo o mundo. Além dos estudos que demonstram os benefícios que este produto tem na saúde, os avanços tecnológicos e o desenvolvimento destas indústrias foram determinantes. Outro fator, que ajudou no consumo generalizado deste alimento foi a melhoria do paladar através da adição de edulcorantes, aromas e frutas (Chandan, 2006; Tamime, et al., 2007).

Este alimento é produzido a partir de leite proveniente de fontes diversas. Existem uma enorme variedade de iogurtes, desde os iogurtes simples, a iogurtes com a adição dos mais variados aromas e frutas, existindo ainda, iogurtes líquidos, congelados, cremosos, entre outros. Esta diversificação permitiu atingir um mercado muito abrangente, de acordo com as preferências dos consumidores, em termos de variedade de sabor, textura, cor e outros aspetos sensoriais (Chandan, 2006).

O modo de vida atual, principalmente o urbano, leva os consumidores a incluir o iogurte na sua alimentação, devido a uma melhor assimilação de lactose e proteínas pelo organismo. O iogurte é também uma fonte de proteínas, cálcio, fósforo, vitaminas e hidratos de carbono e neste sentido é visto como um alimento saudável e nutritivo (Chandan, 2006).

Os estudos científicos e clínicos indicam que o consumo de iogurtes facilita a ação das enzimas digestivas, facilita a absorção de elementos essenciais como o cálcio, o fósforo e o ferro e além disso é uma fonte de galactose. Mas a principal vantagem do consumo de iogurtes é que os indivíduos com pouca tolerância à lactose o possam consumir.

Além destas razões, o iogurte também possui uma elevada quantidade de bactérias vivas, que produzem efeitos benéficos na microflora intestinal. Existem ainda algumas marcas onde é possível consumir substâncias prebióticas e culturas probióticas (Chandan, 2006; Tamime, et al., 2007).

A aposta da indústria, no iogurte, deve-se ao facto de este produto apresentar uma das melhores margens de lucro, nos produtos obtidos a partir do leite. A grandeza e o crescimento do mercado e somando ao facto de não ser necessário uma grande concentração de leite, são os fatores que mais contribuem para as margens de lucro (Chandan, 2006).

Com um consumo anual *per capita* de 4,99 kg em 2007 (Chandan, 2006; Landge, 2009) Portugal é um dos países do mundo com maior consumo de iogurtes por habitante, aumentando as vendas neste sector de atividade, sendo estimado que apenas 1% da população portuguesa não faz parte dos consumidores deste alimento. Em 1997 o consumo era de 9,7 quilogramas *per capita*, nos últimos anos este valor foi de 20,4, 22,8 e 20,2 em 2008, 2009 e 2010, respetivamente. Em 2010, o Instituto Nacional de Estatísticas refere que em Portugal foram produzidas 115 567 toneladas deste produto, tendo sido consumido pelos portugueses aproximadamente 215 000 toneladas, movimentando em 2009 uma quantia superior a 221 milhões de euros (Instituto Nacional de Estatística, 2011; Tamime, et al., 2007).

2.3.3. Matérias-primas e ingredientes

A matéria-prima mais importante na produção do iogurte é o leite. A composição do leite deverá ser modificada de forma a possuir as características necessárias para a sua transformação em iogurte, estas alterações podem ocorrer através de processos físico-químicos ou através da adição de ingredientes (Chandan, 2006).

O leite usado na produção de iogurte deve possuir um conteúdo de lípidos entre os 0,5 e os 3,5 % e 12,5 % de outros componentes que não lípidos, sendo que no estado natural este possui 3,6 % de lípidos e 9% de outros constituintes (Chandan, 2006).

Os únicos ingredientes obrigatórios na produção deste laticínio são o leite e as culturas lácticas, os outros ingredientes são facultativos. Os ingredientes opcionais mais adicionados são: o leite concentrado, a nata, o leite em pó, os caseinatos alimentícios, o soro concentrado, o soro em pó, os concentrados de proteínas do soro, os aromas, os estabilizantes, as frutas e os açúcares (Chandan, 2006).

O leite é determinante na qualidade do iogurte, por isso este deve preencher certos requisitos microbiológicos, essencialmente bacteriológicos. Neste sentido, um leite parcialmente fermentado não irá proporcionar o melhor ambiente para o crescimento das culturas lácticas. Outro fator que pode contribuir para uma fermentação incompleta é a presença de antibióticos ou resíduos químicos provenientes de desinfetantes, pois as culturas lácticas são muito sensíveis aos antibióticos, uma concentração entre os 0,01 e os 0,05 IU/mL de Penicilina pode originar perdas desastrosas na produção, assim como uma concentração de 0,1 a 1 mg/L de amónia (Chandan, 2006).

A redução do conteúdo lipídico é conseguida através do processo de homogeneização e o aumento do conteúdo em outros sólidos através da adição de ingredientes. Quanto maior for o teor total de sólidos exceptuando os lípidos, melhores propriedades terá o iogurte, nomeadamente, a capacidade de ligação do gel e o decréscimo da sinérese (Chandan, 2006).

Os consumidores vêm o leite gordo com sentido negativo, devido essencialmente ao seu conteúdo calórico. Por esse facto, a grande maioria dos iogurtes são produzidos com leite magro ou com baixo teor em lípidos. Apesar da gordura no iogurte possuir um efeito positivo no sabor e na textura, na produção de iogurte é comum usar-se leite magro e 1% de leite gordo, sendo que esta percentagem varia entre os 0,5 e 2% de leite gordo (Chandan, 2006).

2.3.3.1. Produtos do soro

Na produção de iogurte, a adição de soro líquido ao leite não é viável, pelo facto do soro possuir uma menor quantidade de sólidos totais que o leite. Logo, esta adição origina uma diluição dos sólidos presentes.

Em relação ao uso de soro em pó, esta adição é viável, mas deverá ser ponderada, pois em comparação com o leite em pó, o soro em pó possui características inferiores em relação à textura. Se referirmos mais especificamente as proteínas existentes no soro existem em menor

quantidade e possuem menos funcionalidade (menor capacidade de retenção de água) quando feita a comparação com as proteínas do leite, logo o iogurte produzido possuirá um decréscimo de consistência e de firmeza (Chandan, 2006).

Apesar disso, os concentrados proteicos do soro em pó (WPC) não desnaturados são uma excelente alternativa ao leite em pó magro, pois aumentam o teor de sólidos totais e podem ainda ser mais económicos, sem alterar a qualidade do iogurte. Estes concentrados possuem características muito funcionais, permitindo uma excelente capacidade de retenção de água. Nesta indústria, o concentrado mais usado é o WPC 34, sendo que em certas circunstâncias podem ser usados também o WPC 50. Nos iogurtes magros opta-se pelo WPC 80, pela insuficiência em lactose (Chandan, 2006).

A outra vantagem da adição dos concentrados proteicos do soro é o efeito positivo que exercem no crescimento de culturas probióticas, pois estes microrganismos requerem fatores específicos de crescimento, que estão presentes em maior quantidade nos concentrados proteicos de soro. Assim, é possível conseguir uma redução do tempo de fermentação sem alteração da quantidade de ácido láctico formado ou do número de células (Chandan, 2006).

2.3.3.2. Caseinatos e Concentrados proteínas do leite

Os concentrados das proteínas do leite constituem uma alternativa para aumentar o conteúdo proteico do leite, mas não são muito usadas pelo conteúdo reduzido de lactose. Em relação aos caseinatos (forma solúvel da caseína), devido às suas propriedades funcionais são um concorrente de outras proteínas funcionais, na produção de iogurtes. Os caseinatos são adicionados como regulador da consistência, sendo responsáveis por iogurtes com grande qualidade em termos de aparência, textura, sabor e uma sinérese mínima (Chandan, 2006).

2.3.3.3. Edulcorantes

Um dos principais ingredientes adicionados nos iogurtes são os edulcorantes ou açúcares, sendo que a quantidade depende do tipo de iogurte. A maioria dos açúcares adicionados são açúcares nutritivos, nomeadamente a sacarose (granular ou líquida) e os HFCS (*high fructose*

corn syrup). Outros açúcares nutritivos que podem ser utilizados são a frutose cristalina ou o mel (Chandan, 2006).

A escolha do edulcorante depende do que se encontra em voga no mercado, por exemplo a adição de frutose cristalizada resulta num produto mais doce e com um sabor melhor, mas possui um custo superior do produto (Chandan, 2006).

Os açúcares representam cerca de 8 a 10 % do iogurte. Esta percentagem não deverá ser superior a 11%, pois a partir deste concentração, ocorre um poder de inibição nas culturas lácteas. A adição dos açúcares antes da pasteurização acarreta vantagens em termos de segurança alimentar, pois a pasteurização elimina qualquer microrganismo que possa estar presente nos açúcares (Chandan, 2006).

A existência de iogurtes com baixo teor em gordura permite o uso de açúcares não nutritivos, criando assim os iogurtes magros. Atualmente, o aspartamo é o edulcorante mais utilizado nos iogurtes magros, podendo ser usado individualmente ou em combinação com outros adoçantes. O uso de açúcares não nutritivos permite a redução de aproximadamente 70% na quantidade de açúcar adicionado e uma redução calórica bastante considerável (Chandan, 2006).

Apesar do aspartamo possuir poder calórico, a quantidade usada no iogurte é tão reduzida, que não contribui para o valor energético do iogurte, pois o aspartamo é entre 160 a 200 vezes mais doce que a sacarose. O seu comportamento no iogurte está bastante estudado e sabe-se que ele é parcialmente consumido pelas culturas e por esta razão deve ser adicionado após a fermentação, em solução pasteurizada. Outros compostos sem valor nutritivo aprovados pela FDA (*Food and Drug Administration*) e que podem ser usados no iogurte são a: Sucralose, Acesulfame-K e Neotame (Chandan, 2006).

2.3.3.4. Estabilizantes

Os estabilizantes usados no iogurte são substâncias hidrocolóides de origem animal ou vegetal, cujo objetivo é a estabilização do coágulo, o melhoramento da viscosidade e a minimização da sinérese. Estes hidrocolóides possuem a capacidade de formação de estruturas em forma de gel, que inviabilizam a perda de água da matriz e possuem uma excelente capacidade de retenção de água, promovendo uma excelente emulsão. Dependendo do tipo de iogurtes são aconselháveis certos estabilizantes, snedo possível visualizar na Tabela 2 os

estabilizantes utilizados nesta indústria e a quantidade usada, sendo os mais utilizados no presente os WPC, a gelatinas, as pectinas e as gomas (Chandan, 2006).

Tabela 2: Estabilizantes e quantidades usadas nos iogurtes, adaptado de Chandan (2006).

Estabilizante	Porcentagem no iogurte (%)
Proteínas do soro concentradas (WPC 34, 50, 80) ou proteínas do leite concentradas	0,7-1,5
Amido	0,8-2,0
Gelatina	0,1-0,5
Agar	0,25-0,70
Pectina	0,08-0,5
Goma Xantana (em combinação)	0,01-0,05

Estes hidrocolóides raramente são usados de forma individual, sendo habitualmente elaborada uma combinação de forma a obter a textura pretendida. No caso do iogurte, a utilização dos polissacarídeos (ex: pectina, goma xantana e goma de guar) é importante para possibilitar a criação de uma estrutura de gel, que atribui ao produto uma sensação cremosa (Chandan, 2006).

A pectina é um polissacarídeo muito usado na indústria alimentar como agente gelificante, sendo obtido maioritariamente obtido por extração dos citrinos. Este polissacarídeo é um dos principais constituintes das paredes celulares das plantas. A sua capacidade de agente gelificante, espessante e estabilizante nos alimentos deve-se à sua estrutura, pela grande capacidade de aprisionar a água. Este polissacarídeo é muito usado nos iogurtes, possuindo um sabor agradável. Este aditivo, na Europa é o E 440, sendo habitualmente utilizado em concentrações entre os 0,1 a 1 % (Norton, et al., 2011; Tamime, et al., 2007).

A goma xantana é um polissacarídeo obtido pela fermentação da bactéria *Xanthomonas campestris*, sendo um importante aditivo alimentar. Esta goma permite um aumento da viscosidade de um líquido com uma quantidade aproximada de 1%. Na maioria dos alimentos é esta goma é utilizada numa gama de concentrações inferiores a 0,5 %.

A goma xantana em solução permite a obtenção de um gel com características pseudoelásticas. A estabilidade desta goma no alimento não sofre transformações significativas com alterações de temperatura e de pH. Esta goma permite o aumento da espessura de um líquido, pois evita a separação da água dos restantes componentes, criando uma textura muito agradável, principalmente nos laticínios (Norton, et al., 2011; Tamime, et al., 2007).

A goma de guar é outro polissacarídeo que pode ser adicionado ao iogurte, este possui mais solubilidade que outros, sendo considerado um excelente estabilizante. Esta goma tem a particularidade de possuir uma elevada capacidade de retenção de água, pois utilizando uma quantidade reduzida desta goma é conseguido no alimento a viscosidade pretendida. Geralmente esta goma é adicionada numa concentração utilizando uma gama entre os 0,05 e 0,6 % (Norton, et al., 2011; Tamime, et al., 2007).

No caso do iogurte a goma xantana é mais indicada que a goma de guar pois a goma de guar é responsável pelo aumento da viscosidade, mas com uma elasticidade inferior, levando à formação de um gel fraco. Este gel tende a ser muito sensível a deformações. A principal vantagem da goma de guar em comparação com a goma xantana é o facto de esta possuir um valor comercial mais baixo, sendo desta forma economicamente mais viável (Norton, et al., 2011; Tamime, et al., 2007).

A goma xantana origina produtos com características viscoelásticas típicas de um gel forte, pois a elasticidade é superior à viscosidade, contribuindo para uma redução considerável da sinérese. No caso da produção de iogurtes, esta característica é muito importante, outra vantagem é também o facto de não afetar substancialmente o brilho do produto como acontece com outros polissacarídeos. Outra vantagem da goma xantana é a sensação agradável, em termos de textura, que confere ao iogurte, sendo assim um dos polissacarídeos ideal para adicionar a este alimento (iogurte) (Norton, et al., 2011).

2.3.3.6 Frutas e aromas

A popularidade do iogurte deve-se muito aos sabores a fruta e aromas, pois as frutas são reconhecidas como alimentos saudáveis pelos consumidores. Os sabores mais vendidos são os seguintes: morango, baunilha, pêssego, framboesa, morango-banana, mistura de frutas, lima-limão, mirtilo, cerejas, misturas de bagas e amoras.

Em relação às preparações de frutas, estas representam entre 12 a 18% da mistura, contendo 50% de açúcar. Normalmente apresentam uma grande versatilidade de cores, texturas, sabores e diversos tipos de pedaços. (Chandan, 2006)

Estes tipos de produtos são adicionados preferencialmente aos iogurtes batidos, sendo que alguns atributos sensoriais como o aroma, o sabor e a cor, as correções de pH e a doçura podem ser retificados no produto final (Chandan, 2006).

2.3.3.7 Culturas lácticas

As culturas de arranque consistem em microrganismos adicionados deliberadamente, para causar as modificações desejadas na produção de um produto específico. No caso da produção de iogurtes, as bactérias principais são a *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* e a *Streptococcus sulvarius subsp. thermophilus* podendo também usar-se as seguintes espécies *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterim longum/bifidus/infantis* e *Lactobacillus casei/lactis/jugurti/helveticus*, sendo o tempo de incubação ideal entre 2 a 2,5 horas entre os 43 e 45 °C (Chandan, 2006; Yildiz, 2010).

S. thermophilus é a única espécie do género *Streptococcus* que é usada na indústria dos lacticínios. É um organismo termotolerante, necessitando de elevadas temperaturas para o seu crescimento (entre os 35 e os 43 °C). A sua estrutura é em forma de *cocos* unidos, usualmente em cadeias curtas, a transformação da lactose é mediada pela β -galactosidase permease e pela β -galactosidase. Este organismo produz um coágulo fraco devido à baixa produção de ácido láctico, sendo por isso associado com *Lb. bulgaricus* (Chandan, 2006; Yildiz, 2010).

Lb. bulgaricus é uma bactéria gram-positiva em forma de bastonetes unidos em cadeias variáveis, sendo geralmente longas, e tal como o anterior é termófilo e homofermentativo (Chandan, 2006; Yildiz, 2010).

A associação destas duas bactérias permite reduzir o tempo de fermentação, uma maior produção de ácido láctico, um melhor sabor e um coágulo com propriedades delificantes mais fortes. Estas bactérias são adicionadas na mesma proporção, pois o predomínio de uma das espécies resulta em defeitos no produto final. Os principais fatores que alteram o balanço entre os dois organismos são: o tempo, a temperatura de incubação e a percentagem na cultura de arranque (ex: um tempo curto de fermentação favorece o *S. thermophilus*, resultando num produto com sabor fraco e com pouca consistência, já um tempo demasiado elevado favorece o *Lb. Bulgaricus*, resultando num produto muito ácido) (Chandan, 2006; Yildiz, 2010).

A relação simbiótica entre as espécies permite o desenvolvimento do sabor característico do iogurte. O *S. thermophilus* cresce preferencialmente no início, pois é aeróbio tolerante, formando ácido fórmico e carbónico e consumindo o oxigénio do meio. Mas, é a atividade proteolítica do *Lb. Bulgaricus*, que promove a libertação de péptidos e aminoácidos, favorecendo o crescimento da outra espécie, o *S. thermophilus*.

Estas espécies crescem no iogurte de forma complementar e coordenada. Até um pH de 5 a *S. thermophilus* predomina e após este pH a *Lb. Bulgaricus* suplanta gradualmente a anterior até ao fim da fermentação, onde o pH final é de 4,5 (Chandan, 2006; Yildiz, 2010).

Estas bactérias são chamadas de probióticas, porque não são digeridas e exercem um efeito positivo no organismo, nomeadamente como inibidoras de patogénicos e no melhoramento da absorção da lactose devido à produção de β -galactosidase (Chandan, 2006; Tamime, et al., 2007).

Muitos iogurtes foram reformulados e outros criados de forma a incluírem outras culturas vivas de microrganismos probióticos, que produzem efeitos benéficos na saúde humana, exemplos dessas espécies são as *L. acidophilus* e *Bifidobacterium spp.*, estas culturas podem ser adicionadas em conjunto com as culturas de arranque, ou após a fermentação (Chandan, 2006; Tamime, et al., 2007).

As culturas *Bifidobacterium* são as que apresentam maior interesse a nível industrial, elas são habitantes naturais do tracto intestinal humano. Estas espécies fermentam a lactose e produzem ácido acético, láctico e fórmico, causando assim a diminuição do pH no cólon, inibindo deste modo o crescimento de patogénicos (Chandan, 2006; Tamime, et al., 2007).

Não existe conhecimento da quantidade ótima de consumo deste tipo de culturas de forma a exercem efeitos fisiológicos, pois há autores que sugerem 10^7 UFC por grama de produto, enquanto que outros afirmam que 10^5 UFC por grama em produtos lácticos consumidos regularmente é suficiente para exercem os benefícios desejados (Chandan, 2006; Tamime, et al., 2007).

A produção de iogurtes com recurso apenas a culturas probióticas excluindo a *S. thermophilus* e *Lb. bulgaricus* não é viável, devido a um tempo de fermentação muito maior e ao sabor desagradável provocado por algumas espécies (Chandan, 2006; Tamime, et al., 2007).

2.3.4. Processamento

A produção de iogurtes é um processo relativamente simples, apesar de atualmente se ter transformado num processo mais sofisticado, devido ao conhecimento tecnológico (Chandan, 2006).

Existem diversos tipos de iogurtes, sendo classificados de acordo com o seu processo produtivo e devido à sua composição, textura, consistência e ingredientes adicionados. Destacam-se o estagnado/tradicional (*cup-style* ou *set yogurt*), embalado logo após a inoculação ocorrendo a fermentação na embalagem; o batido (*Swiss-style* ou *stirred yogurt*), embalado após a fermentação com adição de aromas ou frutas; o líquido, processo idêntico ao batido, mas o coágulo é quebrado até ficar líquido e o gelado (*frozen yogurt*), arrefecido até temperaturas de congelação após a fermentação. Para além destas classificações típicas também existem iogurtes pasteurizados, concentrados, em pó e outras bebidas lácticas, que dificultam a sua classificação (Chandan, 2006; Martin, 2002). Na Figura 3 é representado o processo contínuo de produção industrial de iogurtes estagnados (Chandan, 2006).

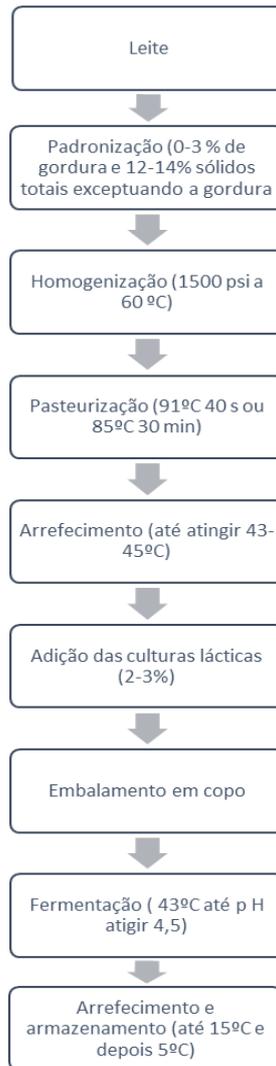


Figura 3: Processo de produção de iogurte estagnado (Chandan, 2006)

2.3.4.1. Padronização

Nesta etapa o leite é padronizado de forma a possuir o conteúdo pretendido de gordura (0-3 %) e de outros sólidos que não lípidos (12-14%). Sendo conseguido através da adição de vários ingredientes (estando estes definidos na secção anterior), cujo objetivo é aumentar o conteúdo de proteínas para que o produto final tenha a consistência pretendida (Chandan, 2006).

A densidade da mistura deve aumentar em relação ao leite, sendo que a densidade relativa aumenta de 1,03 até 1,4 aos 20 °C, e após a padronização podem ser adicionados açúcares ou estabilizantes (Chandan, 2006).

2.3.4.2. Homogeneização

O objetivo desta etapa é reduzir o tamanho dos glóbulos de gordura, permitindo também uma distribuição mais uniforme dos ingredientes. A consequência mais visível desta etapa, no produto final é a não formação de uma camada de nata à superfície do leite (Chandan, 2006).

Este processo é habitualmente realizado em duas etapas, onde as temperaturas utilizadas variam entre os 55 e os 81 °C e as pressões entre os 100 e os 250 bar. O objetivo da realização desta etapa é a obtenção de uma melhor consistência e estabilidade do coágulo (Chandan, 2006).

2.3.4.3. Pasteurização

A pasteurização é habitualmente realizada num permutador de calor de placas. Neste processo são eliminados os microrganismos existentes, através do binómio tempo-temperatura, outra consequência deste processo é o desnaturamento das enzimas e das proteínas do soro.

O desnaturamento das proteínas séricas ocorre devido à elevada temperatura a que ocorre este processo, permitindo a ligação entre estas e as caseínas. Esta relação contribui para uma melhor estabilidade do gel e para reduzir a sinérese do produto final (Chandan, 2006).

As condições típicas deste processo são 85 °C durante 30 minutos ou então 91 °C durante 40 segundos. Neste processo também é reduzida a quantidade de oxigénio (Chandan, 2006).

2.3.4.4. Inoculação, fermentação e arrefecimento

Antes da inoculação é necessário arrefecer a mistura padronizada, até uma temperatura de 43-45 °C e depois adicionar as culturas de arranque, a temperatura deverá ser constante e mantida durante a fermentação (Chandan, 2006).

As culturas de arranque mais usadas são o *S. thermophilus* e o *Lb. Bulgaricus*. A relação entre as espécies permite um crescimento rápido das bactérias e uma grande produção de ácido

lático. A *S. thermophilus* cresce mais rápida no início sendo inibida através da redução do pH, sendo que no fim da fermentação predomina o crescimento da *Lb. Bulgaricus*.

A formação de ácido láctico pelas culturas resulta numa agregação das micelas de caseínas e na formação do gel. Também são produzidos outros compostos, como o acetaldeído, que é responsável pelo sabor característico a iogurte (Chandan, 2006).

As culturas são homofermentativas, produzindo ácido láctico a partir da glucose, não sendo capazes de metabolizar a galactose. O acetaldeído é o metabolito que confere sabor ao iogurte, sendo este produzido maioritariamente através do *S. thermophilus*, sendo que o *Lb. Bulgaricus* responsável pela produção de precursores que originaram o acetaldeído (Chandan, 2006).

No caso de iogurtes estagnados (*set style yogurt*), a fermentação ocorre dentro da embalagem. Sendo previamente adicionados ao recipiente, aromas, cor, ou açúcares, caso seja necessário, antes da adição das culturas de arranque. O resultado é um produto com elevada consistência.

No caso do iogurte batido (*stirred yogurt*) este é fermentado num tanque. Após a fermentação a estrutura é quebrada e são adicionados os ingredientes necessários, aroma, açúcares, cor, entre outros, e depois é embalado (Chandan, 2006).

Para ambos os iogurtes, a fermentação termina com a diminuição da temperatura para temperaturas inferiores a 15 °C, acontecendo quando o pH atinge os 4,5; ou uma acidez titulável de 0,9 % em ácido láctico. O período de fermentação pode durar entre 2 a 3 horas a uma temperatura entre os 40 e 45 °C, ou em alternativa, entre 16 a 18 horas a uma temperatura de 30°C (Chandan, 2006).

O iogurte deverá ser conservado a uma temperatura de 5 °C até ao consumo, de forma a que não ocorra qualquer crescimento bacteriano (Chandan, 2006).

2.3.5. Composição e aspetos nutritivos e de saúde

O iogurte é um alimento bastante rico nutricionalmente, pelo que se torna uma excelente fonte de energia, mas principalmente de proteínas, minerais e vitaminas (Landge, 2009).

Segundo a FDA (*Food and Drug Administration*), o iogurte antes da adição de qualquer ingrediente que confira sabor, deverá conter menos de 3,25 % de gordura.

Um iogurte é classificado como iogurte com baixo teor de gordura se possuir entre 0,5 e 2% de lípidos. Para ser classificado como iogurte sem gordura, este deverá possuir um teor de lípidos inferior a 0,5 %.

Em relação aos restantes sólidos, o seu teor no iogurte deverá ser superior a 8,25%. E o conteúdo de proteínas deverá ser entre 2,5 e 15 %.

O pH deverá ser igual ou inferior a 4,5 e a acidez expressa em ácido láctico superior 0,7%. O total de microrganismos deverá ser no mínimo de 10^7 unidades formadoras de colónias (UFC) por grama(Chandan, 2006).

A composição de diferentes iogurtes pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3: Composição de diferentes iogurtes, adaptado de Tamime, et al. (2007)

logurtes	Gordura	Outros sólidos	Estabilizante	Açúcar
logurte sem gordura	0,3-0,5 %	11,0-12,0 %	0,4-1,6 %	0-10,0%
logurte com pouca gordura	0,5-2 %	10,5-12,0 %	0,3-1,4 %	0-10,0%
logurte	2-3,5 %	11,0-11,0 %	0,3-1,2 %	0-10,0%

A composição deste género alimentício é similar ao do leite, apesar de existirem diferenças. Estas diferenças estão relacionadas sobretudo com a fermentação, mas também devido à adição de ingredientes (Martin, 2002).

Durante o processo produtivo do iogurte os componentes do leite vão sofrendo uma sequência de modificações, nomeadamente nos seus constituintes principais (lípidos, proteínas e lactose).

Em relação ao conteúdo de lípidos no iogurte, este decresce quando comparado com os lípidos existentes no leite. A diminuição é devida ao processo de produção do iogurte e ao metabolismo das bactérias (produção de lipases). As lipases permitem a quebra das moléculas de gordura, originando moléculas mais simples como o glicerol e cadeias de ácidos gordos, que por sua vez podem ser transformados noutros compostos pelas bactérias durante a fermentação (Martin, 2002).

Em relação às vitaminas presentes no iogurte, sabe-se que este possui dez vezes mais vitamina B₉ ou ácido fólico que o leite. As restantes vitaminas do complexo B presentes são: as vitaminas B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₇, B₈ e B₁₂. O iogurte para além das vitaminas do complexo B ainda possui as vitaminas A e C (Martin, 2002).

Este alimento é aconselhado principalmente a crianças, a mulheres grávidas e a idosos, devido ao seu valor nutritivo (principalmente as proteínas e os minerais). O iogurte é uma excelente fonte de cálcio e fósforo, permitindo a sua reposição no organismo. Também é um alimento recomendado a pessoas com intolerância à lactose, dado que no iogurte o conteúdo de lactose é mais reduzido (Martin, 2002).

O iogurte permite uma melhor absorção dos nutrientes, devido à ação das bactérias lácticas. A lactose é parcialmente hidrolisada na fermentação, assim como a presença da enzima β -galactosidase, produzida pelas bactérias, contribui para a lise da lactose. Os lípidos também são mais facilmente digeridos devido à presença de lipases (Martin, 2002).

Em relação as proteínas, estas também são mais facilmente digeridas no iogurte, devido aos processos na produção de iogurte, nomeadamente as etapas de pasteurização e de homogeneização. As outras razões são a maior presença de aminoácidos e peptidos livres, a acidez do produto e a forma como as proteínas estão organizadas no iogurte (Martin, 2002).

As culturas *Lb. bulgaricus* e *S. thermophilus* permitem a redução de outros organismos, nomeadamente organismos patogénicos, existentes no organismo. Para além disso, estas culturas produzem compostos com características terapêuticas como é o caso dos péptidos bioactivos (Martin, 2002).

Apesar destas culturas não serem habitantes nativos do intestino humano exercem benefícios, pois está reportado que além de melhorarem a digestibilidade das proteínas, da lactose e dos lípidos, também melhoram a absorção dos minerais, o controlo da saúde intestinal e aumentam imunidade dos indivíduos (Martin, 2002).

2.3.6. Interações entre as proteínas no processo de produção do iogurte

A formação da estrutura de gel do iogurte e o processo de gelificação é resultado uma gelificação ácida, formada na fermentação do iogurte (Tamime, et al., 2007).

A pasteurização é uma das etapas determinantes neste processo, numa simples pasteurização do leite são eliminados microrganismos patogénicos, inativadas a maioria das enzimas, mas apenas 10 % das proteínas do soro é que são desnaturadas. Na pasteurização do leite para a produção de iogurtes, a quantidade de proteínas do soro desnaturada deverá ser

sempre superior a 85 %. Sendo que quanto maior for o desnaturamento, maior será a consistência do gel formado no iogurte (Landge, 2009; Tamime, et al., 2007).

Quando as proteínas do soro são expostas a temperaturas superiores ou iguais a 80 °C, estas desnaturam, através da perda de estrutura e do facto dos grupos com enxofre reativo ficarem disponíveis para outras ligações, por exemplo a β -lactoglobulina, que é a proteína presente em maior quantidade no soro, pode formar duas ligações dissulfúricas. A estrutura desta proteína desnaturada permite a ligação com a k-caseína, resultando no aumento das micelas. Outras proteínas como a α -lactoalbumina também se conseguem ligar à k-caseína, contudo o processo é diferente, sendo que para ocorrer a ligação da β -lactoglobulina à micela é necessário que α -lactoalbumina se ligue previamente a esta (Landge, 2009; Tamime, et al., 2007).

Na pasteurização ocorre o aumento do tamanho das micelas, cerca de quatro vezes mais, devido à capacidade de ligação das proteínas do soro desnaturadas às micelas de caseína. Estas ligações estão na base da microestrutura do iogurte, que se torna mais compacta quanto maior forem os aglomerados existentes.

Contudo, se existir um excesso de proteínas do soro, ocorre a formação de estruturas proteicas excessivamente grandes que levam à saturação das ligações possíveis da k-caseína, podendo certas proteínas do soro não conseguirem efetuar a ligação, devido à saturação da rede proteica. A saturação da rede proteica leva à formação da agregação dessas proteínas, formado um gel diferente do gel formado pelas micelas de caseína ligadas às proteínas do soro. Tal facto origina assim um produto indesejado (com baixa qualidade e com separação de fases) (Landge, 2009).

Durante a fermentação ocorre a formação da estrutura do iogurte. As estruturas de caseína micelares com frações proteicas agregadas vão aumentando, fruto do decréscimo do pH, através da formação de ligações até à criação de uma matriz consistente. A estrutura apenas fica completa com a refrigeração do produto. (Tamime, et al., 2007).

2.3.7. Parâmetros de qualidade do iogurte

A qualidade do iogurte diz respeito a todo o processo e produção e não apenas ao produto final. O produto deve respeitar as leis e regulamentos em termos de propriedades, concentrações

de espécies químicas, embalagem, rotulagem, ingredientes usados, segurança alimentar e prazo de validade (Chandan, 2006).

De forma a verificar se o produto cumpre os regulamentos aplicáveis a este género alimentício são necessárias análises em laboratório. Essas análises incluem análises químicas à composição, determinação de parâmetros físicos e microbianos e a sua avaliação sensorial. O prazo de validade do iogurte é muito variável, mas geralmente situa-se entre os 30 e os 55 dias, a partir da data de produção, desde que a temperatura de distribuição e venda não exceda os 10 °C, sendo a temperatura recomendada de 5 °C (Chandan, 2006).

As propriedades físicas mais importantes neste produto são a viscosidade, a cor, a textura, a consistência, a capacidade de retenção de água e a sinérese. As análises químicas mais habituais são para detectar: o pH, a acidez, o teor em lípidos, proteínas, cinzas e hidratos de carbono. Também devem ser realizadas análises microbianas, de forma a averiguar se este alimento cumpre as regras de higiene e segurança alimentar e os regulamentos legais impostos (Chandan, 2006).

A cor é a primeira característica que o consumidor observa, podendo modificar a ideia posterior que pode alterar as outras perceções sensoriais. Este parâmetro é usualmente expresso em CIE (*International Commission on Illumination*) LAB, sendo composto por 3 valores, L* (brilho do alimento), a* (vermelho ao verde) e b* (amarelo ao azul) (Landge, 2009).

O parâmetro que mais importa para o consumidor é o valor L*, pois valores elevados de brilho levam o consumidor a associar o iogurte a um produto mais natural e mais próximo do leite.

A adição de estabilizantes leva a alterações na cor do iogurte. A adição de gomas resulta numa diminuição do valor de L*, enquanto que a adição de concentrados de proteínas do soro afeta o valor de b* (Landge, 2009).

De forma a averiguar se o produto cumpre com a legislação em relação à microbiologia, deve realizar-se a quantificação das bactérias de *S. thermophilus* e *Lb. bulgaricus* no produto final, sendo esperado um número de colónias idêntico. Em alternativa, pode efetuar-se a quantificação total de bactérias. As outras análises microbianas que deverão ser efetuadas são a pesquisa de coliformes e leveduras. A pesquisa de coliformes é sempre obrigatória e no caso da pesquisa de leveduras, esta só se efetua caso sejam adicionados concentrados de frutas (Chandan, 2006).

A análise sensorial é uma avaliação muito importante para testar a conformidade do produto, sendo esta efetuada 24 horas após o embalamento. Este teste organoléptico e sensorial deve quantificar os parâmetros mais importantes que garantam a aceitabilidade por parte do consumidor.

O iogurte deverá possuir um sabor agradável e ligeiramente ácido, devendo ser isento de sabores indesejáveis como: amargo, oxidado, excessivamente ácido, entre outros e os ingredientes devem estar distribuídos uniformemente em todo o produto.

Em relação ao corpo e à textura, um iogurte deverá ter um corpo compacto, com textura lisa e homogênea. A cor esperada é a branca, sendo a mais brilhante possível. A aparência expectável é o mais natural e suave possível. A superfície deverá ser limpa sem a presença de nata e sem sinérese (Chandan, 2006).

As propriedades físicas do iogurte, nomeadamente a viscosidade e a consistência são mediadas através de instrumentos como viscosímetros ou reómetros (Tamime, et al., 2007).

2.3.7. Reologia do iogurte

A reologia ajuda a compreender a resposta da estrutura de um alimento quando sujeito a forças ou deformações. Por definição, a reologia faz parte da mecânica de fluidos e descreve o fluxo ou deformação dos materiais, sendo as propriedades reológicas de um alimento resultado do fluxo e deformação de um material quando sujeito alterações que causam “*stress*”. As propriedades físicas mais importantes que a reologia estuda são: a viscosidade, a plasticidade, a elasticidade e o escoamento da substância (Malkin, 1994; Rao, 1999).

A geometria de cilindros concêntricos permite obter resultados bastantes precisos, sendo principalmente usada em materiais com baixa viscosidade. Este tipo de geométrica é recomendável na análise reológica do iogurte, visto possuir elevada sensibilidade (Malkin, 1994; Rao, 1999).

A reologia pode ser dividida em diferentes categorias, como as curvas de escoamento e os testes oscilatórios.

As curvas de escoamento fornecem informações sobre a resposta do material quando sujeito a diferentes taxas de fluxo, através da medição das alterações de viscosidade resultantes da alteração da tensão de corte.

Os testes oscilatórios fornecem informações sobre a estabilidade do material, sendo medido o módulo elástico (*storage modulus*) e o módulo viscoso (*loss modulus*) em diferentes frequências (Malkin, 1994; Rao, 1999).

Assim a resposta do material, nos testes dinâmicos, é observada por dois parâmetros, o módulo elástico e o módulo viscoso. O módulo elástico (G') indica o grau de elasticidade do material e o módulo viscoso (G'') mede o grau de comportamento viscoso. Se o módulo elástico é superior ao módulo viscoso, isto indica um predomínio das propriedades elásticas. O cruzamento das duas curvas indica a frequência onde a resposta elástica é igual à viscosa, sendo um parâmetro muito importante pois a partir desse ponto dá-se a inversão do comportamento (Norton, et al., 2011).

O gel do iogurte fica definido após o arrefecimento, onde ocorrem alterações microestruturais que dão a consistência final aos iogurtes. A relação e o rácio entre as caseínas e as proteínas do soro é fundamental para a estrutura deste produto. Por isso os testes de reologia devem ser efetuados pelo menos 24 horas após a produção deste produto (Norton, et al., 2011).

As curvas de escoamento no iogurte têm o objetivo de prever os efeitos do *stress* no alimento. No iogurte são caracterizadas por uma diminuição mínima da viscosidade, numa fase inicial, onde o *stress* aplicado é reduzido, sendo um patamar newtoniano. Esta fase é caracterizada por uma viscosidade constante.

Após o patamar newtoniano ocorre uma diminuição progressiva da viscosidade com o aumento do *stress* aplicado. Nesta fase podem ser aplicados modelos e calculadas certas constantes, é nesta fase que se podem comparar e obter as curvas de escoamento dos produtos. O melhor modelo para descrever esse comportamento no iogurte é o modelo de *Herschel-Bulkley*. Este modelo é caracterizado por 3 parâmetros, valor aparente do limite de elasticidade observado (τ_0), a consistência do alimento (k) e o índice de fluxo (n) (Norton, et al., 2011).

No caso dos testes dinâmicos, como o teste oscilatório, são avaliadas as propriedades viscoelásticas do gel. O iogurte é caracterizado como uma estrutura onde domina a força elástica

relativamente à viscosidade, sendo possível que a uma frequência elevada possa perder a estrutura quando as forças se igualam, ou seja, a partir desse ponto verifica-se um domínio da força viscosa em detrimento da força elástica (Norton, et al., 2011).

A presença de estabilizantes, como a pectina e as gomas, altera consideravelmente as propriedades reológicas do iogurte. Esta adição torna o produto mais resistente ao *stress* através do aumento da viscosidade, da elasticidade e da capacidade de retenção de água. (Norton, et al., 2011).

O processo de produção de iogurte favorece os processos de gelificação dos principais constituintes. As proteínas do soro tendem a formar géis na refrigeração depois do desnaturamento. As caseínas tendem a neutralizar a carga e a solubilizar a pH baixo (pH=4,5), com interações que envolvem os iões cálcio. Os iões cálcio também favorecem a gelificação de soluções com pectina, principalmente a pH e a temperatura baixa. Já as gomas tendem a gelificar em combinação a presença de outros polissacárideos, em condições de temperaturas baixas e com a presença de iões divalentes, como o cálcio.

Outro parâmetro que pode ser analisado é o $\tan \delta$, *Loss tangent*, (LT). Este parâmetro é definido como uma tangente da fase de descolamento angular entre o *stress* e a tensão, indicando a proporção das fases viscosa (G'') e elástica (G'). Este parâmetro também indica a fase em que se encontra o alimento, sendo líquido puro se $LT = 90$, sólido puro se $LT = 0$ e se LT se situar entre 0 e 90, é um sólido viscoelástico (Landge, 2009).

3. Projeto valorização do soro de queijo através da produção de iogurte

O objetivo deste projeto é o reaproveitamento do soro resultante da produção dos queijos produzidos e provenientes, da Quinta dos Moinhos Novos, que gentilmente cederam o material necessário, para a produção de um lacticínio, nomeadamente o iogurte.

Neste projeto é proposta uma solução para o aproveitamento de um efluente resultante de uma unidade industrial de produção de queijo, através da criação de um novo produto alimentar e portanto um produto com valor acrescentado. Um iogurte produzido através do soro como uma das matéria-primas principais. O tipo de soro e as suas características estão directamente relacionadas com o tipo de queijos de onde este subproduto é proveniente. Neste caso específico, o soro utilizado foi obtido através do soro resultante do processo de produção do Queijo Puro de Cabra da Quinta dos Moinhos Novo. Este tipo de soro reúne as características necessárias para a criação do lacticínio pretendido (iogurte), já que é caracteristicamente doce, e não possui adição cloreto de sódio além de possuir a grande vantagem de haver uma produção significativa deste subproduto de cerca de 300 mil litros anuais.

Por se tratar de uma fábrica de pequena dimensão não existe um reaproveitamento deste soro, nem este resulta de uma produção contínua, ou seja, é uma produção sazonal que está directamente dependente das vendas do respectivo queijo. Desta forma, serão realizadas microproduções de queijo, através da hidratação de leite em pó de cabra seguindo o processo de produção do queijo tradicional de cabra, de forma a obter um soro com as mesmas características que o soro obtido pela Quinta dos Moinhos Novos.

O iogurte será produzido através da adição de leite em pó de cabra, açúcar granulado e goma xantana, goma de guar e pectina. O objectivo deste projecto consiste em realizar diferentes combinações e avaliar a consistência obtida nos produtos formulados. A caracterização do produto final será elaborada através da determinação da sua composição em teor de sólidos, proteínas e gordura. Também serão avaliadas as propriedades físicas e reológicas; e serão efectuadas análises microbiológicas.

Os objetivos propostos para este projeto consistem em:

3. Projeto valorização do soro de queijo através da produção de iogurte

- Criar uma bebida fermentada, especificamente o iogurte, tendo na sua formulação soro de queijo como matéria-prima;
- Estudar diferentes formulações do produto, avaliando as suas características físico-químicas e sensoriais e posteriormente proceder à comparação com um iogurte comercial tradicional seleccionado.
- Avaliar a possibilidade de inserir este produto no mercado.

4. Materiais e métodos

4.1. Materiais

Para obtenção do soro pretendido foram utilizados diversos ingredientes apresentados na tabela seguinte de acordo com os processos convencionais já existentes

Na Tabela 4 apresentam-se os ingredientes usados no processo de obtenção do soro.

Tabela 4: Ingredientes usados no processo de obtenção do soro

Ingredientes		Fornecedor
Leite em pó de cabra ("Full cream goat milk power")		CBM
Água		-
Cultura láctica	"Mesophile Plus"	Abiasa
Enzimas	"Lisozima"	Abiasa
	"Esterase"	Abiasa
Cloreto de cálcio		* (Quinta dos Moinhos Novos)
Coagulante animal	"Animal rennet"	Abiasa

Na formulação do iogurte foram utilizados diversos ingredientes experimentando diversas combinações e quantidades dos polissacarídeos escolhidos. Na tabela seguinte podem ser consultados os materiais utilizados em todo este processo de otimização e produção do produto final desejado.

Na Tabela 5 apresentam-se os ingredientes usados no processo de obtenção do iogurte.

Tabela 5: Ingredientes usados no processo de obtenção do iogurte

Material		Fornecedor
Soro de queijo de cabra		Quinta dos Moinhos Novos
Leite em pó de cabra ("Full cream goat milk power")		CBM
Polissacarídeos	Pectina E440 ("Pectin Purple Ribbon D-110 AM")	Obipektin
	Goma de Guar E412 ("Viscogum MP41230")	Cargill
	Goma Xantana E415 ("Satiaxane Cx 91")	SKW-Biosystems
Cultura lácticas	<i>Lb. bulgaricus</i>	Abiasa
	<i>St. thermophilus</i>	Abiasa
Açúcar granulado		RAR

*Desconhecido

Para caracterizar as características do soro de queijo e aferir se possuía as características necessárias para a produção do iogurte e se as suas características se encontravam de acordo com o esperado foram utilizados diversos reagentes.

Na Tabela 6 apresentam-se os reagentes usados na caracterização física, microbiológica e química do soro e do iogurte.

Tabela 6: Reagentes usados na caracterização física, microbiológica e química

Métodos	Reagentes	Fornecedor
Acidez titulável	Solução de NaOH	Panreac
	Fenolftaleína	Panreac
Determinação de lípidos	Éter dietílico	Fisher Scientific
Determinação de proteínas	H ₂ SO ₄ concentrado	Sigma Aldrich
	Solução de H ₂ SO ₄	Sigma Aldrich
	Pastilhas de catalisador, Kjeltabs com selénio (5 g K ₂ SO ₄ + 5 mg Se)	Thompson & Capper (VWR)
	Solução indicadora de verde de Bromocresol a 1 g/L em etanol	Acros
	Solução indicadora de vermelho de metilo a 1 g/L em etanol	Panreac
	Ácido Bórico	Fisher
	Solução de NaOH	Panreac
	Água ultrapura	-
	Água destilada	-
Determinação microbiológica	Meio PCA	Merck

4.2. Métodos

As análises foram maioritariamente realizadas no Departamento de Engenharia Biológica da Universidade do Minho no centro de investigação de engenharia biológica com a colaboração do grupo do Laboratório de Indústria e Processo.

4.2.1. Obtenção do soro

Devido à produção deste queijo específico ser descontínua, a produção do soro utilizado neste projeto também não é constante. Pelo facto do soro ser um produto muito perecível, foram

necessárias microproduções de queijo de forma a obter soro para a realização deste projeto. Para a exequibilidade deste projeto foi adoptado um procedimento, o mais similar possível do processo utilizado pela empresa, com o objetivo de obter um soro com as mesmas características do soro do queijo de cabra tradicional obtido pela fábrica. O processo da microprodução do queijo "Puro de cabra", para obtenção do soro foi constituído por diversas etapas ao longo do tempo (Reconstituição do leite, pasteurização, adição de ingredientes e agitação, coagulação, corte, agitação e dessoramento) são descritas mais detalhadamente no esquema seguinte.

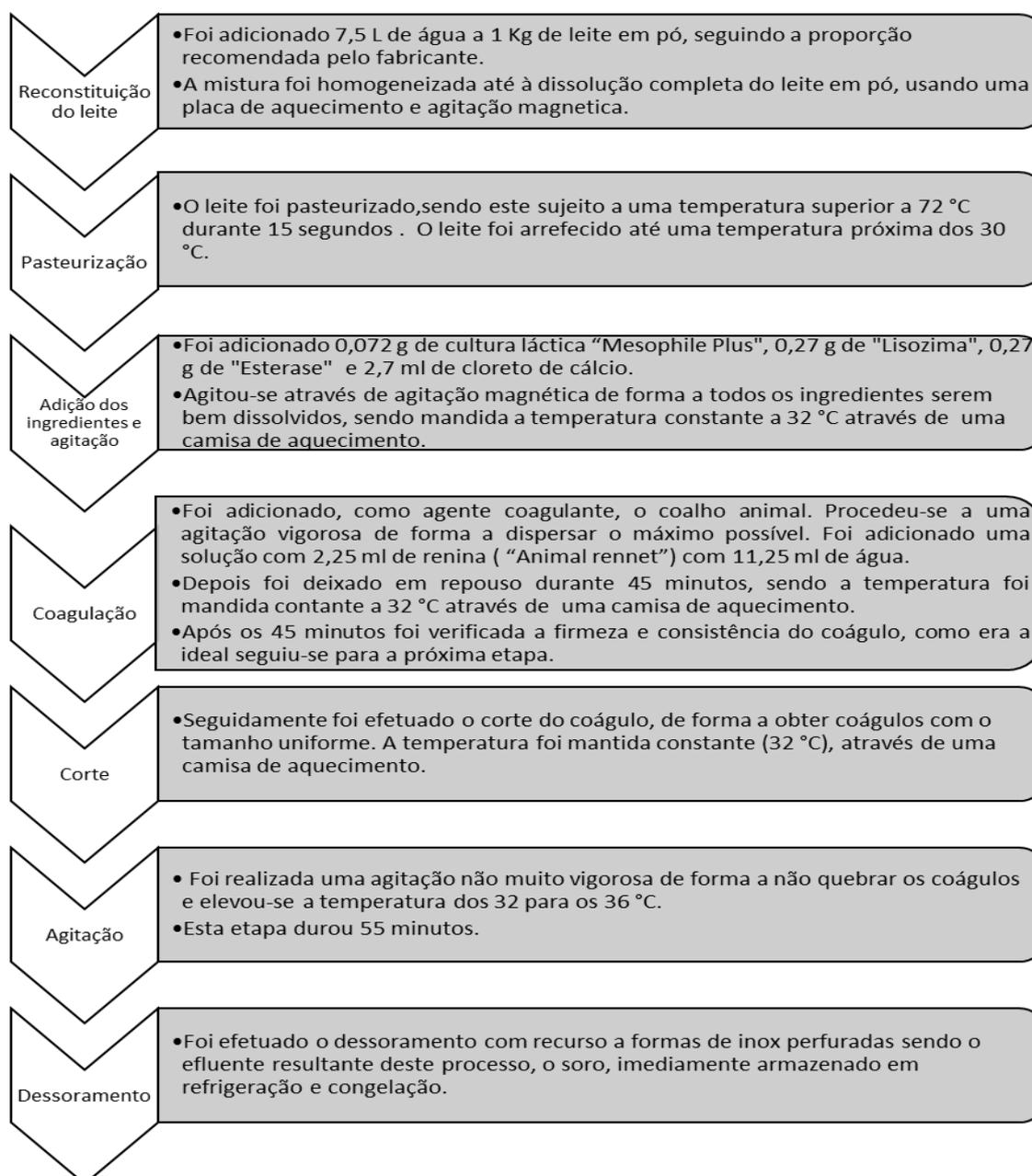


Figura 4: Processo da microprodução de queijo "Puro de cabra"

Após este processo procedeu-se à refrigeração do soro a uma temperatura de 5 °C, para posterior a determinação dos parâmetros físico-químicos, de forma a não haver alteração do produto, o soro foi congelado durante o período de em que não foi utilizado.

4.2.2. Produção de iogurte

Foram elaborados diferentes iogurtes com distintas formulações utilizando o soro obtido anteriormente, sendo o processo de produção do soro exatamente igual. O processo de produção de iogurte natural passa por diferentes etapas com uma sequência padronizada e está representado na Figura 5.

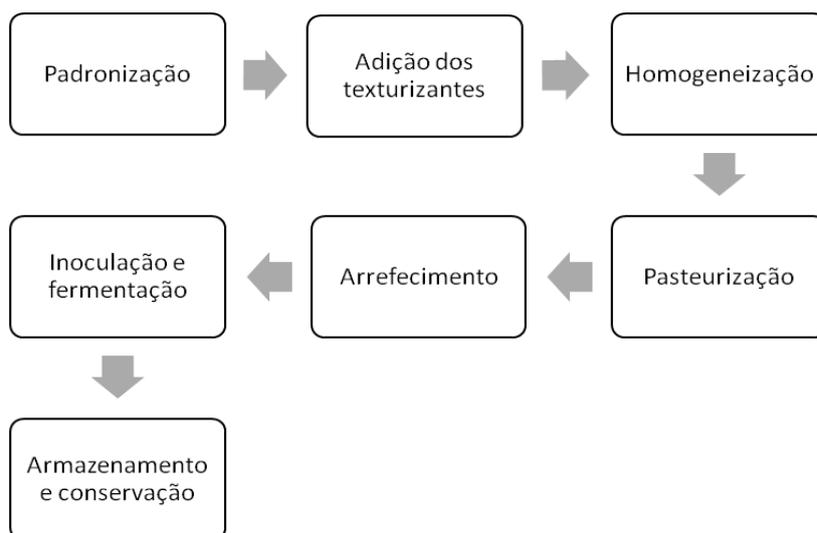


Figura 5: Etapas do processo de produção de iogurte

Na padronização foi adicionado ao soro obtido, leite em pó de cabra, 10% (m/v), de forma a obter uma mistura padronizada com as características o mais próximo das características encontradas no leite e, também, porque Soares, et al. (2011) já efetuou a produção de iogurte com soro tendo concluído que a quantidade de leite em pó mais adequada era de 10 % (m/v). Cada *batch* de iogurte produzido foi realizado em frascos *Erlenmeyer*, onde foram adicionadas 0,04 Kg de leite em pó a 0,400 L de soro. Foi realizada uma agitação vigorosa com recurso a agitação magnética, de forma a tornar possível a total dissolução de todo o produto. Para

otimizar o tempo deste processo a temperatura utilizada nesta etapa foi próxima dos 30 °C com recurso a uma placa de aquecimento.

Seguidamente foram adicionados os polissacarídeos selecionados (a pectina, a goma de guar e a goma xantana). Utilizando diferentes combinações entre os polissacarídeos e com variações nas proporções entre eles e nas concentrações de cada um. As concentrações utilizadas variaram entre 0,1 e 1% (m/v), e foram baseadas na consulta bibliográfica (Norton, et al., 2011). Para a dissolução destes polissacarídeos ocorreu uma agitação muito vigorosa com recurso a um agitador magnético e a uma mini varinha elétrica a temperatura próxima dos 35 °C, até à obtenção da homogeneização da mistura. Foram realizadas alterações nas combinações, proporções e concentrações dos polissacarídeos até obter o produto com a consistência pretendida. A consistência foi avaliada recorrendo a um consistómetro de *Bostwick*.

Após a otimização da combinação dos polissacarídeos, que permitiu a obtenção da consistência desejada para iogurte, os iogurtes passaram a ser produzidos sempre com essa formulação. Adicionando também o açúcar granulado, com o objetivo de obter um iogurte cremoso naturalmente açucarado. Assim a cada *batch* foram adicionadas 0,040 kg açúcar granular, representando aproximadamente 8,6 % (m/v), valor comum para este produto segundo a literatura consultada (Tamime, et al., 2007).

A pasteurização foi realizada em banho-maria, em que a mistura foi mantida a uma temperatura de 85 °C durante 30 minutos. Após a pasteurização procedeu-se ao arrefecimento da mistura até uma temperatura de 45 °C, posteriormente foram adicionadas as culturas lácticas típicas do iogurte (*S. thermophilus* e *Lb. bulgaricus*). Foram adicionadas 0,012 kg de cultura de arranque (0,006 kg de *S. thermophilus* e 0,006 kg de *Lb. bulgaricus*), com base na informação obtida pela literatura em que a concentração típica varia entre 2 a 3 % (m/v), num rácio 1:1 da concentração das duas culturas (Chandan, 2006). De forma a ocorrer uma dissolução rápida foi efetuada uma agitação vigorosa com recurso a um agitador magnético e a uma mini varinha elétrica.

A fermentação decorreu durante 2 horas a uma temperatura entre os 43 e os 45 °C, num banho-maria, utilizando uma placa de aquecimento. Após esta fase procedeu-se à divisão do iogurte obtido, por copos estéreis de 0,150 L, e em seguida foram colocados de imediato no frigorífico para o garantir término da fermentação. Os copos foram mantidos a uma temperatura entre os 4 e os 6 °C.

4.3. Análises químicas, físicas e microbiológicas

Para a realização destas análises foram retiradas amostras dos iogurtes produzidos do frigorífico, com posterior observação da aparência do produto durante 10 segundos a fim de verificar, se era possível visualizar algum defeito. Em relação ao soro, procedeu-se a uma descongelação lenta, através de banho-maria a uma temperatura de 20 °C.

4.3.1. Medição da consistência do iogurte

Determinou-se a consistência do iogurte 24 horas após a refrigeração do mesmo e foi utilizado um consistómetro de *Bostwick*, como descrito numa publicação de CSC Scientific Company (2013). O consistómetro foi colocado numa mesa plana e foi ajustado o ângulo e a inclinação do aparelho, através do seu alinhamento.

No reservatório do consistómetro foi introduzida a amostra do produto, procedendo-se ao completo enchimento do reservatório com o produto e foi retirado o excesso do produto. Também foi analisada e registada a temperatura da amostra.

Após a verificação da temperatura da amostra e do volume do reservatório, pressionou-se a alavanca que permite a libertação do produto e com recurso a um cronómetro, cronometrou-se 30 segundos após a libertação da alavanca. Depois dos 30 segundos observou-se e registou-se a distância percorrida pela amostra, através da régua graduada que o cronómetro possui. Este ensaio foi realizado em triplicado.

4.3.2. Determinação do pH

A determinação do pH do soro e do iogurte foi elaborada com recurso a um potenciómetro, Meter, Methrohm 620 pH. Antes da determinação o instrumento foi calibrado devidamente com soluções padrão de pH 7 e 4. Foi registado o valor de pH das amostras desejadas e estes ensaios foram efectuados em triplicado.

4.3.3. Determinação da densidade

A determinação da densidade ao soro foi realizada com recurso ao método descrito no Ministério da Agricultura (2003). Este método consiste em pesar um volume conhecido do líquido numa balança analítica com 4 casas decimais. Foi medida a temperatura do soro com recurso a um termómetro eletrónico e mantida constante a temperatura de 25 °C com recurso a um banho-maria a 25 °C. De seguida foi realizada a extração de 0,001l e na balança analítica obtém-se a massa do respetivo líquido, regista-se o valor até à quarta casa decimal, efetuou-se em triplicado, efetuou-se em triplicado. A densidade da amostra foi calculada recorrendo à Equação 1.

$$\text{Densidade} = \frac{\text{massa do soro registada na balança (kg)}}{\text{Volume de soro (m}^3\text{)}} \quad (1)$$

4.3.4. Determinação da Acidez titulável

A acidez titulável do iogurte foi determinada de acordo com o procedimento descrito por Wehr, et al. (2004). Foi efectuada a titulação utilizando 10 g de iogurte, com recurso a agitação mecânica, com uma solução de hidróxido de sódio 0,1 N, usando como indicador a solução de fenolftaleína. A titulação termina quando se verifica a mudança de cor de branco para roseado. É registado o volume de hidróxido de sódio gasto na titulação e com este dados elaborado e calculada a acidez titulável através da utilização da equação seguinte:

$$\text{Acidez titulável (\%)} = \frac{9 \times 0,1 \times \text{volume de hidroxido de sódio gasto na titulação (ml)}}{\text{massa de iogurte (g)}} \quad (2)$$

4.3.5. Determinação da humidade e teor de sólidos totais

O teor de humidade e sólidos totais para o soro e iogurte seguiu o método 990.20 do AOAC, (AOAC International, 1993), Os cadinhos foram colocados com a amostra numa estufa pré-aquecida para 100 °C e permaneceram lá durante 24 horas a uma temperatura constante de 100 °C. Após as 24 horas foram retirados e colocados num exsiccador e até estabilização da

temperatura, sendo posteriormente feita a pesagem e o registado os valores das massas dos cadinhos com as amostras secas. Estes ensaios foram realizados em triplicado.

Nota: Foi efetuado um controlo, e em relação ao soro as amostras foram aquecidas a 38 °C, e foram adicionadas três esferas de vidro aos cadinhos vazios.

O cálculo do teor de sólidos totais foi obtido a partir da Equação 3 e o cálculo da percentagem da humidade com recurso à Equação 4:

$$\text{Teor de sólidos totais (\%)} = \frac{(W_2 - W) - B}{(W_1 - W)} \times 100 \quad (3)$$

Legenda:

W: Massa dos cadinhos vazios

W1: Massa dos cadinhos com a amostra

W2: Massa dos cadinhos com a amostra seca

B: Massa do branco

$$\text{Humidade (\%)} = 100 - \text{Teor de sólidos totais (\%)} \quad (4)$$

4.3.6. Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado para o soro e para o iogurte, seguindo o método 945.46 do AOAC (AOAC International, 1945), com uma ligeira adaptação:

Aproveitando o facto das amostras após a determinação do teor de sólidos totais se encontrarem secas, foi possível o seu aproveitamento para esta análise. Assim após a determinação do teor de sólidos totais, os cadinhos foram colocados na mufla a 550±25°C, durante 24 horas. Depois de incinerada a amostra, os cadinhos foram colocados a arrefecer no exsiccador até estabilizarem a temperatura e depois pesados na balança analítica e registadas as massas. Estes ensaios foram realizados em triplicado e o conteúdo de cinzas calculado de acordo com a equação 5.

$$\text{Teor de Cinzas (\%)} = \frac{W_3}{W_1} \times 100 \quad (5)$$

Legenda:

W1: Massa dos cadinhos com a amostra

W3: Massa dos cadinhos com a amostra incinerada

4.3.7. Determinação do teor em proteínas

A determinação do teor de proteínas no soro e iogurte foi realizada usando o método de *Kjeldahl*, usou-se o sistema *Tecator Kjeltec*, constituído por uma unidade de digestão (*Digestion System 6/1007 Digestor*) e por uma unidade de destilação (*Kjeldahl System/1026 Distilling Unit*), seguindo o método 991.20 do AOAC (AOAC International, 1994), adaptando-o da seguinte forma:

Este método divide-se em três etapas, a digestão, a neutralização/ destilação e a titulação.

Na digestão foram pesadas 0,5 g de amostra, foi registado o peso e a amostra foi colocada num tubo de digestão de *Kjeldahl*, de modo a que o material não ficasse aderido ao tubo. Depois foi adicionado ao tubo uma pastilha de catalisador, *Kjeltabs* com Selénio e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado (98%) e o tubo foi colocado no bloco digestor previamente aquecido a 230 °C. Foi efetuado um branco, como controlo, com água destilada.

Foi colocado o sistema de extração de vapores e abriu-se a torneira de água, ajustando o caudal. A temperatura foi aumentada gradualmente até atingir os 415-430 °C, e foi deixada, a digestão, decorrer por mais uma hora e meia, sendo que o tempo total da digestão foi entre as duas e as duas horas e meia.

Após a digestão foram retirados os tubos do bloco digestor e foram deixados a arrefecer à temperatura ambiente. Foi adicionado 50 mL de água destilada a cada tubo, no caso do branco adicionou-se 100 mL.

Antes da destilação foi verificado se os recipientes anexados ao destilador possuíam as quantidades necessárias para o decorrer do processo, sendo estes recipientes de água ultra pura e de hidróxido de sódio a 400 g/L.

Após a verificação foi efetuada uma limpeza ao sistema. Depois do destilador estar operacional foi colocado o tubo de digestão no sistema e à saída do destilado um gobelé de 250

mL contendo 10 mL de ácido bórico a 40 g/L, foi colocado o destilador em modo “auto” e foi fechada a porta de segurança onde se encontrava o tubo de digestão e a destilação arrancou automaticamente. Quando a destilação acabou foi retirado o gobelé do sistema.

Preparação da solução de ácido bórico: Dissolveu-se 40,0 g de ácido bórico em 600 mL de água ultra pura fervida, misturou-se bem e adicionaram-se mais 300 mL de água ultra pura fervida, esperou-se que a solução atingisse a temperatura ambiente e adicionou-se 10 mL da solução de verde de bromocresol e 7 mL de vermelho de metilo e diluiu-se até atingir os 1000 mL e agitou-se cuidadosamente.

Transferiu-se 25 mL da solução e acrescentou-se 100 mL de água ultra pura, como a solução permaneceu vermelha titulou-se com NaOH 0,10 mol/l até a solução possuir cor cinzenta, usando-se entre os 40 µl. Depois juntou-se à solução de ácido bórico um volume de NaOH 1 mol/l igual a quatro vezes o volume gasto na titulação anterior

Após a destilação foi efetuada a titulação com uma solução de ácido sulfúrico a 0,25 mol/l, o ponto final da titulação foi detetado com o aparecimento da cor rosa. O volume de ácido gasto na titulação foi registado, efetuou-se em triplicado e foi calculado o conteúdo de proteínas pela Equação 8.

$$TKN \left(\frac{mg}{g} \right) = 2 \times 0,025 \times \frac{\left(\frac{V}{1000} \right) - \left(\frac{Vb}{1000} \right)}{Ma} \times 14,01 \times 1000 \quad (6)$$

$$Azoto (\%) = TKN \times 0,1 \quad (7)$$

$$Proteinas (\%) = Azoto \times F \quad (8)$$

Legenda:

TKN: Total Kjeldahl Nitrogen

V: Volume ácido sulfúrico de gasto na titulação da amostra em mL

Vb: Volume ácido sulfúrico de gasto na titulação do branco em mL

Ma: Massa da amostra

F: Fator característico de cada alimento, neste caso é de 6,38

4.3.8. Determinação do teor em lípidos

O teor de lípidos para o iogurte foi determinado através do método de extração de *Soxtec*, usando o *Soxtec System HT 2, 1046 Service Unit*, seguindo o método de Neves (2005). Não se efetuou esta determinação ao soro pois os sistemas de *Soxtec*, não são recomendáveis para alimentos líquidos. Em relação ao iogurte devido ao seu elevado conteúdo de água foi realizado uma secagem de forma a diminuir o conteúdo em água e foi triturado o máximo possível a amostra.

Antes de utilizar o extrator de Soxtec foi verificado o nível de água/óleo da unidade, após a verificação o extrator foi ligado. O forno foi regulado para 90°C, a torneira da água aberta para os condensadores de refluxo e foi verificado se a válvula dos condensadores de refluxo se encontrava aberta. Foram pesadas 3 gramas de amostra e registado o peso, sendo que previamente foi colocada a amostra na estufa a 100 °C durante uma hora e depois esta foi triturada.

Os copos metálicos de extração contendo esferas de vidro foram pesados e anotada a sua massa. A amostra seca foi colocada nos cartuchos e estes foram cobertos com uma camada fina de algodão e uma anilha. No copo metálico foram colocados 40 mL de éter dietílico e os botões do extrator foram posicionados na posição “rinsing”. Os cartuchos com as amostras foram inseridos nos condensadores, os pratos de aquecimento foram pressionaram-se para baixo e foram introduzidos os copos de extração. Depois foi seguido o manual de funcionamento de Neves (2005).

Quando terminou a extração as alavancas “air” foram fechadas e retirados os copos de extração e os cartuchos. Também foi fechada a torneira de água e retirado o residuo de solvente do condensador.

Os copos foram colocados durante 30 minutos na estufa a 100 °C, passados os 30 minutos, estes foram colocados no exsicador durante 15 minutos, depois foram pesados os copos na balança analítica e foi registado o peso. Foi efetuado em triplicado e o teor de lípidos foi determinado pela Equação 9.

$$\text{Teor de lípidos (\%)} = \frac{M3-M2}{M1} \times 100 \quad (9)$$

Legenda:

M1: Massa da amostra

M2: Massa do copo de metálico de extração com as esferas de vidro

M3: Massa final do copo de metálico de extração

4.3.9. Determinação sólidos solúveis

A quantidade de sólidos solúveis totais foi determinada através de um refractómetro digital. Esta determinação é expressa em graus *Brix* °, sendo um valor muito representativo dos açúcares que a bebida láctea possui. Foi determinado com uma leitura da amostra no refractómetro e foi efetuado em triplicado (Chandan, 2006).

4.3.10. Determinação dos hidratos de carbono

Devido à ausência de um método direto para a determinação do teor de hidratos de carbono do soro ou do iogurte, este pode ser determinado indiretamente através da diferença entre o peso total e o somatório dos outros constituintes (a água, as proteínas, as cinzas e os lípidos). É de salientar que esta é uma estimativa (Dourado, et al., 2010).

Em relação ao soro, como os lípidos não foram determinados, o valor determinado através desta estimativa diz respeito ao teor conjunto de lípidos e hidratos de carbono.

4.3.11. Contagem total de microrganismos

As contagens totais de bactérias presentes no iogurte foram determinadas através de contagem em *Place Count Agar* (PCA).

Preparação do meio PCA: Para o volume de meio necessário pesou-se a massa de meio PCA desidratado e adicionou-se água destilada consoante as especificações do fabricante. Depois com agitação e aquecimento esperou-se até que o meio ficasse completamente dissolvido. Colocou-se o meio num frasco estéril e autoclavou-se durante 20 minutos a 121 °C. Após a esterilização deixou-se arrefecer o meio e efetuou-se o plaqueamento à chama antes de solidificar.

A incubação foi realizada a 42 °C durante três dias como descrito em El Bakri, et al. (2009), utilizando a metodologia de diluições e inoculação descrita em Downes (2001). Foi usado o meio PCA, pois é um meio padrão que permite a quantificação de microrganismos viáveis em produtos lácteos, porém para o iogurte é mais recomendável o uso de meios seletivos para as bactérias lácticas, mas por falta de materiais não foi possível o uso desses meios.

Também foram realizadas contagens de microrganismos psicrófilos, como descrito em Downes (2001). Foi usado um meio de cultivo PCA, a incubação foi efetuada a uma temperatura de 5-7 °C durante três dias.

4.3.12. Medição da cor

A cor do iogurte foi medida como descrito em Schmidt, et al. (2001) usando um *Konica Minolta, Chromameter CR- 400*. A leitura foi realizada colocando a amostra no recipiente da amostra do colorímetro. Depois foi colocado o volume necessário até perfazer a marca deste e o colorímetro foi colocado na posição correta e procedeu-se à sua leitura, registrando os valores de L*, a* e b*. Foram efetuadas três leituras.

4.3.13. Testes de reologia

Os testes de reologia foram realizados num reómetro, *Rheometer Paar Physica MCR300*, seguindo a mesma metodologia que Landge (2009). O iogurte foi previamente agitado e realizado a iniciação e calibração do reómetro. Foi colocado no recipiente do reómetro uma amostra do iogurte, aproximadamente 20 mL, até preencher a marca do recipiente do reómetro.

A geometria usada foi a de cilindros concêntricos.

Foi usada temperatura ambiente, 25 °C. As frequências de 0,01 a 100 Hz, nas curvas de escoamento e nos testes dinâmicos oscilatórios as frequências de 0,1 a 10 Hz com uma “*amplitude gamma*” de 0,5 %. Foi calculada a $\tan \delta$ pela Equação 10 nas frequências 0,1 e 1 Hz e as constantes do modelo de *Herschel-Bulkley* da Equação 11. Foi efetuado este ensaio em duplicado.

$$\text{Tang } \delta \text{ (LT)} = \frac{\text{loss modulus (G'')}}{\text{storage modulus(G')}} \quad (10)$$

$$\tau - \tau_0 = K \gamma^n \quad (11)$$

Legenda:

τ : tensão de corte

τ_0 : limite aparente de elasticidade

γ : taxa de cisalhamento

K : fator de consistência

n : índice do fluxo de comportamento

4.3.14 Análise sensorial

O iogurte produzido foi submetido a um teste de aceitação sensorial composto por um painel de 8 indivíduos não treinados, sendo a temperatura do produto de 5 °C. Os provadores preencheram a ficha organoléptica que se encontra em anexo (Anexo 1). As características gerais analisadas foram a aparência, corpo/textura e sabor e alguns defeitos que este produto possa apresentar. Os indivíduos antes da prova ingeriram água mineral para a eliminação de sabores, a iluminação era a iluminação natural e as provas foram realizadas individualmente. A classificação foi de 0 a 5:

0. Produto não conforme, defeito irreversível na qualidade do produto;
1. Produto com um defeito bastante considerável, apresenta um defeito que altera a qualidade do produto de forma significativa;
2. Produto com um defeito que altera a qualidade do produto;
3. Produto com um desvio perceptível, apresenta um defeito que pode alterar a qualidade do produto;
4. Produto com um defeito mínimo, que não altera a qualidade do produto;
5. Produto conforme, sem defeitos.

4.4 Tratamento estatístico

O programa de tratamento estatístico usado o programa Excel do Microsoft® Office 2013. Foram realizados para cada análise dois ensaios e foi efetuado cada ensaio em triplicado, excetuando o teste de reologia que só se realizou um ensaio em duplicado e a análise sensorial; nestes dois testes foi usado como tratamento estatístico a média aritmética.

Em relação às outras análises foi calculada a média (μ) de cada ensaio e foi efetuado o teste t-student. As hipóteses formuladas foram:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Resultado do teste: unicaudal à esquerda (os valores de t e t crítico são negativos)	-t < -t crítico -> rejeitou-se H_0
	-t > -t crítico -> não se rejeitou H_0
Resultado do teste: unicaudal à direita	t > t crítico -> rejeitou-se H_0
	t < t crítico -> não se rejeitou H_0

Tabela 7: Resultado do teste t-student

Caso se confirme a hipótese nula foi efetuado a média aritmética dos seis resultados e o respetivo desvio padrão, caso não se confirme a hipótese nula os resultados de cada ensaio serão apresentados separadamente.

5. Resultados e Discussão

Nesta secção são apresentados os resultados experimentais obtidos neste projeto, sendo apresentados em 5 subsecções, a primeira a caracterização dos componentes mais importantes do soro para este trabalho; a segunda a comparação da consistência entre as diferentes misturas de estabilizantes usados neste projeto até à obtenção da mistura ideal; a terceira a caracterização físico-química e microbiológica do iogurte; a quarta os testes reológicos efetuados ao iogurte obtido; e, a quinta os resultados da prova organolética. Como base de comparação o iogurte utilizado foi o iogurte comercial natural açucarado cremoso da Danone®.

5.1. Composição do soro

O soro obtido no processo de produção do queijo de cabra foi caracterizado, determinando-se o pH, a densidade, o teor total de sólidos, a humidade, o teor em proteínas e a matéria inorgânica. Os resultados estão apresentados na Tabela 8, sendo importante essa caracterização de modo a verificar a composição nutricional do soro.

Tabela 8: Densidade, pH e composição do soro

Soro	
pH	6,4 ± 0,1
Densidade	1,1242 ± 0,0215 kg/L
Humidade	92,60 ± 0,50 %
Sólidos totais	7,40 ± 0,50 %
Cinzas	0,63 ± 0,10 %
Proteínas	0,85 ± 0,05 %
Lípidos e Hidratos de carbono	5,92 ± 0,56 %

Analisando a Tabela 8 é observado que o soro possui um pH de 6,4, o que indica que o soro é um soro doce, como seria esperado, pois a coagulação das caseínas é realizada através de um processo enzimático. Este valor indica que não ocorreu uma elevada acidificação, pois a descida

do pH em relação ao leite foi muito pequena, uma vez que o pH do leite de cabra após a pasteurização ronda os 6,7. A descida ligeira de pH deve-se ao facto de serem adicionadas culturas lácticas ao leite durante o processo de produção do queijo (Fox, et al., 2000).

A determinação deste parâmetro é fundamental, pois uma alteração acentuada deste parâmetro indica que ocorreu uma possível contaminação ou um crescimento microbiano assinalável. O crescimento microbiano no soro leva à redução do pH e alterações na composição, logo esta matéria-prima não possuirá as mesmas propriedades, sendo deste modo, o pH fundamental para o controlo da qualidade.

Em relação à densidade o valor obtido foi de 1,1242 kg/L. Este parâmetro permite perceber se a precipitação dos complexos de caseínas ocorreu de forma satisfatória. Comparando este valor com os valores determinados por outros autores como Moulin, et al. (1984) e Kosikowki (1979), contemplados na literatura, verifica-se que está de acordo com a densidade de um soro obtido através de precipitação enzimática.

As possíveis alterações do valor da densidade indicam que ocorreram alterações no processo de produção do queijo, sendo que o aumento da densidade está relacionado com uma diminuição do rendimento da coagulação e a diminuição da densidade com uma diminuição da lactose presente no soro (Fox, et al., 2000).

Da análise da Tabela 8, pode observar-se que o soro obtido considerando a quantidade de sódios totais possui 7,40 % e conseqüentemente 92,6 % de humidade. Devido à elevada quantidade de água presente, o soro é um produto facilmente deteriorável microbiologicamente, pois propicia um excelente meio para o crescimento microbiano. Sendo assim o soro como matéria-prima tem um período de aplicabilidade bastante reduzido, tal como já se referiu antes, sendo por isso necessária a sua conservação a frio ($\approx 5^{\circ}\text{C}$)

Através de uma comparação dos valores obtidos de sólidos totais e humidade com outros autores como Moulin, et al. (1984), onde foram obtidos valores 7,08 % relativamente aos sólidos totais e 92,82 % de humidade, no soro doce, constata-se que os valores são próximos e portanto o soro obtido em relação a estes parâmetros está dentro do esperado.

Cada soro possui uma constituição diferente, pois a sua composição está relacionada com o processo de produção do queijo que lhe deu origem, usualmente o teor de sólidos pode variar entre os 6 e os 8 % e o teor de humidade entre os 92 e 94%, logo os valores obtidos para a humidade e sólidos totais são valores razoáveis e aceitáveis para o soro (Kosikowki, 1979).

O teor de matéria inorgânica do soro foi de 0,63 %, sendo este o teor de matéria que não incinerou, que corresponde ao total dos sais presentes no soro, nomeadamente os iões cálcio, potássio, cloreto, magnésio, entre outros. A utilização do soro é bastante influenciada por este parâmetro, podendo este variar entre os 0,5 e os 0,8 %, sendo que para a utilização na alimentação é recomendável um teor o mais reduzido possível (Kosikowki, 1979) (Moulin, et al., 1984).

Assim verifica-se que o valor de cinzas obtido é ajustado ao soro, pois este encontra-se dentro dos valores esperados, por exemplo Moulin, et al. (1984) obteve uma percentagem de 0,53 %, logo a diferença não é assinalável, comparando o valor obtido por estes autores na literatura consultada.

A determinação do teor de proteínas do soro é fundamental para a utilização do soro na produção do iogurte, pois como foi referido anteriormente as proteínas presentes no soro possuem propriedades muito importantes, nomeadamente a capacidade de funcionarem como emulsionantes, gelificantes e a capacidade de retenção de água.

Este soro possui um teor de proteínas de 0,85 %, sendo que segundo alguns autores este valor normalmente encontra-se entre os 0,8 e 0,9 %, também Moulin, et al. (1984) obteve um valor de 0,89 %, assim constata-se que o teor de proteínas está dentro do previsto para o soro (Kosikowki, 1979).

Os lípidos e os hidratos de carbono representam 5,92 % do soro, tendo sido obtidos por um método indireto, através da diferença dos restantes constituintes determinados diretamente. É de salientar que os lípidos no soro representam uma quantidade muito pequena podendo esta variar entre os 0,04 e os 0,5% no máximo. Os hidratos de carbono são o principal constituinte do soro, sendo que o hidrato de carbono que está presente em maior quantidade é a lactose, normalmente a sua concentração é superior a 5 % nos soros obtidos por coagulação enzimática (Moulin, et al., 1984).

O valor obtido para este parâmetro é um valor perfeitamente ajustado ao soro, isto porque o soro foi obtido através de um processo de coagulação enzimática. Como o decréscimo do pH foi reduzido, é espetável que o valor de hidratos de carbono seja elevado, nomeadamente da lactose, por exemplo Moulin, et al. (1984) no soro doce obteve-se 5,2 % de lactose e 0,05 % de gordura.

5.2. Consistência das misturas testadas

De forma a obter um produto com uma consistência adequada foram testadas diferentes combinações de polissacarídeos. A consistência foi determinada através da medição da distância percorrida pelo produto no consistómetro de *Bostwick*, sendo esta comparada com a distância percorrida por um produto padrão, estas medições a uma temperatura entre os 22 e os 24 °C.

Os resultados do iogurte padrão e dos produzidos estão presentes na Tabela 9,

Tabela 9: Distância percorrida no consistómetro de Bostwick pelo iogurte padrão e pelas misturas produzidas

Produto iogurte	Pectina (%)	Goma xantana (%)	Goma guar (%)	Distância percorrida (cm)
1	0,43	0	0,21	13 ± 0,5
2	0,43	0,21	0	14 ± 0,5
3	0,43	0	0,43	11 ± 1
4	0,43	0,43	0	12 ± 0,5
5	0,64	0	0	5 ± 0,5
6	0,64	0,43	0	8 ± 0,5
6*	0,64	0,43	0	7 ± 0,5
7	0,85	0	0	2 ± 0,5
8	0,85	0,21	0	6 ± 0,5
Produto padrão - Danone Cremoso (natural açucarado)				7 ± 1

A produção de iogurtes com soro, sem adição de qualquer tipo de polissacarídeo origina um produto com uma qualidade não desejável, principalmente em termos texturais, pois o produto apresenta uma estrutura muito debilitada e com sinérese. Tal facto deve-se ao rácio de caseína/proteínas não ser o ideal, assim como também ao facto da quantidade de caseína e sólidos totais serem inferiores aos do leite normalmente usado na produção de iogurtes (Norton, et al., 2011).

* Neste produto foram adicionados 40 g açúcar.

Devido aos factores supracitados foram adicionados diferentes polissacarídeos que são habitualmente usados na produção de iogurtes (pectina, goma xantana e goma de guar). Foi possível observar que a pectina tem uma alteração muito considerável na retenção de água, resultando num produto bastante estável e com uma estrutura mais consistente. As gomas (xantana e guar) possuem a mesma capacidade da pectina, em termos de retenção de água, mas destacam-se na alteração da consistência do iogurte através da alteração das forças viscosas e elásticas, tornando o produto mais próximo do produto padrão. Observando essas alterações no aspeto dos iogurtes produzidos e através da análise da sua consistência, que está diretamente relacionada com a distância percorrida no consistómetro, valores possíveis de visualizar na Tabela 9 (Norton, et al., 2011).

Através destes dados observados na Tabela 9, constata-se que a adição da pectina resulta num produto com mais consistência e menos viscosidade, por isso quanto maior a quantidade deste polissacarídeo no iogurte menor será a distância percorrida no consistómetro pelos iogurtes produzidos.

A adição das gomas resultam no aumento da viscosidade, logo o produto tende a fluir mais no consistómetro em comparação com os iogurtes que são unicamente compostos pela pectina. Tal como descrito por diversos autores o ideal na formulação de um produto alimentar com uma consistência e viscosidade previamente definidas é conseguido através da combinação de diferentes polissacarídeos com propriedades diferentes (Norton, et al., 2011).

A utilização da goma xantana em detrimento da goma de guar foi uma decisão que se tomou devido a dois factores principais. Em primeiro à cor que o produto apresentava, pois os iogurtes com a adição da goma xantana apresentavam um produto com uma cor mais branca que a mistura com adição da goma de guar, que apresentava uma cor mais amarela. O segundo fator foram as alterações na consistência, pois para a mesma quantidade de goma adicionada ao produto, os iogurtes com a adição da goma xantana possuíam uma maior capacidade de fluir no consistómetro, sendo observável na Tabela 9 através dos resultados das amostras dos iogurtes 1 e 2 e 3 e 4.

Através da análise da Tabela 9 também pode-se constatar que as alterações nas distâncias percorridas pelos iogurtes não foi linear, apesar de ser possível retirar certas informações pertinentes. Como a capacidade da pectina em tornar um produto muito consistente e pouco viscoso, tal como era expectável. Que quanto maior a quantidade de pectina adicionada menor é

a distância percorrida pelos iogurtes e portanto maior será a sua coesão. Em relação à adição das gomas (xantana e guar) verifica-se que estes polissacarídeos permitem que o produto perca alguma consistência, mas essa perda é compensada com a viscosidade que o iogurte adquire, principalmente com a goma xantana.

Analisando a Tabela 9, verifica-se que a distância que produto padrão percorreu no consistômetro foi de 7 cm, sensivelmente a mesma que o iogurte 6 e 6*, sendo esta a formulação ideal obtida. Esta formulação é composta por 0,64 % de pectina e por 0,43 % de goma xantana.

5.3. Caracterização do iogurte

5.3.1. Ph e acidez titulável

Após a fermentação foi determinado o pH e a acidez titulável dos iogurtes produzidos, assim como ao fim de 30 dias. Os resultados observados encontram-se na Tabela 10

Tabela 10: pH e acidez titulável do iogurte

pH		Acidez Titulável (% ácido láctico)	
Ao fim da fermentação	Ao fim de 30 Dias	Ao fim da fermentação	Ao fim de 30 Dias
4,50 ± 0,05	4,40 ± 0,05	0,72 ± 0,02	0,74 ± 0,02

Após a análise de diversos autores verifica-se que não existe valor de pH ideal no fim da fermentação, sabe-se apenas que este deverá ser igual ou inferior a 4,5. Este parâmetro tem uma grande amplitude, podendo encontrando-se produtos com um intervalo de pH entre os 3,7 e 4,6. Segundo a maioria dos autores, o pH mais próximo do ideal deverá estar situado entre os 4,5 e os 4, pois não apresenta tantos defeitos a nível organolético, principalmente em termos de acidez e de sabor amargo (Tamime, et al., 2007).

Analisando o iogurte obtido verifica-se que o pH após a fermentação foi de 4,5 e ao fim de 30 dia de 4,4, encontrando-se ambos os valores dentro do intervalo mais próximo do ideal. Estes valores também respeitam a norma do *Codex Alimentarius* que prevê que o pH do iogurte deverá

ser igual ou inferior a 4,5 (World Health Organization e Food and Agriculture Organization of the United, 2011).

O pH no iogurte está relacionado com a atividade dos microrganismos vivos presentes no iogurte, as bactérias lácticas. Estas bactérias têm um crescimento sequencial, num pH mais elevado é favorecido o crescimento dos *Lactobacillus* e a num pH mais baixo prevalece o crescimento do género *Streptococcus* em relação ao *Lactobacillus* (Tamime, et al., 2007).

Durante o período de comercialização, que habitualmente se situa nos 30 dias é observado por muitos autores uma diminuição do pH. Este decréscimo está relacionado com a temperatura de armazenamento, principalmente com oscilações na temperatura durante o tempo de armazenamento nas superfícies comerciais (Martin, 2002). Estes autores relatam que o pH tende a diminuir com o aumento do tempo e da temperatura de armazenamento, sendo que a diminuição é mais acentuada nos primeiros 10 dias. A diminuição do pH é prejudicial para a qualidade do produto, portanto a temperatura de armazenamento deve se situar entre os 3 e os 5 °C de forma a não ocorrer alterações indesejáveis (Martin, 2002).

Analisando a diferença de pH após a fermentação e ao fim de 30 dias verifica-se uma ligeira diminuição de 0,1, o facto desta diferença ser muito reduzida indica que o produto não perdeu qualidade, nem sofreu alterações significativas. Esta pequena diferença também é registada por alguns autores, sendo que nesses trabalhos a temperatura se manteve constante a 4 °C. Neste trabalho como a temperatura de armazenamento se manteve constante e na temperatura recomendada (5 °C), era expectável que o produto não perdesse a qualidade e que a descida do pH fosse pequena, tal como sucedeu no iogurte produzido (Martin, 2002).

A acidez titulável é um parâmetro muito importante no iogurte, estando diretamente relacionado com o pH. A acidez está relacionada com o metabolismo dos microrganismos presentes, que convertem a lactose em ácido láctico, diminuindo assim o pH do meio. Este valor pode variar entre os 0,70 e os 1,25 %, em percentagem de ácido láctico, sendo que a acidez tal como o pH depende da temperatura e do tempo de armazenamento (Martin, 2002).

Segundo diversos autores, o valor ideal deste parâmetro situa-se entre os 0,7 e os 0,9 %, de forma a não constituir um problema em termos de qualidade, pois valores elevados de acidez resultam num produto ácido e não apreciado pelos consumidores (Tamime, et al., 2007).

A variação deste parâmetro com o período de comercialização é esperada. Sendo expectável que ocorra um ligeiro aumento, caso sejam cumpridos os pressupostos que permitem uma

conservação do produto sem perda da qualidade, essencialmente a manutenção da temperatura entre os 3 e os 5 °C. A acidez pode aumentar consideravelmente caso a temperatura de armazenamento seja superior a 8 °C, sendo que quanto maior a temperatura maior é a subida deste parâmetro, resultando numa menor aceitabilidade do produto (Tamime, et al., 2007).

Em relação ao produto obtido, a acidez obtida após a incubação foi de 0,72 % e ao fim dos 30 dias de 0,74 %. Assim este parâmetro encontra-se dentro do estabelecido pela literatura, tal facto era esperado pois a fermentação decorreu dentro dos parâmetros estabelecidos, em termos da quantidade de cultura adicionada, do tempo e da temperatura de fermentação, assim como as condições de armazenamento foram as recomendadas pela literatura consultada (Martin, 2002).

A acidez obtida no iogurte também cumpre as especificações do *Codex Alimentarius*, que impõe que a acidez do iogurte em percentagem de ácido láctico seja superior a 0,7 % (World Health Organization e Food and Agriculture Organization of the United, 2011).

Martin (2002) refere que a acidez mais recomendada para um iogurte é de 0,72 %, sendo esta acidez encontrada neste iogurte. A acidez manteve-se relativamente constante durante o período de armazenamento, apenas com uma subida mínima de 0,02 % ao fim de 30 dias, logo o iogurte não sofreu alterações significativas e relevantes ao longo dos 30 dias.

A acidez é um parâmetro importante no controlo da qualidade dos iogurtes, pois uma acidez elevada resulta na não-aceitação do produto por parte do consumidor. Uma acidez elevada também pode originar alterações no iogurte em termos nutritivos e permitir o crescimento de microrganismos tolerantes à acidez. Desta forma é necessário a manutenção das condições ideais à conservação do iogurte, nomeadamente da temperatura.

5.3.2. Composição nutricional do iogurte

Foi determinada a composição nutricional do iogurte, nomeadamente o seu conteúdo em sólidos totais, proteínas, lípidos, hidratos de carbono, entre outros, Tabela 11.

Tabela 11: Composição do iogurte

iogurte	
Humidade	78,57 ± 0,16 %
Sólidos totais	21,43 ± 0,16 %
Lípidos	1,03 ± 0,13 %
Outros sólidos (sólidos que não são lípidos)	20,26 ± 0,13 %
Sólidos solúveis	19,50 ± 0,05 ° Brix
Proteínas	2,78 ± 0,02 %
Hidratos de carbono	16,53 ± 0,16 %
Cinzas	1,07 ± 0,05 %

Analisando a tabela 11 verifica-se que o iogurte possui uma humidade de 78,57 % e uma quantidade de sólidos totais de 21,43 %. Os iogurtes comerciais possuem habitualmente um conteúdo de água entre os 75 e os 85%, e entre os 25% e 35% de sólidos totais, sendo que este valor depende muito do tipo de iogurte e do método de produção. Iogurtes magros tendem a possuir um conteúdo de água superior e os iogurtes calóricos, como o “grego” (elevado teor de gordura e de proteínas) possuem uma quantidade de sólidos totais superior. Assim verifica-se que os teores de sólidos totais e de humidade estão ajustados ao produto (Tamime, et al., 2007).

Medeiros, et al.(2011) no seu desenvolvimento de iogurtes obteve uma humidade de 78,8% e um teor de total sólidos de 21,2%, já Ayar, et al.(2006) obteve humidades de 81,18 % a 74,28 % e teores de sólidos totais entre os 18,82 % e 25,72 %. Soares, et al. (2011) no desenvolvimento de iogurtes a partir do soro (com 10 % de leite em pó) obteve um valor de 83,6 % para a humidade e um teor de sólidos totais de 16,4 %. O iogurte padrão, que foi usado como comparação possuía um total de sólidos de 21,5% e um conteúdo de água de 78,5 %.

Assim sendo, comparando os valores de humidade e sólidos totais com os valores obtidos por outros autores no desenvolvimento de novos iogurtes e com iogurtes comerciais, constata-se que os valores obtidos nestes parâmetros no iogurte produzido são valores muito próximos dos valores obtidos pelos diversos autores citados. Tanto o teor de humidade como o de sólidos totais são valores ajustados para este produto, realçando o facto de possuir uma composição

igual em termos de conteúdo em água e sólidos ao iogurte que se encontra no mercado e que serviu de comparação (humidade de 78,57 % e teor de sólidos totais de 21,43 %). Não existem valores na legislação ou *Codex Alimentarius* em relação a estes dois parâmetros físico-químicos (World Health Organization e Food and Agriculture Organization of the United, 2011; Ministérios da Agricultura e do Comércio e Turismo, 1992).

O facto do iogurte obtido neste projeto possuir um conteúdo de sólidos totais superior ao de Soares, et al. (2011) e consequentemente inferior de água deve-se à adição dos polissacarídeos ao iogurte.

Em relação ao conteúdo de lípidos ou gordura e dos outros sólidos, que não lípidos, o iogurte produzido possui 1,03 % e 20,26 %, respetivamente. De acordo com os regulamentos do *Codex Alimentarius* e da Portaria n.º 742/92 publicada em Diário da República, o iogurte deverá possuir um conteúdo de sólidos que não gordura superior a 8,25 % e o teor gordura deverá ser inferior a 15 %. Encontrando-se deste modo o iogurte produzido nos parâmetros exigidos (World Health Organization e Food and Agriculture Organization of the United, 2011; Ministérios da Agricultura e do Comércio e Turismo, 1992).

Segundo os mesmos documentos, o iogurte pode ser classificado de acordo com o seu conteúdo de lípidos. Se um iogurte possuir um conteúdo inferior a 0,5 % é considerado iogurte magro, entre 0,5 e os 2% de gordura, iogurte com reduzido teor de gordura, sendo que um iogurte regular deve possuir um conteúdo superior a 3% de lípidos. Neste sentido o iogurte produzido é um iogurte com um conteúdo de gordura que o permite chamar de iogurte com reduzido teor de gordura.

Medeiros, et al. (2011) nos iogurtes que desenvolveu obteve valores de 2% e Rodas, et al. (2001) entre os 1,88 e os 2,73% de lípidos, El Bakri, et al. (2009) valores na ordem dos 3% nos iogurtes regulares, já Soares, et al. (2011) no iogurte usando soro com a adição de 10% de leite em pó obteve 3,67% de lípidos. O iogurte usado como comparação possuía 3,41 % de gordura.

Assim verifica-se que o iogurte possui um valor mais reduzido de gordura que outros iogurtes, sendo deste modo aliciante para o mercado, pois é um produto com um teor reduzido de gordura, sendo que esse facto é apelativo para o consumidor pois a gordura possuiu uma conotação negativa para este e cada vez mais os consumidores estão preocupados com a sua saúde e aparência física.

Em relação ao conteúdo proteico o iogurte produzido possui 2,78 %, estando de acordo com os regulamentos quer do Codex *Alimentarius* e da Portaria n.º 742/92 publicada em Diário da República, que prescrevem que este alimento deverá possuir um teor superior a 2,7 %, sendo deste modo superior. O conteúdo de proteínas no iogurte pode variar entre os 2 e 15% (World Health Organization e Food and Agriculture Organization of the United, 2011; Ministérios da Agricultura e do Comércio e Turismo, 1992).

Rodas, et al. (2001) obteve teores de proteínas entre os 2,51 e os 3,40 %, Medeiros, et al. (2011) valores próximos dos 4,9 % e El Bakri, et al. (2009) nos iogurtes naturais, 3,85 % de proteínas. Segundo a literatura, os iogurtes naturais com menor teor de gordura também possuem um teor de proteínas inferior a pelo menos 1%, quando comparados a iogurtes com um conteúdo de gordura superior, sendo que iogurtes líquidos possuem um conteúdo de proteínas inferior aos restantes iogurtes (Chandan, 2006). Soares, et al. (2011) nos iogurtes usando soro com a adição de 8 % e 10 % de leite em pó obteve 2,89 % e 3,32 % de proteínas, respetivamente. O iogurte usado como comparação possuía 4,9 % de proteínas.

Comparando os resultados obtidos com estes apresentados verifica-se que o iogurte produzido possui um conteúdo em proteínas inferior aos restantes, mas tal facto era esperado pois na sua produção foi usado soro, ao contrário dos outros iogurtes onde foi usado leite, sendo que o soro possui uma quantidade de proteínas bastante inferior ao leite.

Se se equiparar o teor de proteínas com o teor de proteínas dos iogurtes elaborados com o soro (Soares, et al., 2011), verifica-se que diferença não é significativa.

Em relação aos teores de hidratos de carbono, sólidos solúveis totais e matéria inorgânica não existem valores na legislação restritivos, tendo sido obtido 16,53 % 19,50 ° Brix e 1,07%, respetivamente (World Health Organization e Food and Agriculture Organization of the United, 2011; Ministérios da Agricultura e do Comércio e Turismo, 1992).

Comparando o teor de cinzas com outros autores como Soares, et al. (2011) que obteve 0,99 % de matéria inorgânica no iogurte produzido a partir do soro com a adição de 10 % de leite em pó. Medeiros, et al., (2011), 0,98% de cinzas e com outros autores como Chandan, (2006) e Tamime, et al. (2007), verifica-se que o valor obtido é próximo dos valores alcançados por estes autores.

Em relação aos hidratos de carbono o iogurte usado como comparação possuía 13,7 % de hidratos de carbono, sendo que possui a mesma quantidade de açúcar adicionado que o iogurte

obtido (8,6 %). Habitualmente os iogurtes com adição de açúcares possuem 14% de hidratos de carbono. Soares, et al. (2011) no iogurte de soro com 10 % de leite em pó obteve 9,4 % de hidratos de carbono, já Rodas, et al. (2001) obteve 15 e 17% e Medeiros, et al. (2011) 13 e 17 % de hidratos de carbono. Comparando com os resultados obtidos, verifica-se que os resultados concordantes com os de Rodas, et al. (2001) e Medeiros, et al. (2011). Mas o valor obtido é substancialmente superior ao de Soares, et al. (2011), tal facto é devido à presença de polissacarídeos.

Em relação ao conteúdo de sólidos solúveis, o valor obtido (19,5° Brix) é perfeitamente ajustado e normal para este produto, pois os leites fermentados possuem valores entre os 13 e os 26 graus Brix, sendo que a maioria dos iogurtes açucarados possui valores médios de 19 ° Brix, sendo também este valor registado por alguns autores como Cavalcanti, et al. (2006) e Leles, et al. (2011).

Concluindo-se que o iogurte em termos de nutrição preenche todos os requisitos impostos pelas organizações anteriormente citadas, logo viabiliza a sua comercialização. Tendo um valor reduzido de proteínas e superior de hidratos de carbono quando comparado com alguns iogurtes comerciais, tal diferença era expectável dada a composição deste, pois a adição dos texturizares deve-se à carência de proteínas, nomeadamente da caseína, que é responsável pela estrutura gelificante do iogurte.

Em termos energéticos o iogurte produzido tem aproximadamente 362158,2 J, o que corresponde a 86,5 kcal por 100 gramas de produto, sendo que este tipo de produtos possui entre 76 a 118 kcal e o iogurte comercial usado como comparação possui 105 kcal, logo conclui-se que é um produto menos calórico.

5.3.3. Cor

A determinação da cor é um dos parâmetros mais importantes, pois é a primeira sensação que o consumidor tem do produto, encontrando-se na Tabela 12, a cor do iogurte medido em CIE L*a*b*.

Tabela 12: Cor do iogurte medido em CIE L*a*b*

Cor (CIE L*a*b*)	
L*	79,34 ± 0,67
a*	- 2,79 ± 0,03
b*	5,91 ± 0,17

Através da Tabela 12 constata-se que o iogurte possuiu um valor L* de 79,34, este parâmetro diz respeito ao brilho ou luminescência, podendo variar entre os 0 e os 100. Os parâmetros a* e b* obtidos foram de -2,79 e de 5,91, respetivamente. Estas duas variáveis são componentes de cor, o a* diz respeito à distância entre o verde e vermelho e o b* à distância entre o azul e amarelo, variando entre os -120 e 120 (Landge, 2009).

Assim verifica-se que em relação à cor o alimento está na zona do verde pois o a* é negativo e na zona do amarelo pois o b* é positivo, apesar de ao olho aparentar uma cor muito próxima do branco, tal deve-se ao facto de ambos os valores estarem próximos do 0, onde se encontra a cor branca (Landge, 2009).

Estas variáveis são parâmetros internacionais na medição de cor, sendo habitualmente medidas em produtos alimentares, como é o caso do iogurte, sendo assim apresenta-se alguns valores destas variáveis em vários iogurtes obtidos por diversos autores, como Cueva, et al. (2007) que obteve valores médios de 93,5, de -1,5 e de 13; Hashim, et al. (2009), 95,5, -0,8 e 9,1; Vasconcelos, et al. (2012) 76,03, 1,3 e 14,37; Tarakçi (2010) 87,55, -2,16 e 9,29; Tarakçi, et al. (2013) 87,82, -4,66 e 9 nas variáveis L*, a* e b*, respetivamente. Hashim, et al. (2009) verificou que a adição de fibras resulta principalmente numa diminuição da luminescência, L*, para os 85, 80, 75, consoante a quantidade de fibras adicionadas, quanto mais fibras adicionadas menor é o valor obtido de L*.

Comparando os valores dos autores anteriormente citados com os obtidos, verifica-se que os valores de a* e b* são muito próximos já o valor L* é mais reduzido em relação à maioria dos autores sendo apenas próximo dos valores de Vasconcelos, et al. (2012) e Hashim, et al. (2009) nos iogurtes com maiores quantidades de fibras.

O valor mais reduzido do brilho ou L* deve-se à adição dos polissacarídeos, cuja adição resulta numa cor menos brilhante, logo mais distante do brilho padrão do iogurte, sendo que a

olho nu essa diferença não é muito perceptiva, podendo ser observado na Figura 6 o iogurte obtido, mas constatada com o recurso a equipamento através da diferença dos valores obtidos de L^* .



Figura 6: Imagem do iogurte obtido

5.3.4 Microbiologia do iogurte

Para além da determinação das propriedades químicas e físicas do iogurte a análise microbiológica é necessária ao produto final, devido à existência de microrganismos vivos neste produto alimentar, assim o resultado da contagem total dos microrganismos existentes no iogurte está representado na Tabela 13.

Contagem de microrganismos psicrófilos	0 UFC/g
Contagem total de microrganismos	$1,43 \pm 0,10 \times 10^7$ UFC/g

Tabela 13: Contagem microbiológica do iogurte

Analisando a Tabela 13 verifica-se que o iogurte produzido tem $1,43 \times 10^7$ unidades formadoras de colónias (UFC) por grama de produto, estando este valor dentro dos regulamentos do *Codex Alimentarius*, e com da Portaria n.º 742/92 publicada em Diário da República, que afirmam que o produto deverá possuir mais de 1×10^7 bactérias lácticas por grama de produto (World Health Organization e Food and Agriculture Organization of the United, 2011; Ministérios da Agricultura e do Comércio e Turismo, 1992).

Observando os resultados de autores como Cueva, et al. (2007), Al-Kadamany, et al. (2003), Tamime, et al. (2007), Rodrigues, et al. (2010) e Ahmad, et al. (2013), verifica-se que o valor de total de bactérias total presentes no iogurte varia normalmente entre os $1-10 \times 10^7$ UFC/g, encontrando-se deste modo dentro destes valores, apesar disso o valor é relativamente baixo, mas está dentro do limite estabelecido, tal facto era esperado pois o total de microrganismos está relacionado com os valores de pH e acidez, quanto menor o pH e maior a acidez, maior é a quantidade de bactérias presentes.

Como os parâmetros da acidez titulável e do pH estão dentro dos limites estabelecidos, mas tanto um como outro não se encontram muito distantes dos limites, o pH 4,5 e a acidez titulável 0,72 %, sendo os limites 4,5 e 0,7% para o pH e acidez, respetivamente, assim o total de bactérias lácteas presentes não poderá ser demasiado elevado, tal como acontece.

A presença das bactérias lácteas é necessária de forma a obter a acidez e o pH característico do iogurte, mas também o desenvolvimento do sabor característico do iogurte, que é conseguido através do trabalho simbiótico das bactérias adicionadas. Sendo que quanto menor a população menos característico é o sabor do iogurte. Uma população excessiva de bactérias resulta em defeitos, como uma acidificação excessiva, sinérese mais acentuada, disfarce de outros sabores e formação de fungos resultantes de uma produção contínua de ácido láctico durante o armazenamento, mesmo a baixas temperaturas.

Em relação aos microrganismos psicrófilos verifica-se que o seu conteúdo é nulo no iogurte, sendo que estas bactérias apenas se desenvolvem a baixas temperaturas e quando existe uma contaminação prévia.

Assim conclui-se que em termos microbiológicos o produto está dentro dos parâmetros exigidos. É que desde que a temperatura de armazenamento seja controlada, o produto não deverá apresentar defeitos característicos de uma população microbiana desmedida, salvaguardando que para a comercialização é necessária a pesquisa de coliformes, devendo esta ser nula, desde que sejam respeitadas as regras fundamentais de higiene e segurança alimentar. Outra determinação que poderá ser realizada em vez da determinação do total de microrganismos é a quantificação individual das espécies de bactérias adicionadas, nomeadamente a *S. thermophilus* e a *Lb. bulgaricus*, sendo que a soma destas deverá ser superior ao limite imposto por lei e a proporção o mais próxima possível de um para um.

5.4 Reologia do iogurte

Foram realizados testes ao iogurte produzido sendo analisadas duas amostras e o iogurte comercial.

As curvas de escoamento apresentam a deformação do iogurte quando sujeito a diferentes taxas de tensão de corte, Figura 7.

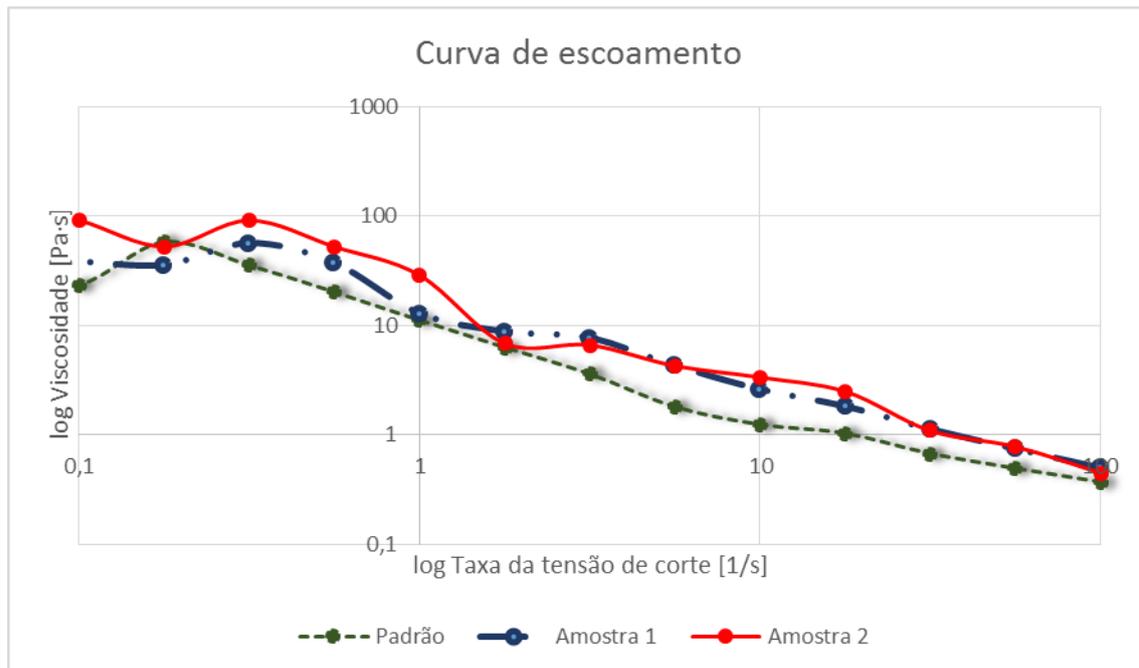


Figura 7: Curva de escoamento do iogurte

A Figura 7 descreve o comportamento do iogurte, nomeadamente a alteração da viscosidade à aplicação de taxas de tensão de corte sucessivamente superiores. Observa-se na Figura 7, entre os 0,1 e aproximadamente 0,5 Hz, claramente uma região onde o iogurte apresenta um comportamento pseudoelástico, sendo esse intervalo um patamar newtoniano, pois o iogurte comporta-se como fluido newtoniano onde a viscosidade é quase constante, pois a tensão de corte aplicada não é suficiente para ocorrer alterações na viscosidade do iogurte.

Na Figura 7 não foi apresentado no gráfico o intervalo entre os 0,01 e os 0,1 Hz, porque nesse intervalo não era permitido retirar nenhuma conclusão, pois a tensão de corte era muito reduzida e insuficiente para alterar a viscosidade do iogurte.

Apesar de ser visível uma oscilação entre os 0,1 e 0,5 Hz, essa oscilação é natural, porque é a resposta do iogurte às tensões de corte aplicadas, mas a viscosidade média do alimento manteve-se relativamente constante não havendo grandes alterações, sendo essas variações mínimas e a viscosidade média é a aproximadamente constante.

Após esse patamar newtoniano existe uma descida acentuada da viscosidade, onde foram determinadas as constantes do modelo de Herschel-Bulkley, porque é o modelo mais recomendado para o iogurte, Tabela 14. As curvas de ajuste do modelo encontram-se em anexo (Anexo 2).

Este comportamento é comum para fluidos não newtonianos como o iogurte, a existência de um período onde não existe variação da viscosidade seguindo de uma diminuição acentuada em função da taxa de tensão de corte, sendo também registado por diversos autores como Fangary, et al. (1999).

Tabela 14: Constantes do modelo de Herschel-Bulkley para o iogurte

	τ_0 (Pa)	K (Pa s ⁿ)	n (-)	R ²
iogurte Padrão	1	8,5638	0,730	0,9732
	10	4,5540	0,549	0,9899
Amostra 1	1	25,171	0,879	0,9927
	10	18,461	0,789	0,9994
Amostra 2	1	18,3110	0,791	0,9531
	10	28,3050	0,902	0,9813

Este modelo é baseado na extrapolação do valor de τ_0 , valor aparente do limite de elasticidade observado, sendo que para diferentes τ_0 , as restantes constantes (k e n) variaram em função deste.

Fangary, et al. (1999) obteve para o iogurte valores de 14,84; 8,15 e 6,06 Pa para a constante do valor do limite da elasticidade; 13,39; 8,57 e 9,47 Pa sⁿ para a constante K e 0,46; 0,34 e 0,33 para a constante n. Sanz, et al. (2008) em diferentes iogurtes com fibras obteve valores entre 7,79 e 11,05 Pa para a constante τ_0 , 2,35 e 5,02 Pa sⁿ para k e 0,79 e 0,83 para n. Mullineux, et al. obteve valores entre 26,21 e 4,10 Pa sⁿ para k e 0,119 e 0,33 para n em função da variação da constante τ_0 entre 0 e 25 Pa. Golçalvez, et al. (2005) em iogurtes com a

adição de gelatina e amido obteve valores entre 1,7 e 10,1 para τ_0 ; entre 0,51 e 0,87 para n e entre 0,27 e 6,44 para k .

Comparando os resultados obtidos das amostras com o iogurte padrão através da análise da Tabela 14 e Figura 7, verificam-se diferenças. Sendo que as diferenças entre as amostras são reduzidas, mas consideráveis entre as amostras e o iogurte padrão.

Em relação às constantes do modelo de Herschel-Bulkley, os resultados do iogurte padrão são muito próximos aos valores obtidos pelos autores acima citados, já os resultados obtidos para o iogurte produzido estão mais distantes.

Tal facto é natural dada a composição do iogurte obtido, pois os polissacáridos adicionados alteram a reologia do produto e não têm as mesmas propriedades que as proteínas presentes. Aliás os valores obtidos estão próximos dos de Golçalvez, et al. (2005) onde houve também a adição de polissacáridos.

A constante de n deste modelo é um parâmetro muito importante no iogurte, pois define o escoamento do produto sendo que quanto mais próximo estiver de 1 mais consistente é o produto e quando mais próximo de 0 mais elástico este é. Assim conclui-se que a adição dos polissacáridos torna o iogurte mais consistente em comparação com o iogurte comercial, também observado pela constante k , que define a consistência, estando estes resultados de acordo com os de Golçalvez, et al. (2005) e de Koksoy, et al. (2004).

O teste oscilatório apresenta a contribuição das forças elásticas e viscosas no iogurte, sendo observáveis na Figura 8.

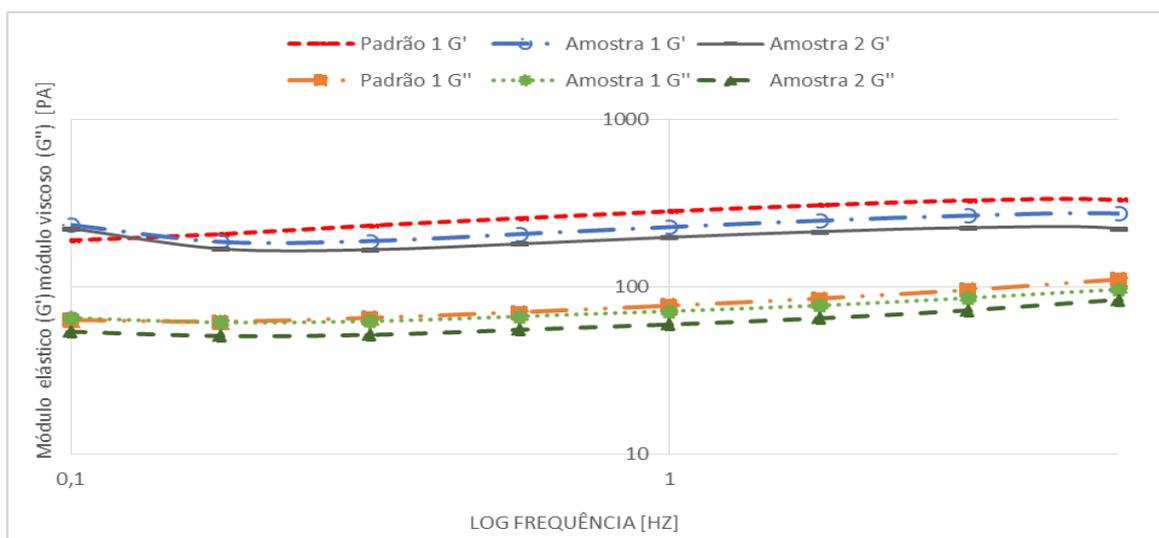


Figura 8: Teste oscilatório

Analisando a Figura 8 verifica-se que o módulo elástico (G') é sempre superior ao módulo viscoso (G''), tal ocorrência é esperada no iogurte e vai de encontro com a literatura, pois um gel como o iogurte tem o domínio das forças elásticas em relação às viscosas, logo G' é maior ao G'' (Rao, 1999) (Sanz, et al., 2008).

Estes resultados também vão de encontro com os anteriores pois existem diferenças entre o iogurte padrão e as amostras, sendo que o iogurte padrão possui o módulo elástico maior, como este parâmetro é referente ao contributo das forças elásticas, conclui-se que o iogurte padrão possui mais forças elásticas que o produzido, sendo este mais consistente.

Também se verifica que não existe uma grande variação nas curvas do módulo elástico e nas curvas do módulo viscoso, tendo sido obtidas retas com pouco declive. Ocorrência que vai de encontro com o esperado, pois nas frequências entre os 0,1 e 10 Hz, não existe uma destruição irreversível do produto, que resulta na quebra da sua estrutura (Landge, 2009), sendo visível também na Tabela 15, onde $\tan \delta$ sofre pouca variação nas frequências 0,1 e 1 Hz.

Tabela 15: $\tan \delta$ do iogurte às frequências de 0,1 e 1 Hz

	0,1 Hz	1 Hz
iogurte padrão	2,86	2,98
Amostra 1	3,41	3,28
Amostra 2	3,46	3,31

Como é possível observar na Tabela 15, estes resultados vão de encontro com as conclusões retiradas ao logo desta análise reológica. Onde se verificou a existência de uma diferença entre o iogurte padrão e as amostras, pois os valores de $\tan \delta$ são superiores no iogurte produzido que no iogurte padrão. Sendo pequena a diferença entre as amostras, pois foram obtidos pelo mesmo método. Os resultados de $\tan \delta$ estão de acordo com os resultados obtidos com Landge (2009), que obteve 3,73 para uma frequência de 0,1 Hz.

5.5 Prova organolética

Os resultados da prova organolética, de 0 a 5, encontram-se apresentados nas figuras abaixo. Sendo que a Figura 9 corresponde à apreciação global dos atributos: aparência, corpo/textura e sabor, a Figura 10 à avaliação da contribuição de defeitos particulares da aparência: cor, granulação, separação de fases e crescimento à superfície. A Figura 11 à avaliação da contribuição de defeitos particulares do corpo/textura: gel, consistência, separação de fases, viscosidade e granulação e a Figura 12 à avaliação da contribuição de defeitos particulares do sabor: acidez, sabor natural, doçura, aroma e frescura.

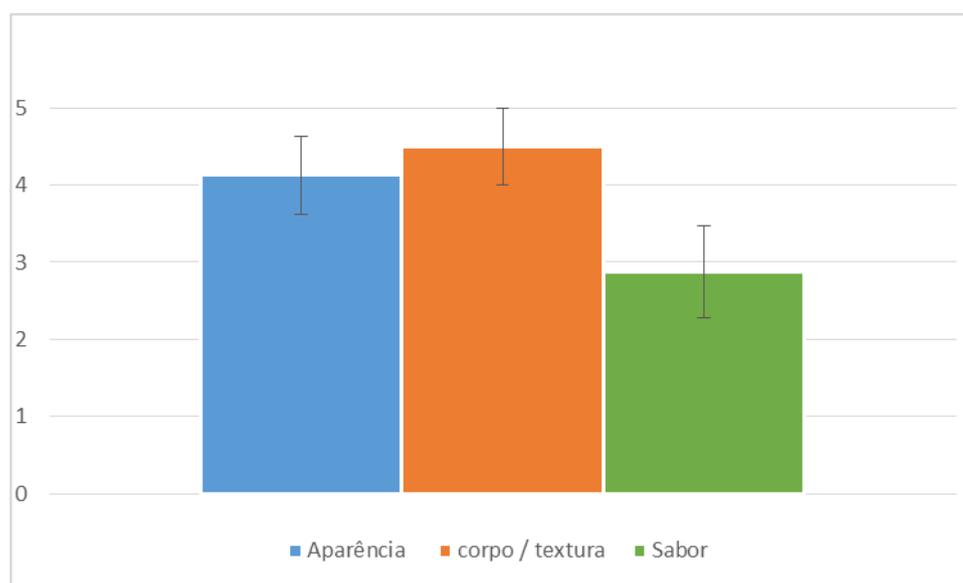


Figura 9: Apreciação global dos atributos no iogurte

Analisando a Figura 9 verifica-se que o produto teve uma apreciação muito boa em relação à aparência e ao corpo/textura, sendo que a avaliação do sabor não foi muito positiva.

Este gráfico permite concluir que existe viabilidade na comercialização deste produto, desde que seja retificado o sabor, sendo que uma melhoria neste parâmetro resultaria num produto com maior qualidade e melhor aceitação.

A retificação do sabor passaria pela adição de um aroma a fruta, sendo mais aconselhável os aromas de fruta mais vendidos, como morango ou baunilha, as outras alternativas são a adição de frutas, a alteração da concentração do açúcar e a alteração do edulcorante.

Apesar do soro possuir uma reduzidíssima aceitação, este produto criado a partir do soro teve alguma aceitação, sendo que o ponto mais forte deste produto é a sua composição nutricional.

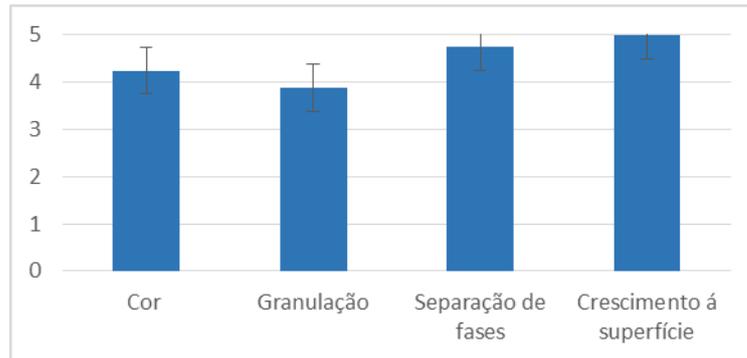


Figura 10: Avaliação da contribuição de defeitos particulares da aparência

A aparência é a primeira sensação que o consumidor se apercebe, sendo que o iogurte deve apresentar uma aspeto limpo, cor branca, natural, suavidade, brilho e deve ser apelativo. Pela análise da Figura 10, verifica-se que o iogurte apresenta uma avaliação muito boa, sendo excelente no crescimento à superfície e na separação de fases. O aspeto menos bom foi a granulação sendo que pode ser resolvido com uma melhor homogeneização.

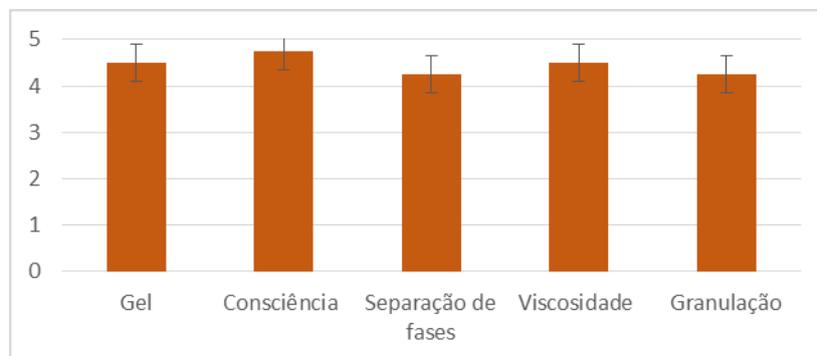


Figura 11: Avaliação da contribuição de defeitos particulares do corpo/textura

Em relação à textura, o iogurte deve apresentar um gel firme, suave, homogéneo e sem separação de fases. Observando a Figura 11 constata-se que o iogurte não apresenta defeitos nesta avaliação, sendo a classificação em todos os parâmetros muito boa.

O parâmetro com melhor avaliação foi a consistência e o pior foi a granulação, que pode ser facilmente resolvido com uma melhor homogeneização.

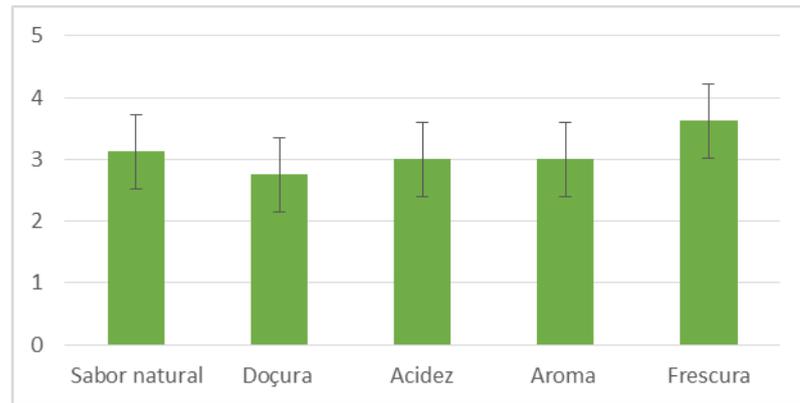


Figura 12: avaliação da contribuição de defeitos particulares do sabor

O sabor esperado no iogurte é um sabor agradável, suave e ligeiramente ácido, analisando a Figura 12, verifica-se que a classificação não foi muito positiva, sendo que os principais defeitos assinaláveis são a doçura, a acidez e o aroma.

As razões para a falta de qualidade em termos de sabor poderá ser devido ao uso do soro, que tem um paladar desagradável, os próprios polissacáridos podem influenciar o sabor, como também o uso do leite de cabra e o facto de não possuir nenhum aroma a fruta, pois o mercado é dominado por este tipo de produtos.

Assim como anteriormente mencionado este parâmetro deverá ser melhorado para a comercialização do produto, através sobretudo da incorporação de aromas a frutas.

6. Conclusão

Após a realização deste trabalho conclui-se que os objetivos foram alcançados com sucesso, realçando o facto de se conseguir criar um iogurte usando o soro e que tem as mesmas características que um iogurte regular, preenchendo todos os requisitos vigentes na legislação.

Para a criação de um iogurte com a mesma consistência que um iogurte comercial usando o soro na sua constituição foram realizados diferentes testes e experiências, sendo testadas diferentes combinações de polissacarídeos.

A combinação ideal alcançada foi com 10 % de leite em pó e 0,64 % de pectina e 0,43 % de goma xantana, sendo que são um dos texturizantes mais usados para retificar a textura do iogurte. Alcançando deste modo a mesma consistência que um iogurte comercial, usando este como comparação.

O iogurte foi sujeito a uma série de testes de forma a apurar se preenche todos os requisitos impostos pelas organizações, nomeadamente o teor de proteínas, de sólidos que não a gordura, de lípidos, o valor de pH da acidez titulável, o total de microrganismos entre outros, sendo que preencheu todos estes requisitos.

O produto criado neste projeto possui uma excelente composição nutricional, apesar de possuir um menor teor de proteínas e um maior teor de hidratos de carbono que os iogurtes comerciais, devido à presença dos texturizantes e do uso do soro. É um iogurte com pouco teor de gordura e não muito calórico quando comparado com alguns iogurtes comerciais.

Este iogurte conservou as suas características durante pelo menos durante 30 dias, pois não ocorreram alterações consideráveis de pH, nem de acidez titulável.

Em relação à cor do iogurte, os polissacarídeos interferiram no brilho deste, possuindo assim brilho menor.

A análise reológica do iogurte demonstrou que existe uma diferença entre o iogurte produzido e os iogurtes comerciais devido à presença dos polissacarídeos. Essa diferença não é muito acentuada, mas registou-se que o iogurte produzido tem mais consistência e menos viscosidade que os iogurtes comerciais.

Apesar dessa diferença o iogurte possuiu os mesmos comportamentos que iogurte regular, sendo comportamentos típicos de um gel como o iogurte.

A análise organolética demonstrou que existiu uma falha em termos de sabor, de realçar que em relação aos outros componentes sensoriais, aparência e textura, o produto obteve avaliação positiva, sendo necessária uma correção a neste aspeto através da adição de um aroma.

O aproveitamento do soro, que possui uma apreciação negativa e aproveitá-lo para criação de um produto apelativo, com capacidade comercial, qualidade e nutricionalmente muito rico.

Bibliografia

3A Business Consulting (2009). *Affertsholt Tage International Whey Market Overview: 2009 ADPI/ABI Annual Conference ADPI*, consultado em 3 de Setembro de 2013, disponível em <http://www.adpi.org/Portals/0/PDF/09Conference/TAGEAFFERTSHOLT.pdf>.

Ahmad I.; Gulzar, M.; Shahzad, F.; Yaqub, M; Zhoot, T. (2013). Quality assessment of yoghurt produced at large (industrial) and small scale. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, Vol. 23.

Al-Kadamany, E.; Khattar, M.; Haddad, T.; Toufeili, I. (2003). Estimation of shelf-life of concentrated yogurt by monitoring selected microbiological and physicochemical changes during storage. *Swiss Society of Food Science and Technology*, Vol. 36.

AOAC International (1945). AOAC Official Methods 945.46. *AOAC Official Methods of Analysis*.

AOAC International (1993). AOAC Official Methods 990.20. *AOAC Official Methods of Analysis*.

AOAC International (1994). AOAC Official Method 991.20. *AOAC Official Methods of Analysis*.

Ayar, Ahmet (2006). Physical, chemical, nutritional and organoleptic characteristics of fruit added yogurts. *Journal of food technology*, Vol. 4.

Bylund, Gösta (2003). *Dairy Processing Handbook*. Lund : Tetra Pak Processing Systems.

Cavalcanti, A.; Oliveira, K.; Paiva, P. (2006). Determination of total soluble solids contents (°BRIX) and pH in milk drinks and industrialized fruits juices. *Pesquisa brasileira em odontopediatria e clínica integrada*.

Chandan, Ramesh; Kilara, Arun (2011). *Dairy Ingredients for Food Processing*. Ames : Blackwell Publishing Ltd.

Chandan, Ramesh (2006). *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. Ames: Blackwell Publishing Professional.

CSC Scientific Company Inc. (2013). *CSC Scientific Company Inc Bostwick Consistometer*, consultado em 8 de Setembro de 2013, disponível em <http://www.cscscientific.com/consistometer/bostwick-consistometer/>.

Cueva, Olga; Aryana, Kayanush J. (2007). Quality attributes of a heart healthy yogurt . *Swiss Society of Food Science and Technology*.

Dourado, Fernando; Abrunhosa, Luís (2010). *Laboratório de Tecnologia Alimentar: Trabalhos práticos* . Braga : Universidade do Minho.

Downes, Frances Pouch (2001). *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods* . Washington : American Public Health Association.

El Bakri, J. M.; El Zubeir, I. E. M. (2009). Chemical and microbiological evaluation of plain and fruit yoghurt in khartoum state. *International Journal of dairy science* , Vol. 4.

- Fangary, Y. S.; Barigou, M. (1999). Simulation of yoghurt flow and prediction of its end-of-process properties using rheological measurements . *Trans IChemE*, Vol. 17.
- Fox, Patrick F.; Guinee, T.; Cogan, T.; McSweeney, P. (2000). *Fundamentals of Cheese Science* . Gaithersburg : Aspen Publishers.
- Golçalvez, D.; Perez, C.; Reolon G.; Sgura, N. (2005). Affect of the thickener on the texture of stirred yogurt . *Alim. Nutr.* , Vol. 16.
- Hashim, I. B.; Khalil, A. H.; Afifiv, H. S. (2009). Quality characteristics and consumer acceptance of yogurt fortified with date fiber . *Journal of Dairy Science*, Vol. 92 .
- Hui, Y. (2006). *Food Biochemistry and Food Processing* . Ames : Blackwell Publishing.
- Instituto Nacional de Estatística (2011) . *I.P. Estatísticas Agrícolas 2010* . Lisboa : INE, I.P..
- Jelen P. (1992). Whey cheeses and beverages . *Elsevier Applied Science*.
- Koksoy, Aysel; Kilic, Meral (2004). Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. *Food Hydrocolloids*, Vol. 18.
- Kosikowki, F. (1979). Whey utilization and whey products. *Journal of Dairy Science*, 62, 1149-1160.
- Landge, V. L. (2009). *Quality of yogurt supplemented with whey protein concentrate and effects of whey protein denaturation*. Manhattan : Kansas State University.
- Leles, S.; Ribeiro, J.; Sarmento, H.; Dantes, R. (2011). *Determinação de pH e sólidos solúveis totais em bebidas de consumo infantil*. CIC 20 anos.
- Malkin, Aleksandr Y. (1994). *Rheology fundamentals*. Toronto : ChemTec Publishing.
- Martin, Adriana F. (2002). *Armazenamento do iogurte comercial e o efeito na proporção das bactérias lácticas*. Picacicaba : Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,.
- Mathur, B. N.; Shahani K. M. (1979). Use of Total Whey Constituents for Human Food. *Journal of Dairy Science*, 62, 99-105.
- Medeiros, T. C. Mouro, A.; Araújo, K.; Alquirol, L. (2011). Elaboração de iogurte de jaca: Avaliação físico-química, microbiológica e sensorial . *SCIENTIA PLENA*, Vol. 7.
- Ministério da Agricultura (2003). *Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e seus ingredientes: Métodos físicos e químicos* . Brasília : Ministério da Agricultura.
- Ministérios da Agricultura e do Comércio e Turismo (1992). *Ministérios da Agricultura e do Comércio e Turismo Portaria n.º 742/92* . Lisboa : Diário da República n.º 169.
- Mizubuti, I. (1994). Soro de leite: Composição, Processamento e utilização na alimentação. *Revista Semina: Ciências Agrárias*, Vol. 15.
- Moulin, G.; Galzy, P. (1984). Whey, a potential substrate for biotechnology. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, Vol. 1.

- Mullineux, G. ;Simmons, M. [s.i.]. *Influence of rheological model on the processing of yoghurt*.
- Neves, Lúcia (2005). *Protocolo da Extração de Gordura Soxtec System HT2*. Braga : Laboratórios de Tecnologia Ambiental, Mestrado e Curso de Especialização em Tecnologia do Ambiente.
- Norton, Ian T., Spyropoulos, Fotios e Cox, Philip *Practical Food Rheology* [Livro]. - Oxford : Blackwell Publishing Ltd, 2011.
- Rao, M. (1999). *Anandha Rheology of Fluid and Semi solid Foods Principles and Applications*. Gaithersburg : Aspen Publishers.
- Rodas, M.; Rofrigues, R.; Sakuno, H. (2001). Caracterização físico-química, histológica e viabilidade de bactérias lácticas em iogurtes com frutas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 21.
- Rodrigues, L. A.; Ortolani, M. B. T.; Nero, L. A. (2010). Microbiological quality of yoghurt commercialized in Viçosa. *African Journal of Microbiology Research*, Vol. 4.
- Rodrigues, L. (2001). *Valorização da fracção proteica do soro de queijo*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Biológica, Braga.
- Sanz, T.; Salvador, A.; Jimenez, A. (2008). Yogurt enrichment with functional asparagus fibre. Effect of fibre extraction method on rheological properties, colour, and sensory acceptance. *Eur. Food Res. Technol.*
- Schmidt, K. A.; Herald, T. J.; Khatib, K. A. (2001). Modified wheat starches used as stabilizers. *Journal of Food Quality* , 24.
- Soares, D. S.; Fai, A.; Oliveira, A.; Piris, E. (2011). The use of cheese whey for probiotic yogurt production. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Vol. 63.
- Tamime, A. Y.; Robinson, R. K. (2007). *Tamime and Robinson's Yoghurt: Science and technology*. Abington Hall : Woodhead Publishing Limited.
- Tarakci, Zekai (2013). Influence of yogurt adding on physicochemical and sensorial properties of some lettuce types. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, Vol. 11.
- Tarakçi, Zekai; Tenz, H.; Dag, B. (2010). *Influence of Kiwi Marmalade on the Rheology Characteristics, Color Values and Sensorial Acceptability of Fruit Yogurt* . Ordu : Kafkas Univ Vet Fak Derg, Vol. 16.
- Vasconcelos, C.; Minim, V.; Chaves, José B. (2012). Low-calorie yogurt added with yacon flour: development and physicochemical evaluation. *Rev Chil Nutr*, Vol. 39.
- Wehr, H. Michael; Frank, Joseph F. (2004). *Standard Methods for the Examination of Dairy Products*. Washington : American Public Health Association.
- Wit, J. (2001). *Lecture's Handbook on Whey and Whey products*. Brussels: European Whey Products Association.

FAO ; WHO (2011). *World Health Organization e Food and Agriculture Organization of the United Codex standard for fermented milks (CODEX STAN 243-2003)*. Milk and milk products. Rome : FAO and WHO,

Yildiz, Fatih (2010). *Development and manufacture of yogurt and other functional dairy products*. Boca Raton : Taylor and Francis Group, LLC.

Anexo 1 – Ficha da prova organolética

	Defeito	Classificação
Aparência	Cor	
	Granulação	
	Separação de fases	
	Crescimento á superfície	
	Global	
<hr/>		
	Defeito	Classificação
Corpo / textura	Gel	
	Consistência	
	Separação de fases	
	Viscosidade	
	Granulação	
	Global	
<hr/>		
	Defeito	Classificação
Sabor	Acidez	
	Sabor natural	
	Doçura	
	Aroma	
	Frescura	
	Global	

Figura 13:Ficha da prova organolética

Anexo 2- Curvas de ajuste do modelo de *Herschel-Bulkley*

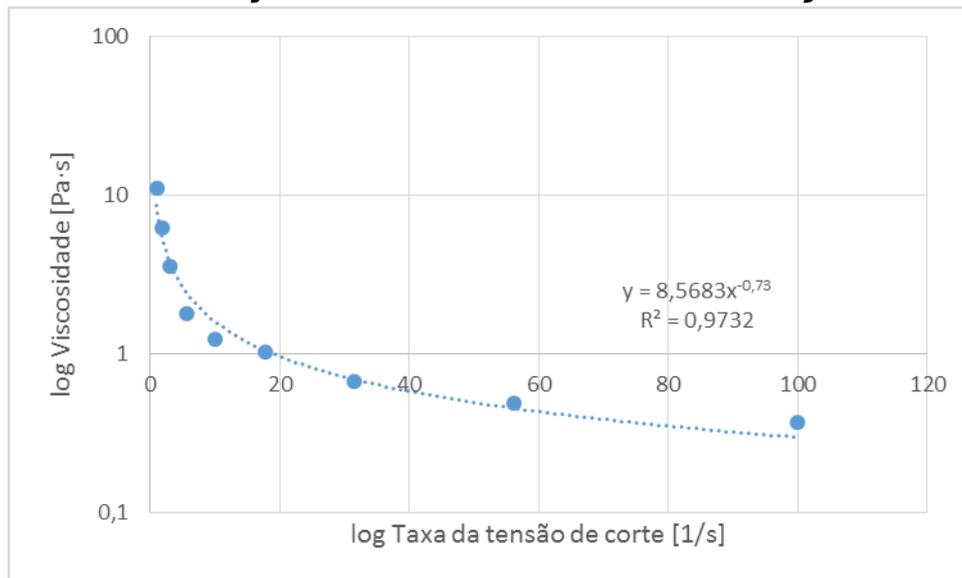


Figura 14: Curva de ajuste do Modelo de Herschel-Bulkley, para o valor 1 Pa aparente de limite de elasticidade, iogurte padrão

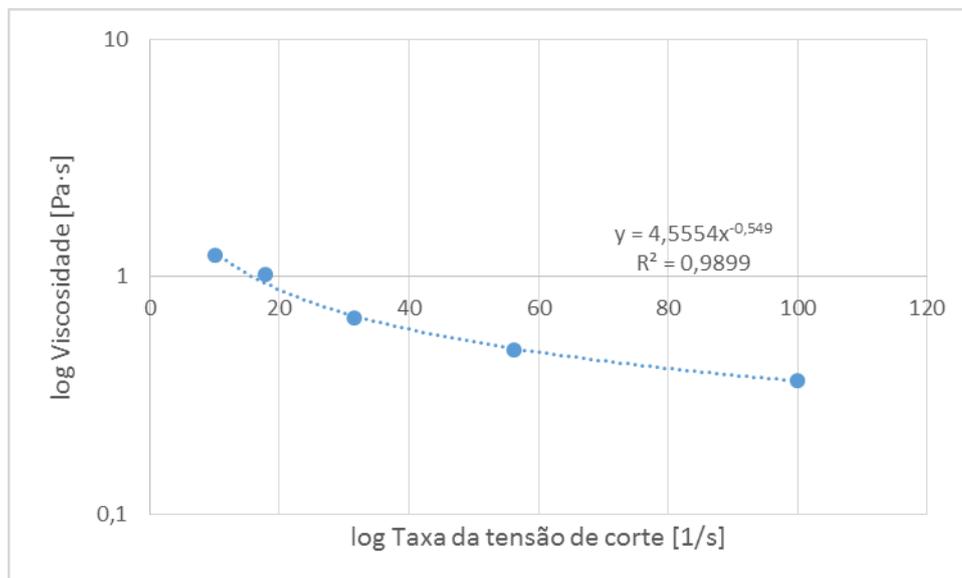


Figura 15: Curva de ajuste do Modelo de Herschel-Bulkley, para o valor 10 Pa aparente de limite de elasticidade, iogurte padrão

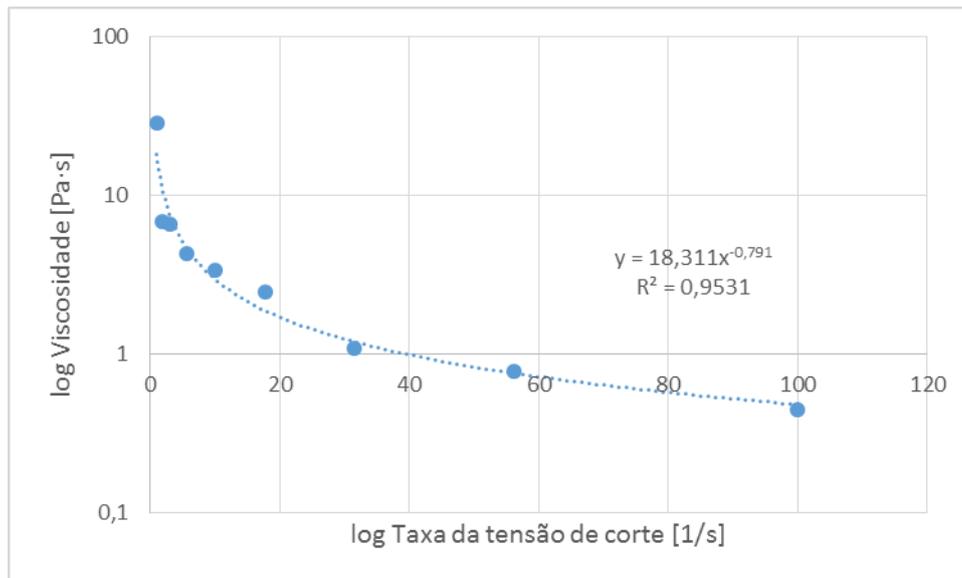


Figura 16: Curva de ajuste do Modelo de Herschel-Bulkley, para o valor 1 Pa aparente de limite de elasticidade, amostra 1

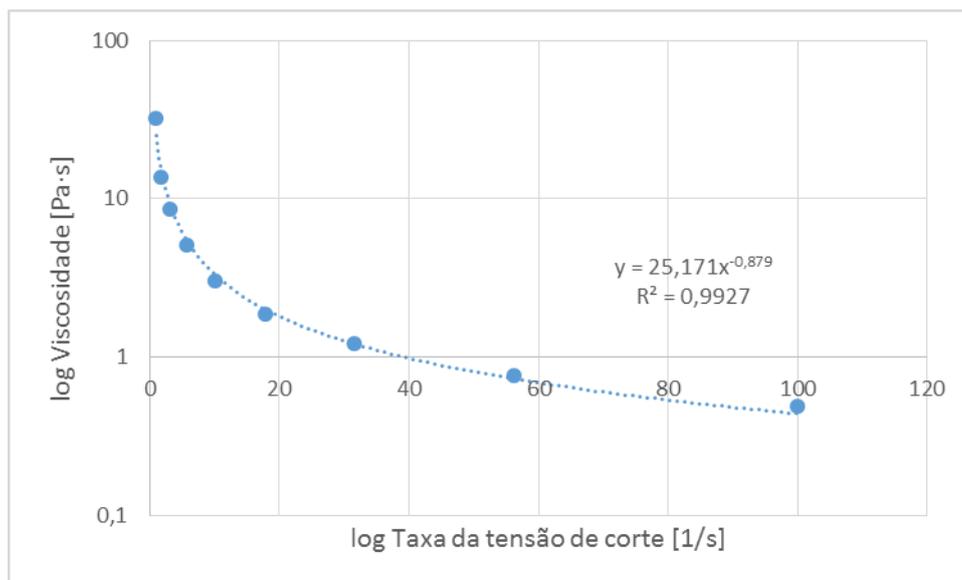


Figura 17: Curva de ajuste do Modelo de Herschel-Bulkley, para o valor 10 Pa aparente de limite de elasticidade, amostra 1

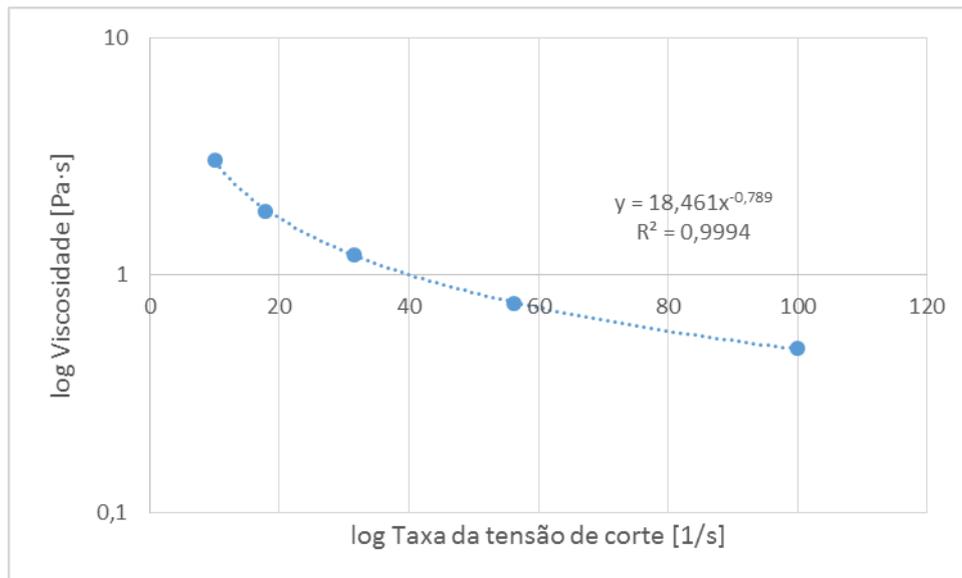


Figura 18: Curva de ajuste do Modelo de Herschel-Bulkley, para o valor 1 Pa aparente de limite de elasticidade, amostra 2

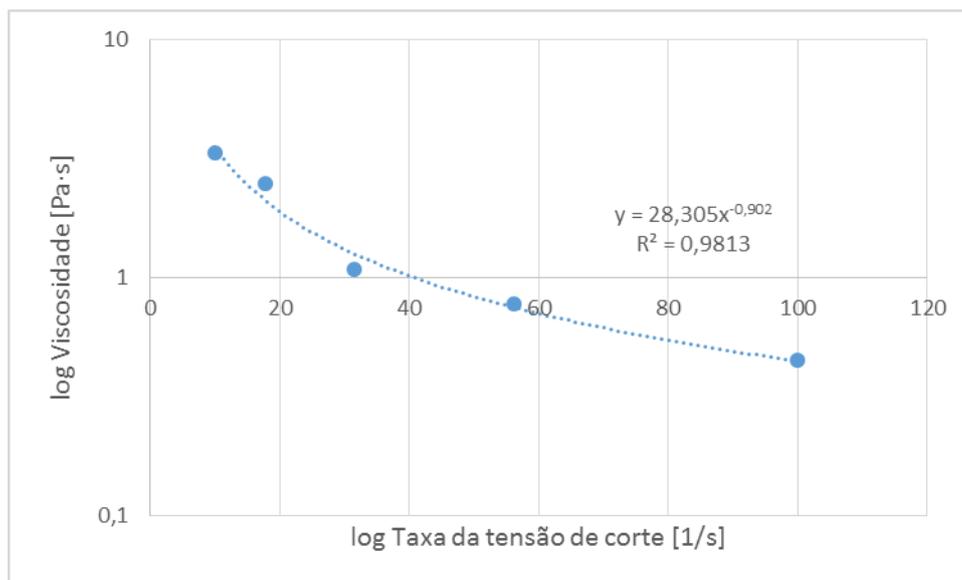


Figura 19: Curva de ajuste do Modelo de Herschel-Bulkley, para o valor 10 Pa aparente de limite de elasticidade, amostra 2