

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Juliane Marina Dingee Cunha

**OS MÉTODOS CONVENCIONAIS, AS TECNOLOGIAS EMERGENTES E A  
REAÇÃO DE MAILLARD NO PROCESSAMENTO DE LEITE E DERIVADOS**

Florianópolis

2021

**JULIANE MARINA DINGEE CUNHA**

**OS MÉTODOS CONVENCIONAIS, AS TECNOLOGIAS EMERGENTES E A  
REAÇÃO DE MAILLARD NO PROCESSAMENTO DE LEITE E DERIVADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em  
Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina como  
requisito para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e  
Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Cunha, Juliane Marina Dingee

Os métodos convencionais, as tecnologias emergentes e a reação de Maillard no processamento de leite e derivados / Juliane Marina Dingee Cunha ; orientador, Elane Schwinden Prudêncio, 2021.

115 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2. Produtos lácteos. . 3. Beneficiamento do leite. . 4. Métodos inovadores. . 5. Escurecimento não enzimático.. I. Prudêncio, Elane Schwinden. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

Juliane Marina Dingee Cunha

**OS MÉTODOS CONVENCIONAIS, AS TECNOLOGIAS EMERGENTES E A  
REAÇÃO DE MAILLARD NO PROCESSAMENTO DE LEITE E DERIVADOS**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Florianópolis, 06 de maio de 2021.

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Carolina de Oliveira Costa  
Coordenadora do curso

**Banca examinadora:**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vivian Maria Burin  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marília Miotto.  
Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço imensamente a minha mãe Tania, meu exemplo de mulher guerreira, por todo o apoio, suporte e incentivo nas minhas escolhas, por ter me ensinado a importância da educação e proporcionado tudo até hoje. Não tenho palavras para descrever todo meu amor e admiração por você.

Aos meus familiares pelo apoio e por torcerem pelas minhas conquistas, e estarem sempre dispostos a me ajudar, em especial meus avós Teresa e José.

Ao Lucas, meu namorado, por estar ao meu lado me incentivando e apoiando nos momentos mais difíceis durante esses anos, sempre acreditando no meu potencial, e, também a sua família pelo apoio.

A Professora Elane S. Prudêncio por toda a dedicação e ajuda para a realização deste trabalho. Sempre muito atenciosa e com tanto carinho, acreditando e me orientando, sendo um exemplo de professora e profissional. Por ter me acolhido tão bem no Laboratório de Leites e Derivados durante as iniciações científicas e todos os ensinamentos.

A Universidade Federal de Santa Catarina, que durante esses anos não só me proporcionou um excelente ensino gratuito, como um crescimento pessoal e profissional.

A todas as professoras e professores que tive durante a graduação, todos foram muito importantes durante esse processo, me proporcionando muito conhecimento e experiência. Aos técnicos de laboratório por toda a ajuda durante as aulas e monitorias.

A Professora Carmen M. O. Muller que me acompanhou desde o início do curso, com suas aulas e conversas, permitindo um conforto e acolhimento e muitos ensinamentos. Ao Jonas por estar sempre disposto a nos ajudar.

As professoras Marília e Silvani pelo apoio durante meu período de monitora, pela oportunidade e ajuda.

Aos meus amigos por acreditarem no meu potencial e estarem ao meu lado sempre, em especial a Maria Eduarda por estar comigo desde a infância, pelas conversas, palavras de carinho e preocupação durante esse ano atípico e por acreditar no meu potencial. A Gabrielly Farias por ser minha dupla simbiótica durante a graduação, sempre disposta a ajudar. A todos os outros alunos que estão caminhando comigo durante o curso, com quem pude dividir aflições e alegrias durante os semestres.

Agradeço que em um período tão complicado mundialmente, tive saúde para poder realizar esse trabalho.

## RESUMO

Neste trabalho de conclusão do curso de Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, foi realizada abordagem bibliográfica sobre os métodos convencionais, as tecnologias emergentes e a reação de Maillard no processamento de leite e derivados. Para a realização deste trabalho foram realizadas pesquisas com palavras-chave nas principais bases de dados, além de pesquisas em materiais como livros, e-books, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, legislações, trabalhos em eventos e notas de aula. Com isto, foi realizado o trabalho de revisão bibliográfica sobre os métodos convencionais como a pasteurização, o tratamento térmico de ultra alta temperatura, processos de concentração e processos de secagem empregando os equipamentos *spray dryer* e *drum dryer*. Sobre as tecnologias emergentes foram abordadas a liofilização, o tratamento com dióxido de carbono supercrítico, o ultrassom, o aquecimento ôhmico, o campo elétrico pulsado, a crioc Concentração, o processo de separação por membranas, a alta pressão, a ozonização e o plasma a frio. Destes métodos convencionais e tecnologias emergentes foram descritas as suas definições e as etapas envolvidas em seus processamentos. Foram também abordados o surgimento e a inibição da reação de Maillard em produtos como o leite fluido, o leite em pó, os compostos lácteos em pó, o soro lácteo, o leite condensado, o iogurte em pó, o queijo em pó, o doce de leite e a manteiga Ghee. Assim, pôde-se concluir que todos os métodos convencionais aqui abordados são atualmente aplicados no beneficiamento de leite, enquanto as tecnologias emergentes somente os processos de separação por membranas e a alta pressão são utilizados pela indústria de laticínios. Ainda sobre estas tecnologias emergentes foi verificado que o tratamento ôhmico e o campo elétrico pulsado, apesar de terem sido utilizados no passado, atualmente não estão sendo empregadas pela indústria de laticínios. Sobre a reação de Maillard pôde-se concluir que os tratamentos que geram aumento de temperatura no leite, tanto convencionais quanto os emergentes, estão relacionados com o surgimento deste tipo de reação, sendo ainda mais ressaltado o surgimento desta reação em leite sem lactose. Com relação a reação de Maillard, também foi verificado que ela pode ser reduzida, por exemplo, através do uso de agentes inibidores. Ao final deste trabalho, pôde-se verificar que todas as tecnologias emergentes apresentadas teriam potencial de uso futuro na área de leite e derivados.

**Palavras-chaves:** Produtos lácteos. Beneficiamento do leite. Métodos inovadores. Escurecimento não enzimático.

## ABSTRACT

In this final paper of the undergraduate course in Food Science and Technology, a bibliographic approach was carried out on conventional methods, emerging technologies and the Maillard reaction in the processing of milk and dairy products. Thus searches were carried out with keywords in the main databases also searches on materials such as books, e-books, papers, dissertations, theses, legislation, conferences and class notes. The bibliographic review work was done using conventional methods such as pasteurization, ultra high temperature heat treatment, concentration processes and drying processes using the *spray dryer* and *drum dryer* equipment. Lyophilization, treatment with supercritical carbon dioxide, ultrasound, ohmic heating, pulsed electric field, crioconcentration, the membrane separation process, high pressure, ozonation and cold plasma were addressed on emerging technologies; in addition their definitions and the steps involved in their processing were described. The emergence and inhibition of the Maillard reaction in products such as fluid milk, powdered milk, powdered milk compounds, whey, condensed milk, powdered yogurt, powdered cheese, jam of milk and Ghee butter were also addressed in this study. From the analyzes made it was possible to conclude that all the conventional methods approached here are currently applied in the processing of milk, while among the emerging technologies the processes of separation by membranes and the high pressure are used by the dairy industry. Still on the emerging technologies it was verified that the ohmic treatment and the pulsed electric field, despite having been used in the past, are currently not being used by the dairy industry. Regarding the Maillard reaction, it was possible to show that the treatments that generate temperature increase in milk, both conventional and emerging, are related to the appearance of this type of reaction, with its appearance in lactose-free milk being even more emphasized. It has also been found that the Maillard reaction can be reduced, for example, through the use of inhibitory agents. As a conclusion of this study, it was verified that all emerging technologies presented would have potential for future use in the field of milk and dairy products.

**Keywords:** Dairy products. Milk processing. Innovative methods. Non-enzymatic browning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do tratamento térmico de pasteurização HTST ( <i>high temperature short time</i> ). .....	21
Figura 2: Etapas do processo de pasteurização HTST ( <i>high temperature short time</i> ) do leite.	22
Figura 3: Etapas de obtenção do leite tratado termicamente pelo Ultra alta temperatura (UAT ou UHT - <i>ultra high temperature</i> ). .....	24
Figura 4: Etapas do processo direto de ultra alta temperatura (UAT ou UHT - <i>ultra high temperature</i> ) do leite. ....	28
Figura 5: etapas do processo indireto de ultra alta temperatura (UAT ou UHT - <i>ultra high temperature</i> ) do leite. ....	29
Figura 6: Etapas do processamento de leite concentrado e evaporado.....	31
Figura 7: Etapas do processamento de leite condensado.....	32
Figura 8: Fluxograma do tratamento térmico de desidratação por <i>spray dryer</i> . ....	34
Figura 9: Representação do funcionamento do <i>spray dryer</i> empregado na desidratação do leite. .....	35
Figura 10: Esquema de desidratação do leite empregando o equipamento <i>drum dryer</i> de tambores duplos.....	37
Figura 11: Esquema das etapas envolvidas no processo de liofilização.....	40
Figura 12: Esquema de um sistema semicontínuo com dióxido de carbono supercrítico. ....	42
Figura 13: Representação do efeito do ultrassom na célula microbiana. ....	46
Figura 14: Esquema do processo de sonda de ultrassom contínuo.....	47
Figura 15: Esquema do aquecimento ôhmico em leites. ....	49
Figura 16: Representação das etapas de aquecimento ôhmico.....	51
Figura 17: Representação esquemática das etapas do processo de campo elétrico pulsado (CEP). .....	53
Figura 18: Etapas do processo de crioconcentração por suspensão. ....	59
Figura 19: Esquema do processo de crioconcentração progressiva. ....	61
Figura 20: Etapas do processo de crioconcentração em blocos.....	63
Figura 21: Representação esquemática da passagem do leite através do uso de membranas. .	66
Figura 22: Representação da filtração tradicional (a) e tangencial (b). .....	67
Figura 23: Representação esquemática de um processo de separação por membranas envolvendo a filtração tangencial. ....	71
Figura 24: Etapas envolvidas no processamento de alta pressão de leite.....	75
Figura 25: Esquema da geração de ozônio. ....	77

Figura 26: Etapas do processo de ozonização de leite e derivados. ....	79
Figura 27: Fotografia representando os jatos de plasma. ....	81
Figura 28: Representação da configuração básica para geração de plasma. ....	82
Figura 29: Descrição da etapa inicial da reação de Maillard entre a lactose e lisina. ....	86
Figura 30: Descrição da reação intermediária de enolização do produto de Amadori. ....	87
Figura 31: Reação de Maillard e a formação de produtos avançados de glicação e de lipoxidação. ....	89
Figura 32: Reação de Maillard e vias paralelas na formação de AGEs. ....	90
Figura 33: Estrutura química básica de melanoidinas. ....	92
Figura 34: Representação da diferença de cores dos leites condensados (A) com lactose e (B) sem lactose. ....	100
Figura 35: Etapas dos métodos de obtenção da manteiga Ghee. ....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de condutividade elétrica (S/m) de leites fluidos em diferentes temperaturas. ....	49
Tabela 2: Condições de processamento de diferentes leites empregando campo elétrico pulsado visando a redução microbiana. ....	56
Tabela 3: Condições de processamento de diferentes leites empregando campo elétrico pulsado visando a inativação enzimática. ....	57

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Parâmetros que diferem as características do leite depois dos tratamentos térmicos dos leites pasteurizado pelo processo HTST ( <i>high temperature short time</i> ) e leite UHT/UAT ( <i>ultra high temperature/ultra alta temperatura</i> ). .....	26
Quadro 2: Comparação do método de secagem convencional empregando <i>spray dryer</i> e a liofilização. ....	41
Quadro 3: Parâmetros do aquecimento ôhmico empregados em leites e seus derivados.....	52
Quadro 4: Diferenças entre os processos de separação por membrana (PSM). ....	65
Quadro 5: Características das etapas da Reação de Maillard. ....	93

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	15
2.1	OBJETIVOS GERAIS .....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	16
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
4.1	O LEITE.....	17
4.2	TECNOLOGIAS DE OBTENÇÃO DE PRODUTOS LÁCTEOS .....	18
4.2.1	Pasteurização .....	19
4.2.2	Ultra alta temperatura (UAT ou UHT - <i>ultra high temperature</i> ).....	23
4.2.3	Concentração .....	30
4.2.4	Secagem empregando <i>spray dryer</i> ou <i>drum dryer</i> .....	32
4.3	TECNOLOGIAS EMERGENTES NO PROCESSAMENTO DE PRODUTOS LÁCTEOS .....	37
4.3.1	Liofilização.....	38
4.3.2	Tratamento com dióxido de carbono supercrítico .....	41
4.3.3	Ultrassom .....	43
4.3.4	Aquecimento ôhmico .....	47
4.3.5	Campo elétrico pulsado (CEP) .....	52
4.3.6	Crioconcentração .....	58
4.3.7	Processo de separação por membranas .....	64
4.3.8	Alta pressão .....	71
4.3.9	Ozonização .....	76
4.3.10	Plasma a frio .....	80
4.4	REAÇÃO DE MAILLARD.....	83
4.5	REAÇÃO DE MAILLARD EM DERIVADOS LÁCTEOS.....	93

<b>4.5.1 Leite fluido</b> .....	93
<b>4.5.2 Leite e compostos lácteos em pó</b> .....	95
<b>4.5.3 Soro lácteo</b> .....	97
<b>4.5.4 Leite condensado</b> .....	99
<b>4.5.5 Iogurte e queijo em pó</b> .....	100
<b>4.5.6 Doce de leite e manteiga ghee</b> .....	101
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	104
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	105

## 1 INTRODUÇÃO

A obtenção de leite com qualidade está relacionada a um manejo de ordenha que venha reduzir a sua contaminação física, química e microbiológica. A qualidade do leite é muito importante porque só assim as indústrias poderão beneficiá-lo, garantido a segurança do alimento. Por isso, alguns procedimentos fundamentais devem ser adotados desde a propriedade rural até a chegada na indústria para que se possa garantir a qualidade do leite. Dentre os cuidados atualmente exigidos pela legislação estão a higienização no processo de obtenção, o controle sanitário do rebanho principalmente com relação a mastite e o resfriamento do leite. Entretanto, é importante salientar que somente a baixa temperatura não melhora a qualidade do leite, pois somente impede que os microrganismos se multipliquem de forma lenta ou não se multipliquem. Caso o leite esteja com alta quantidade de microrganismos, estará deteriorado mesmo empregando baixas temperaturas.

Além da temperatura de refrigeração, o leite por se tratar de um produto perecível necessita de tecnologias que possam aumentar sua validade, garantindo a sua qualidade nutricional e a segurança alimentar de consumidores. Diante disso, o emprego de tecnologias convencionais e emergentes possibilitariam a indústria de laticínios obter produtos com alta qualidade. Entende-se como métodos convencionais àqueles bem estabelecidos, consolidados e empregados usualmente pela indústria. As tecnologias emergentes são àquelas que não são empregadas usualmente pela indústria, mas são sugeridas de serem utilizadas no processamento/conservação de alimentos porque não provocam alterações indesejáveis no alimento, podendo ser utilizadas em substituição ou conjuntamente com os métodos convencionais. Entretanto, assim como os métodos convencionais, as tecnologias emergentes só serão eficazes se o leite apresentar condições sanitárias adequadas. Na indústria de laticínios os processos tecnológicos são diversos em aplicações e funcionalidades, incluindo subtração, adição e/ou separação de componentes, agregação de valor comercial do leite e dos produtos derivados e, ainda, com o propósito de eliminar microrganismos, neste caso, os processamentos térmicos são os mais amplamente usados na indústria.

A crescente demanda do mercado consumidor por produtos de alta qualidade revela também a necessidade da utilização de novas tecnologias de processamento/conservação que propiciem segurança no ponto de vista microbiológico na produção, aumentando a sua validade, resultando em mínimas alterações bioquímicas, promovendo a manutenção da qualidade nutricional e sensorial do leite. É importante também conhecer as tecnologias e processos que possibilitem alcançar os resultados desejados. Contudo, cada processo, convencional ou

emergente, possui vantagens e limitações em sua aplicação em leites, causando alterações e, conseqüentemente, podendo gerar mudanças nas suas propriedades, como por exemplo, o surgimento da reação de Maillard (SILVA; VIDAL; NETTO, 2018 *apud* VIDAL; NETTO, 2018; FELLOWS, 2019).

O leite apresenta em sua composição proteínas e lactose que é um açúcar redutor, o que favorece a reação de Maillard, diante de tratamentos térmicos, realizados visando a redução da sua carga microbiana (DANTAS; VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2019). A reação de Maillard pode ser dividida em três fases, sendo que a primeira consiste na condensação da carbonila de um açúcar redutor e uma amina de um aminoácido, culminando na formação do primeiro composto estável da reação de Maillard, o produto de Amadori. Com a continuação do aquecimento tem-se a segunda fase que é caracterizada por reações químicas a partir dos compostos de Amadori, gerando a formação de compostos dicarbonílicos, redutonas, derivados do furfural, como o 5-hidroximetilfurfural, além de produtos da degradação de Strecker. Esses produtos correspondem a compostos químicos com ampla variação da massa molar e ocorrem tanto nos alimentos submetidos a qualquer tipo de tratamento térmico, e neste caso é denominada de reação de glicação. A terceira e última fase da reação de Maillard consiste na reação dos compostos intermediários com resíduos de lisina ou de arginina em proteínas, formando compostos estáveis, além de reações de fragmentação e polimerização, gerando melanoidinas e estruturas fluorescentes (FRANCISQUINI *et al.*, 2016).

No Brasil, para o processamento de leite e derivados muitos estudos têm sido realizados comparando os métodos convencionais com as tecnologias emergentes. Também foram abordados o uso conjunto destes processos, e o entendimento da reação de Maillard neste tipo de produtos. Estes estudos são incentivados porque a compra de leite e seus derivados no ano de 2020, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ultrapassou 25 milhões de litros. No Brasil, o Estado de Minas Gerais foi o maior produtor, seguido pelos seguintes Estados: Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e em quinto lugar São Paulo (IBGE, 2020).

A importância de uma abordagem bibliográfica sobre os métodos convencionais, as tecnologias emergentes e a reação de Maillard no processamento de leite e derivados se daria através do ineditismo da junção destes temas, já que nos estudos realizados estes temas são tratados de forma isolada. Além disso, a aplicação destas tecnologias emergentes ainda é um desafio para as indústrias, sendo que no Brasil grande parte das mesmas ainda não são aplicadas industrialmente em leites e derivados.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral deste trabalho foi realizar uma abordagem bibliográfica sobre os métodos convencionais, as tecnologias emergentes e a reação de Maillard presente no processamento de leite e derivados.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho foram os seguintes:

- (a) realizar pesquisas em bases de dados nacionais e internacionais;
- (b) selecionar material bibliográfico para a elaboração de revisão bibliográfica;
- (c) realizar revisão bibliográfica sobre o leite;
- (d) produzir revisão bibliográfica sobre as tecnologias convencionais utilizadas no beneficiamento de leite, como a pasteurização, a ultra alta temperatura, a concentração e a secagem empregando *spray dryer* ou *drum dryer*;
- (e) realizar revisão bibliográfica sobre as principais tecnologias emergentes no processamento de produtos lácteos, como a liofilização, o tratamento com dióxido de carbono supercrítico, o ultrassom, o aquecimento ôhmico, o campo elétrico pulsado, a crioconcentração, o processo de separação por membranas, a alta pressão, a ozonização e o plasma a frio; e
- (f) produzir revisão bibliográfica sobre a reação de Maillard em leites e seus derivados como leite fluido, leite em pó, compostos lácteos em pó, soro lácteo, leite condensado, iogurte em pó, queijo em pó, doce de leite e manteiga Ghee.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho de conclusão de curso na forma de revisão bibliográfica, foi realizado utilizando as principais bases de dados internacionais, como Scielo, ScienceDirect, Wiley, Google Scholar, Pubmed e SpringerLink, a fim de pesquisar o tema deste trabalho em artigos científicos. Além disso, foram realizadas pesquisas em livros, e-books, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, legislações, trabalhos em eventos, notas de aula, entre outros, todos disponibilizados em sites, base de dados, bem como da Biblioteca Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Neste trabalho foram utilizadas palavras-chaves, como por exemplo, “milk”, “dairy products”, “pasteurization”, “UHT milk”, “spray dryer”, “drum dryer”, “emerging technologies”, “freeze drying”, “supercritical carbon dioxide”, “ultrasound process”, “ohmic heating”, “pulsed electric field”, “freeze concentration”, “membrane separation process”, “high pressure process”, “ozonation process”, “cold plasma process”, “Maillard reaction”, “powdered milk”, “powdered dairy compounds”, “whey”, “condensed milk”, “powdered yogurt”, “powdered cheese”, “dulce de leche” e “Ghee”. Com os materiais obtidos realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os métodos convencionais, as tecnologias emergentes e a reação de Maillard no processamento de leite e derivados.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 O LEITE

O leite é denominado de acordo com o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA) como um produto oriundo de ordenha completa e ininterrupta com condições de higiene, de vacas sadias e bem alimentadas. Sendo então o produto da secreção das glândulas mamárias com coloração branca e opaca, no qual dependendo do teor de gordura pode variar de amarelado, maior teor de gordura, para azulado, com menor teor de gordura (MAPA, 2017).

Segundo Chaves (2011 *apud* KOBLITZ, 2011) e Bastos (2011 *apud* BEZERRA *et al.*, 2011) a composição do leite é uma mistura de diferentes componentes como água, proteínas, gordura, carboidratos, sais minerais e vitaminas. Entretanto, a composição química do leite pode variar de acordo com a raça do animal, porcentagem de gordura, diferentes quartos do úbere, período de lactação, estações do ano, alimentação, fatores ambientais como a temperatura, a idade e a sanidade do animal, além de poder sofrer alterações devido a fraudes e adulterações (CHAVES, 2011 *apud* KOBLITZ, 2011; BASTOS, 2011 *apud* BEZERRA *et al.*, 2011).

A lactose é o principal carboidrato presente no leite, com leve sabor doce devido o seu menor poder adoçante, quando comparado com a sacarose. A lactose é um dissacarídeo constituído de uma D-glicose e uma D-galactose unidas por ligação glicosídica  $\beta$ -1,4, podendo estar na forma de  $\alpha$ -lactose ou  $\beta$ -lactose, presente entre 37 a 54 gramas por litro de leite. Em produtos destinados a pessoas com intolerância a lactose, ou seja, quando o indivíduo não produz ou possui baixa produção da enzima lactase pela mucosa intestinal, o dissacarídeo lactose é hidrolisado pela adição de lactase no leite em dois monossacarídeos, que são a glicose e a galactose (CHAVES, 2011 *apud* KOBLITZ, 2011; HORNE, 2019 *apud* DAMODARAN, 2019).

A fração proteica do leite é composta pelas caseínas, proteínas do soro e proteínas do sangue. Há quatro produtos gênicos das glândulas mamárias, que pertencem ao grupo das caseínas, sendo elas a  $\alpha_{S1}$ -caseína,  $\alpha_{S2}$ -caseína,  $\beta$ -caseína e  $\gamma$ -caseína, representando em média 80% da proteína total presente no leite, formando um complexo esférico quando relacionada ao fosfato de cálcio conhecido como micela de caseína. As proteínas do soro são a  $\beta$ -lactoglobulina e a  $\alpha$ -lactalbumina que estão presentes na fase aquosa, na forma monomérica e dimérica, representando aproximadamente 20% da proteína total. Em menor quantidade têm-se as

proteínas do sangue como a albumina sérica e as imunoglobulinas (HORNE, 2019 *apud* DAMODARAN, 2019).

Outro componente importante do leite, mas de composição variável são os lipídios ou gordura do leite. No leite, representam de 3 a 5% da sua composição e apresentam-se protegidos por uma membrana de lipídios polares e proteínas, evitando que não ocorra ataques enzimáticos ou junção desses componentes, sendo que os triacilgliceróis equivalem a maior parte da composição da gordura. Os ácidos graxos saturados estão em maior quantidade, podendo ser até 70% da massa de ácidos graxos do leite, variando entre os de cadeia curta como o ácido butírico (C 4:0) e os de cadeia média como o ácido mirístico (C 14:0), uma porcentagem menor são ácidos graxos insaturados e poli-insaturados. Os ácidos graxos de cadeia curta como os ácidos butírico, caprótico, caprílico e cáprico, encontrados em produtos de animais ruminantes, sendo os mais voláteis e quando estes são liberados pela ação de lipases, são responsáveis pelo sabor e odor de ranço característico do leite (CHAVES, 2011 *apud* KOBLITZ, 2011). De acordo com a Instrução Normativa nº 76 de 26 de novembro de 2018, o leite cru refrigerado, o leite pasteurizado e o leite pasteurizado tipo A, apresentam diferentes classificações conforme o teor de gordura, podendo ser desnatado com no máximo 0,5g/100g de gordura, semidesnatado com 0,6g a 2,9g/100g e o integral com no mínimo 3g/100g (MAPA, 2018b).

Relacionadas aos lipídeos presentes no leite, encontram-se as vitaminas lipossolúveis A, D, E e K e as encontradas no soro, as hidrossolúveis, como as vitaminas do complexo B. Entretanto, a vitamina D e o ácido fólico (B<sub>9</sub>) estão presentes em baixas quantidades, e a vitamina C encontrada no leite cru é facilmente perdida por ser sensível aos tratamentos térmicos ao que o leite é submetido. Já o teor de sais minerais representa cerca de 1% da composição, sendo 0,8% de sais orgânicos e 0,2% sais inorgânicos. O cálcio, o fósforo e o magnésio estão presentes ligados a caseína, destacando-se o teor de cálcio de 1.100 a 1.300 mg/L, quando ligado a caseína torna-se solúvel, assim garantindo que este seja absorvido. Outros minerais como potássio, sódio e iodo estão em solução na fase aquosa do leite (CHAVES, 2011 *apud* KOBLITZ, 2011).

#### 4.2 TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS DE OBTENÇÃO DE PRODUTOS LÁCTEOS

A obtenção dos produtos lácteos no Brasil é realizada por processos convencionais bem consolidados, usando tratamentos térmicos com temperaturas elevadas, porém estes tratamentos estão relacionados com reações indesejáveis no leite e grande parte dos seus

derivados. Uma das principais reações, que pode ser considerada prejudicial para a característica sensorial e nutricional do leite e dos derivados lácteos é uma reação de escurecimento não enzimático, conhecida como reação de Maillard. Esta reação é relacionada à interação entre carbonilas dos açúcares redutores e o grupo amina de aminoácidos e proteínas. A reação de Maillard no leite pode estar presente no seu processamento e na obtenção de seus derivados quando utilizadas algumas tecnologias, como por exemplo, a pasteurização, o processo de ultra alta temperatura (UAT ou UHT – *ultra high temperature*), as tecnologias de concentração, os processos de secagem empregando *spray dryer* com ou sem instantaneização ou *drum dryer*.

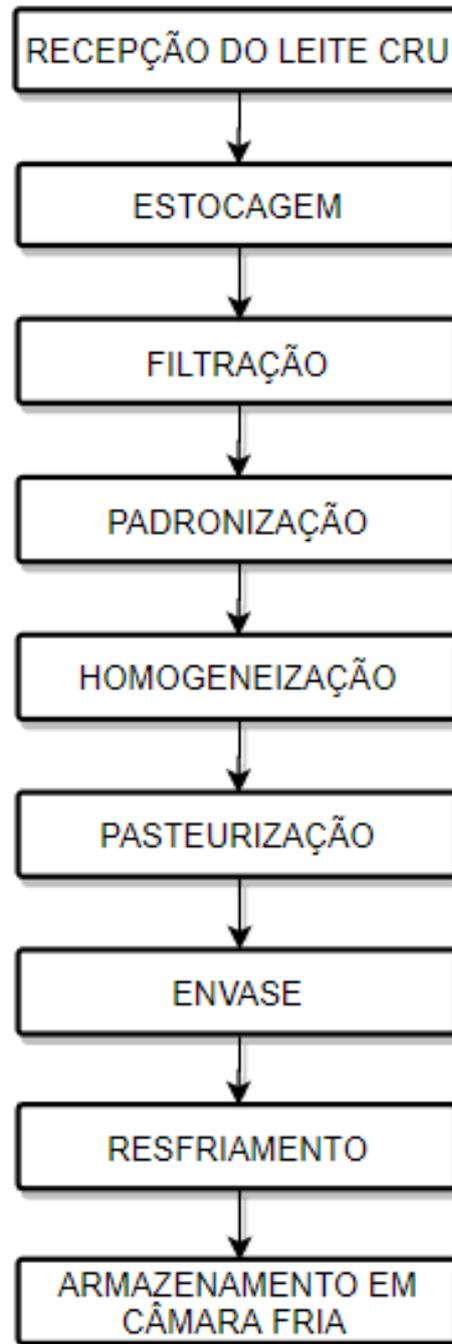
#### **4.2.1 Pasteurização**

A pasteurização é um processo convencional que visa tratar termicamente com objetivo principal de reduzir a carga de patógenos, e a redução de microrganismos deteriorantes além das enzimas (LEITE *et al.*, 2006, FELLOWS, 2019). O decreto nº 9.013 de 29 de março de 2017, com competência do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), traz como definição de pasteurização, “Tratamento térmico aplicado ao leite com objetivo de evitar perigos à saúde pública, decorrentes de microrganismos patogênicos eventualmente presentes e que promove mínimas modificações químicas, físicas, sensoriais e nutricionais”, de acordo com o mesmo decreto esse processo pode ser realizado de forma lenta ou rápida (MAPA, 2017). As condições de tempo e temperatura empregadas para tratar termicamente o leite pelo processo de pasteurização são delineadas para inativar bactérias patogênicas e não formadoras de esporos, como a *Mycobacterium tuberculosis* e *Coxiella burnetii*. Com o uso das temperaturas ocorre alteração de características sensoriais, porém são mínimas, mas torna o leite seguro para o consumo (FELLOWS, 2019).

O processo de pasteurização do leite pode ser realizado de forma lenta, em indústrias de pequeno porte, ou rápida, em indústrias de médio e grande porte. A pasteurização lenta também conhecida como LTLT (*low temperature long time*) consiste no tratamento térmico do leite utilizando um tanque encamisado ou de camisa dupla empregando uma temperatura entre 63 e 65°C por 30 minutos, sendo que a transmissão de calor ocorre por condução pelo contato com a parede do tanque onde circula a água aquecida. Neste tipo de equipamento é realizada a agitação para evitar a formação de espuma, adesão do leite na parede do equipamento, além de promover o aquecimento homogêneo (ALMDEIDA, 2006; LEITE *et al.*, 2006; BEZERRA, 2011 *apud* BEZERRA *et al.*, 2011; MAPA, 2017; PRUDÊNCIO, 2020a).

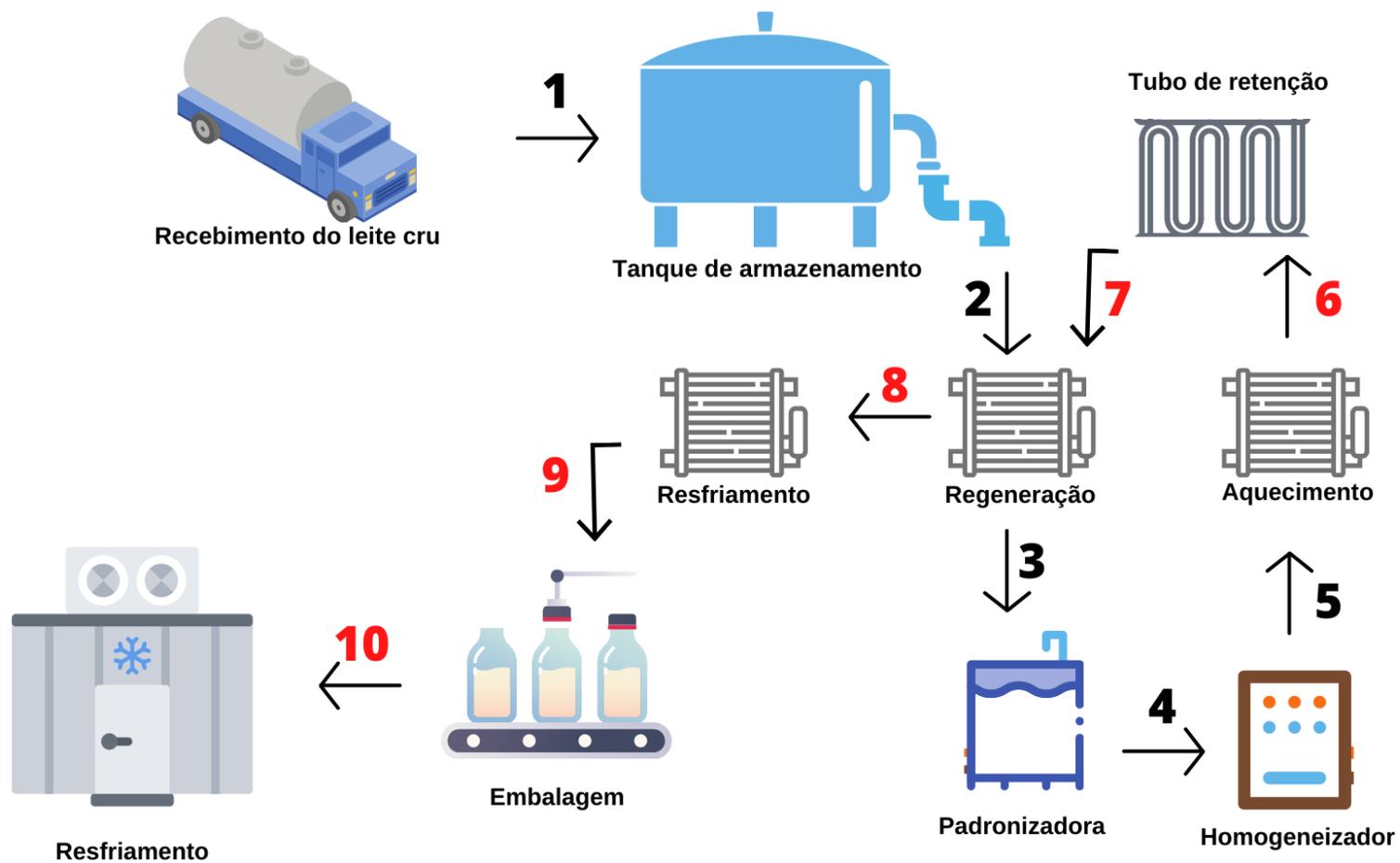
Na pasteurização rápida ou HTST (*high temperature short time*), o leite cru pode ser aquecido em trocador de calor em placas empregando uma temperatura entre 72 e 75°C por um tempo de 15 a 20 segundos, em sistema contínuo e fechado (DEETH; LEWIS, 2017). As etapas envolvidas neste tipo de processamento de leite estão representadas resumidamente na Figura 1 e de forma detalhada na Figura 2. O trocador de placas empregado no beneficiamento do leite geralmente é composto por três seções, uma de refrigeração, uma de regeneração e uma de aquecimento, além de conter acoplado um tubo de retenção ou retardador, cuja função é manter o leite na temperatura e no tempo de pasteurização. Numa planta de uma indústria de médio e grande porte, o leite cru passa primeiramente pela seção de regeneração do trocador de calor em placas, segue para a desnatadeira a fim de padronizar o teor de gordura do leite, na sequência é direcionado ao homogeneizador diminuindo o tamanho dos glóbulos de gordura do leite o que evita a separação de fases na embalagem, aumentando a validade e acentuando as características sensoriais do produto. Na sequência o leite é encaminhado para a seção de aquecimento que ocorre através das placas, mas pelo contato indireto com água quente e, então, encaminhado ao tubo de retenção ou retardador onde é mantido por 15 a 20 segundos. Caso a temperatura não seja atingida há no equipamento uma válvula de derivação automática de fluxo, forçando o leite a voltar e ser processado novamente. Do tubo de retenção, o leite é encaminhado para a seção de regeneração onde troca calor indiretamente através das placas com o leite cru que entra inicialmente nesta seção. Da seção de regeneração, o leite tratado termicamente e com temperatura mais baixa é encaminhado à seção de resfriamento, onde é resfriado com água gelada também de forma indireta através das placas desta seção, desta forma, o leite é direcionado à seção de resfriamento pelo contato indireto com água gelada, obtendo-se o leite pasteurizado e pronto para ser envasado ou destinado ao processamento de algum derivado lácteo (ALMEIDA, 2006; LEITE *et al.*, 2006; BEZERRA, 2011 *apud* BEZERRA *et al.*, 2011; MAPA, 2017; PRUDÊNCIO, 2020a). O processamento varia de acordo com o serviço de inspeção da empresa, caso tenha o SIM (Serviço de Inspeção Municipal) o processo de pasteurização pode ser lento ou rápido, se for SIE (Serviço de Inspeção Estadual) e SIF (Serviço de Inspeção Federal) é necessário que a pasteurização seja realizada de forma rápida (PRUDÊNCIO, 2020a).

Figura 1: Etapas do tratamento térmico de pasteurização HTST (*high temperature short time*).



Fonte: Adaptado Prudêncio (2020a).

Figura 2: Etapas do processo de pasteurização HTST (*high temperature short time*) do leite.



Etapas em preto = leite não tratado termicamente, Etapas em vermelho = leite tratado termicamente  
 Fonte: Adaptado de Prudêncio (2020a).

Para garantir a eficácia da pasteurização é fundamental o controle do binômio tempo e temperatura que é determinado em função da destruição dos microrganismos patogênicos. A garantia de que o tratamento térmico empregado foi realizado de forma eficiente também é conferida através da presença de duas enzimas, que são a fosfatase alcalina e a peroxidase. Depois da pasteurização do leite, a fosfatase alcalina estará inativada, enquanto peroxidase estará presente porque somente é inativada em temperaturas maiores do que 80°C (ALMEIDA, 2006; LEITE *et al.*, 2006; BEZERRA, 2011 *apud* BEZERRA *et al.*, 2011; MAPA, 2017; FELLOWS, 2019; PRUDÊNCIO, 2020a). Vale ressaltar que os efeitos observados no leite depois da pasteurização são a coloração mais branca devido a etapa de homogeneização, perda de proteína sérica, de vitaminas do complexo B e vitamina C devido ao tratamento térmico (FELLOWS, 2019). Conforme o artigo 19 da IN nº 76 (2018), no leite pasteurizado não é permitido o uso de aditivos (MAPA, 2018b).

#### **4.2.2 Ultra alta temperatura (UAT ou UHT - *ultra high temperature*)**

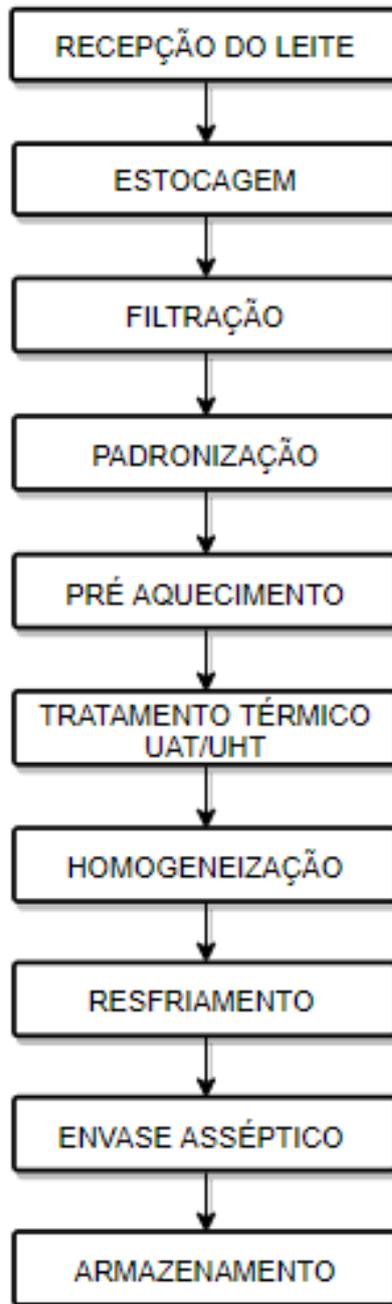
De acordo com MAPA (2017) o processamento térmico de esterilização comercial, conhecido como UHT (*ultra high temperature*) ou UAT (ultra alta temperatura) é aplicado para produzir o leite longa vida. A definição deste processo térmico conforme a legislação brasileira é a seguinte:

“O processo de ultra-alta temperatura - UAT ou UHT o tratamento térmico aplicado ao leite a uma temperatura entre 130°C (cento e trinta graus Celsius) e 150°C (cento e cinquenta graus Celsius), pelo período de dois a quatro segundos, mediante processo de fluxo contínuo, imediatamente resfriado a temperatura inferior a 32°C (trinta e dois graus Celsius) e envasado sob condições assépticas em embalagens esterilizadas e hermeticamente fechadas” (MAPA, 2017).

Em conformidade com a Portaria nº146 de 07 de março de 1996, no leite UHT é aceito o uso de estabilizantes em quantidades inferiores a 0,1%, como o monofosfato de sódio, difosfato de sódio, trifosfato de sódio e citrato de sódio, podendo ser separados ou em combinação. A finalidade do emprego deste é para evitar que ocorra a separação de fases em decorrência da desnaturação de proteínas devido à alta temperatura (PRUDÊNCIO, 2020b).

Na obtenção do leite UAT, UHT ou longa vida o leite passa através das etapas descritas na Figura 3. No entanto, tem-se dois tipos métodos para a obtenção do leite UAT/ UHT ou longa vida que são o direto ou o indireto. O direto consiste na injeção direta de vapor no leite, enquanto no indireto o calor do vapor é transmitido ao leite através das paredes de um trocador de calor de placas (PRUDÊNCIO, 2020b).

Figura 3: Etapas de obtenção do leite tratado termicamente pelo Ultra alta temperatura (UAT ou UHT - *ultra high temperature*).



Fonte: Adaptado Prudêncio (2020b).

No tratamento térmico UAT/UHT empregando o método direto (Figura 4) o leite cru passa através de um trocador de placas que aquece o leite entre 70 e 80°C, onde posteriormente é encaminhado para uma bomba volumétrica que aumentará a pressão e, assim, a temperatura de ebulição do leite, para que não haja perdas drásticas de suas propriedades nutritivas e sensoriais. Num bico injetor, vapor recomprimido termicamente é misturado ao leite, transferindo calor latente ao leite, e ambos são encaminhados ao tubo de retenção ou retardador.

Depois desta etapa, a separação do vapor do leite é realizada na câmara de expansão, é então homogeneizado e, por fim, resfriado em trocador de placas em temperatura menor do que 32°C e envasado assepticamente. A diferença primordial entre o método indireto e o direto é que o mesmo não contém o bico injetor de vapor e nem a câmara de expansão (Figura 5). Outra diferença entre estes métodos é o tempo para atingir a temperatura usada no pré-aquecimento, no direto a temperatura é alcançada mais rapidamente que no indireto, o que interfere menos nas propriedades sensoriais e químicas do leite (DEETH; LEWIS, 2017). Independentemente do método utilizado o envase asséptico do leite UAT, UHT ou longa vida é realizado em embaladoras assépticas contendo embalagens esterilizadas com solução de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 17% que é removida com jatos de ar quente, não deixando resíduos na embalagem, e fechadas por um sistema térmico de soldagem (BEZERRA, 2011; MAPA, 2017; PRUDÊNCIO, 2020b).

Diferenças entre o processamento térmico de pasteurização e o UAT/UHT (Quadro 1) têm sido responsáveis por algumas modificações relativas as características sensoriais, microbiológicas, físico-químicas e nutricionais no leite. No processo UAT/UHT tem-se observado a desnaturação da proteína do soro, principalmente a  $\beta$ -lactoglobulina, influenciando negativamente a utilização desse leite no processo de coagulação, pois as proteínas do soro se ligam as caseínas através de ligação dissulfeto, impedindo que na coagulação as caseínas interajam com as enzimas (FELLOWS, 2019; LUIZ, 2019). As principais perdas nutritivas estão relacionadas as vitaminas C, do complexo B (B1, B6, B9 e B12) e do aminoácido lisina, porém há uma diferença na porcentagem de perdas dependendo do processo aplicado. No processo de pasteurização, as perdas são de aproximadamente 25% de vitaminas C, 10% de B1, B6, B9 e B12, e 2% de lisina. Já para o método de ultra alta temperatura (UAT) as perdas são um pouco maiores, devido as temperaturas mais elevadas utilizadas no processo, as perdas são de aproximadamente 30% de vitaminas C, 20% de B1, B6, B9 e B12, e 6% de lisina (HORNE, 2019 *apud* DAMODARAN; PARKIN, 2019; FELLOWS, 2019; PRUDÊNCIO, 2020a; PRUDÊNCIO, 2020b). Em relação as enzimas, a fosfatase alcalina é inativada após a pasteurização do leite, enquanto peroxidase estará presente após esse processo, pois somente é inativada em temperaturas maiores do que 80°C, sendo inativada com as temperaturas aplicadas no processo UHT (ALMEIDA, 2006; LEITE *et al.*, 2006; BEZERRA, 2011 *apud* BEZERRA *et al.*, 2011; FELLOWS, 2019; PRUDÊNCIO, 2020a).

Quadro 1: Parâmetros que diferem as características do leite depois dos tratamentos térmicos dos leites pasteurizado pelo processo HTST (*high temperature short time*) e leite UHT/UAT (*ultra high temperature/ultra alta temperatura*).

Parâmetros		Tratamento térmico	
		Pasteurização HTST	UHT/UAT
Tempo (segundos)		15 a 20	2 a 4
Temperatura (°C)		72 a 75	130 a 150
Armazenamento		Refrigerado	Temperatura ambiente
Tipos de microrganismos eliminados		Bactérias patogênicas ( <i>Brucella abortis</i> , <i>Mycobacterium tuberculosis e Coxiella burnetti</i> ) e microrganismos deteriorantes.	Bactérias patogênicas, células bacterianas vegetativas e esporos ( <i>Clostridium botulinum</i> ). Microrganismos deteriorantes
Aditivos		Nenhum	Estabilizantes
Principais perdas nutritivas (%)	Vitamina C	≈25	≈30
	Vitaminas do complexo B*	≈10	≈20
	Lisina	2	6
Enzimas presentes	Fosfatase alcalina	Negativa	Negativa
	Peroxidase	Positiva	Negativa
Validade do produto		Dias	Meses

HTST = High Temperature Short Time, UHT = Ultra High Temperature, UAT = Ultra Alta Temperatura.

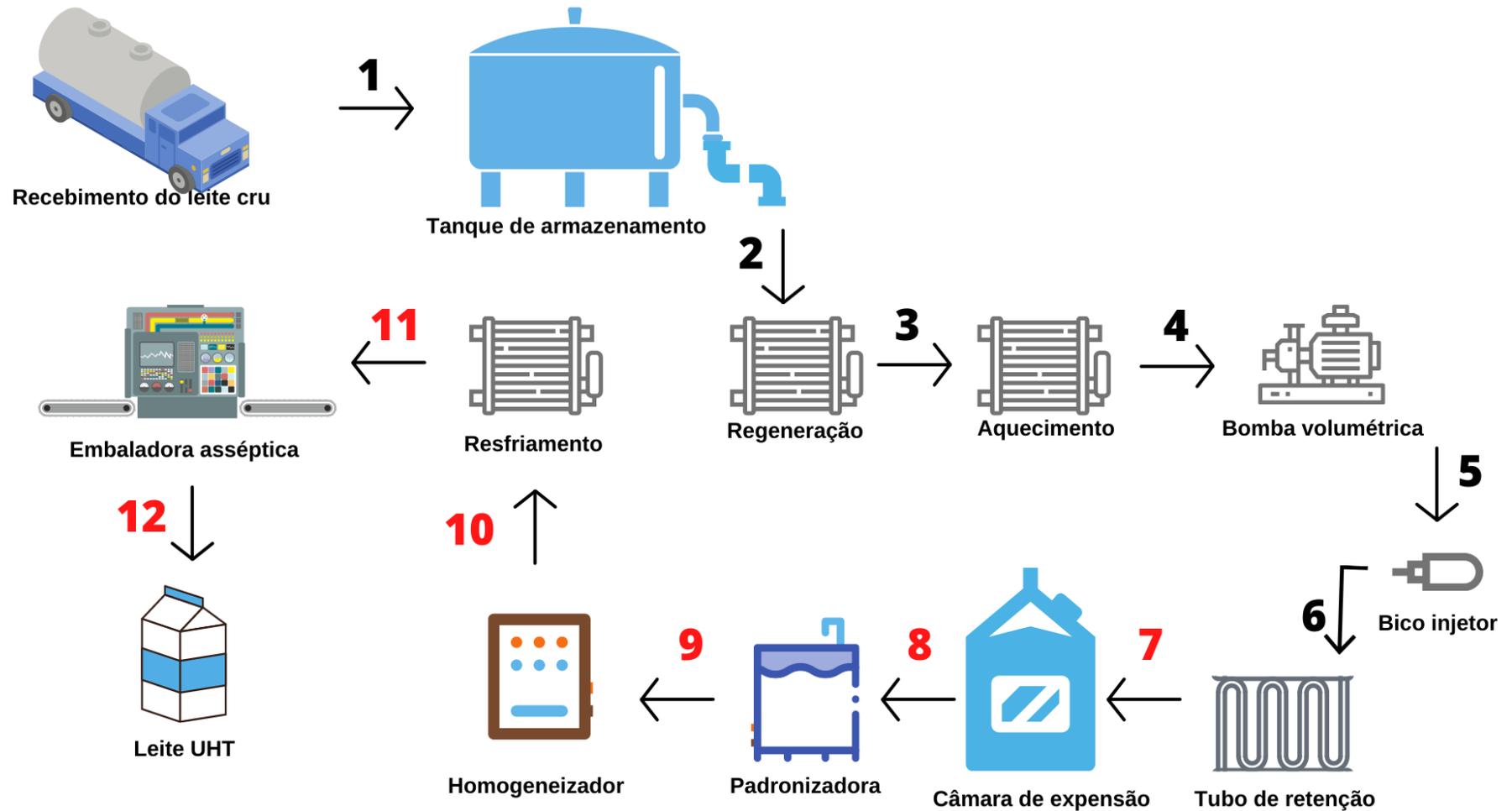
\* Média entre as vitaminas B1, B6, B9 e B12

Fonte: Adaptado Horne, 2019 (*apud DAMODARAN; PARKIN, 2019*), Fellows (2019), Prudêncio (2020a), Prudêncio (2020b).

As principais perdas nutritivas estão relacionadas as vitaminas C, do complexo B (B1, B6, B9 e B12) e do aminoácido lisina, porém há uma diferença na porcentagem de perdas dependendo do processo aplicado. No processo de pasteurização as perdas são de aproximadamente 25% de vitaminas C, 10% de B1, B6, B9 e B12, e 2% de lisina, já para o método de ultra alta temperatura (UAT) as perdas são um pouco maiores, devido as temperaturas mais elevadas utilizadas no processo, as perdas são de aproximadamente 30% de vitaminas C, 20% de B1, B6, B9 e B12, e 6% de lisina (HORNE, 2019 *apud DAMODARAN; PARKIN, 2019; FELLOWS, 2019; PRUDÊNCIO, 2020a; PRUDÊNCIO, 2020b*). Em relação

as enzimas, a fosfatase alcalina é inativada após a pasteurização do leite, enquanto peroxidase estará presente após esse processo, pois somente é inativada em temperaturas maiores do que 80°C, sendo inativada com as temperaturas aplicadas no processo UHT (ALMEIDA, 2006; LEITE *et al.*, 2006; BEZERRA, 2011 *apud* BEZERRA *et al.*, 2011; FELLOWS, 2019; PRUDÊNCIO, 2020a).

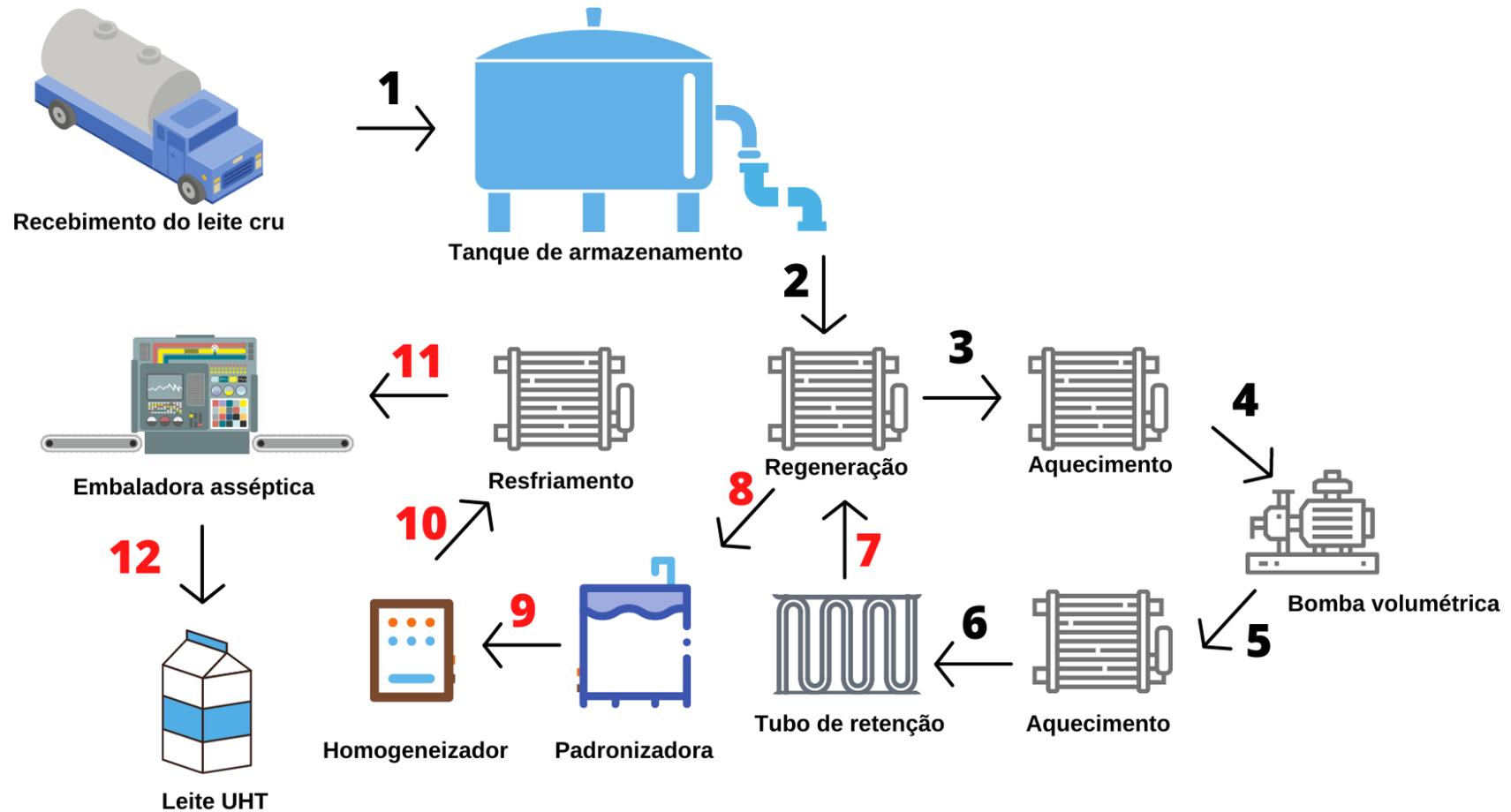
Figura 4: Etapas do processo direto de ultra alta temperatura (UAT ou UHT - *ultra high temperature*) do leite.



Etapas em preto = leite não tratado termicamente, Etapas em vermelho = leite tratado termicamente

Fonte: Adaptado Prudêncio (2020b).

Figura 5: etapas do processo indireto de ultra alta temperatura (UAT ou UHT - *ultra high temperature*) do leite.



Etapas em preto = leite não tratado termicamente, Etapas em vermelho = leite tratado termicamente  
 Fonte: Adaptado Prudêncio (2020b).

### 4.2.3 Concentração

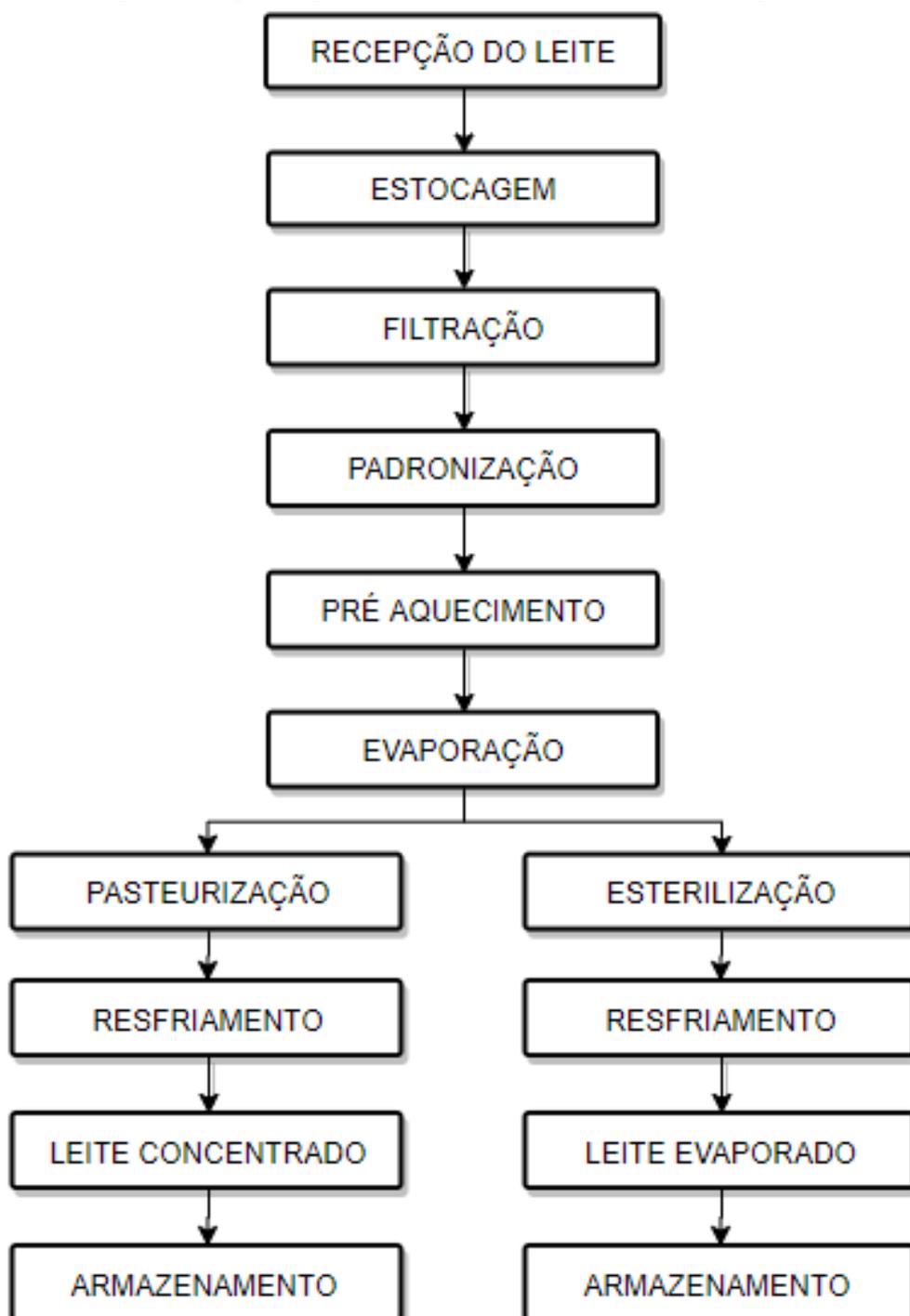
Leite concentrado é o leite que apresenta a remoção parcial de água, empregando processos e tratado termicamente pela pasteurização. Leite evaporado utiliza as mesmas etapas tecnológicas que o leite concentrado, no entanto, por apresentar maior teor de água deve ser submetido a um processo térmico de esterilização. No processamento destes tipos de leites (Figura 6), previamente é realizado um aquecimento com temperaturas entre 105 e 130°C; reduzida sua pressão, a fim de diminuir a temperatura de ebulição do leite; normalizados de acordo com a legislação; homogeneizados; e tratados termicamente. O leite concentrado passa por um processo com temperaturas entre 72 e 78°C, já o evaporado entre 110 e 140°C. Desta forma, o leite concentrado necessita de temperatura de refrigeração (~ 4°C), enquanto o leite evaporado pode ser armazenado em temperatura ambiente (RAYMUNDO, 2011 *apud* BEZERRA *et al.*, 2011a).

A evaporação pode ser realizada em um evaporador de simples efeito ou simples estágio, que emprega um único evaporador ou em um evaporador de múltiplo efeitos, que emprega dois ou mais equipamentos. O evaporador de múltiplo efeito é muito mais econômico porque utiliza vapor secundário de um dos seus efeitos para aquecer um outro efeito. O evaporador mais utilizado na concentração do leite é o tipo filme descendente, onde o leite desce através de um conjunto de tubos internos do equipamento, com circulação de vapor fazendo com que o leite entre em ebulição pela troca de calor com os tubos. O vapor e o leite são separados em uma câmara lateral acoplada ao equipamento, por diferença de densidade, em que o vapor consegue sair pela parte superior presente no equipamento, por ser menos denso, e o leite concentrado para a parte inferior. O vapor que sai desta câmara é o vapor secundário que é reaproveitado em um mesmo ou posterior evaporador (PRUDÊNCIO, 2020c).

Outro produto concentrado que também utiliza o evaporador de filme descendente é o leite condensado (Figura 7). Este produto apresenta parte da água removida e nele é adicionada um xarope de 75% de sacarose, sendo preferencialmente adicionado depois das etapas que envolvem temperaturas elevadas, a fim de evitar uma coloração escura. Um dos fatores responsáveis pela coloração escura do leite condensado é a reação de caramelização e a reação de Maillard. O leite condensado pode ser adicionado no máximo de 0,2% do volume final do produto de estabilizantes, como o bicarbonato de sódio, o citrato de sódio e/ou o de potássio. Depois de resfriado, o leite condensado deve ser embalado (PRUDÊNCIO, 2020c). A adição de açúcar a este produto

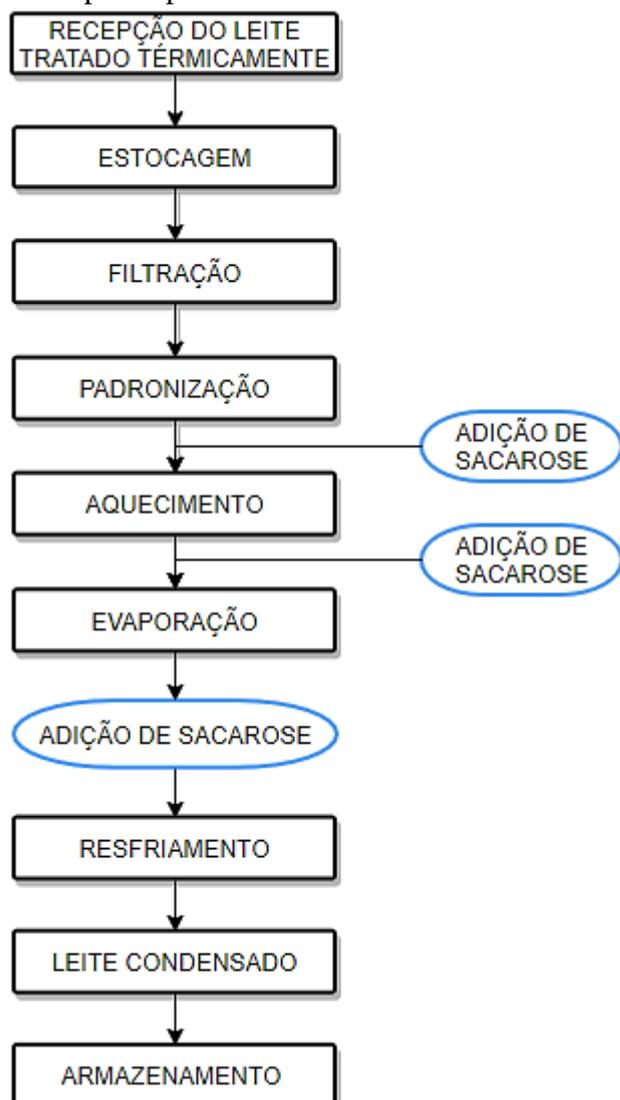
acarreta uma vantagem de aumentar a conservação sem refrigeração, dado que além de ser submetido a um tratamento térmico, a pressão osmótica aumenta pela concentração do açúcar, impossibilitando o desenvolvimento da maior parte dos microrganismos (ROSSI *et al.*, 2018 *apud* VIDAL; NETTO, 2018).

Figura 6: Etapas do processamento de leite concentrado e evaporado.



Adaptado: Raymundo (2011 *apud* Bezerra *et al.*, 2011a).

Figura 7: Etapas do processamento de leite condensado.



Fonte: Adaptado Prudêncio (2020c).

#### 4.2.4 Secagem empregando *spray dryer* ou *drum dryer*

O processo de *spray drying* é usado na fabricação do leite em pó, mas também é aplicado para iogurte, queijo, farinhas lácteas e compostos lácteos em pó, onde previamente o leite cru é pasteurizado, concentrado em evaporador de múltiplos efeitos e submetido ao *spray dryer* (Figura 8). No evaporador, a concentração é realizada com temperatura em torno de 50°C, reduzindo cerca de 60 a 70% de água, diminuindo a propensão de desenvolvimento microbiano e reduzindo custos com a desidratação total. Essa primeira operação unitária é a mesma para a produção de leites concentrados, evaporados ou leite condensado. Depois de concentrado, o leite é desidratado em *spray*

*dryer*, que remove a água empregando temperatura entre 150 e 250°C em alguns segundos, produzindo um ar de saída com temperaturas menores entre 90 e 100°C, atingindo a temperatura do bulbo úmido entre 40 e 50°C, transformando então o leite concentrado em leite em pó, separado por meio de um ciclone (Figura 9). O ar aquecido entra em contato com a gotícula antes de encostar na parede do equipamento, evitando que este seja depositado. Caso não seja direcionado para a instantaneização, seguirá diretamente para o envase asséptico em embalagens previamente esterilizadas, não necessitando de refrigeração (SILVA; VIDAL; NETTO, 2018 *apud* VIDAL; NETTO, 2018; FELLOWS, 2019).

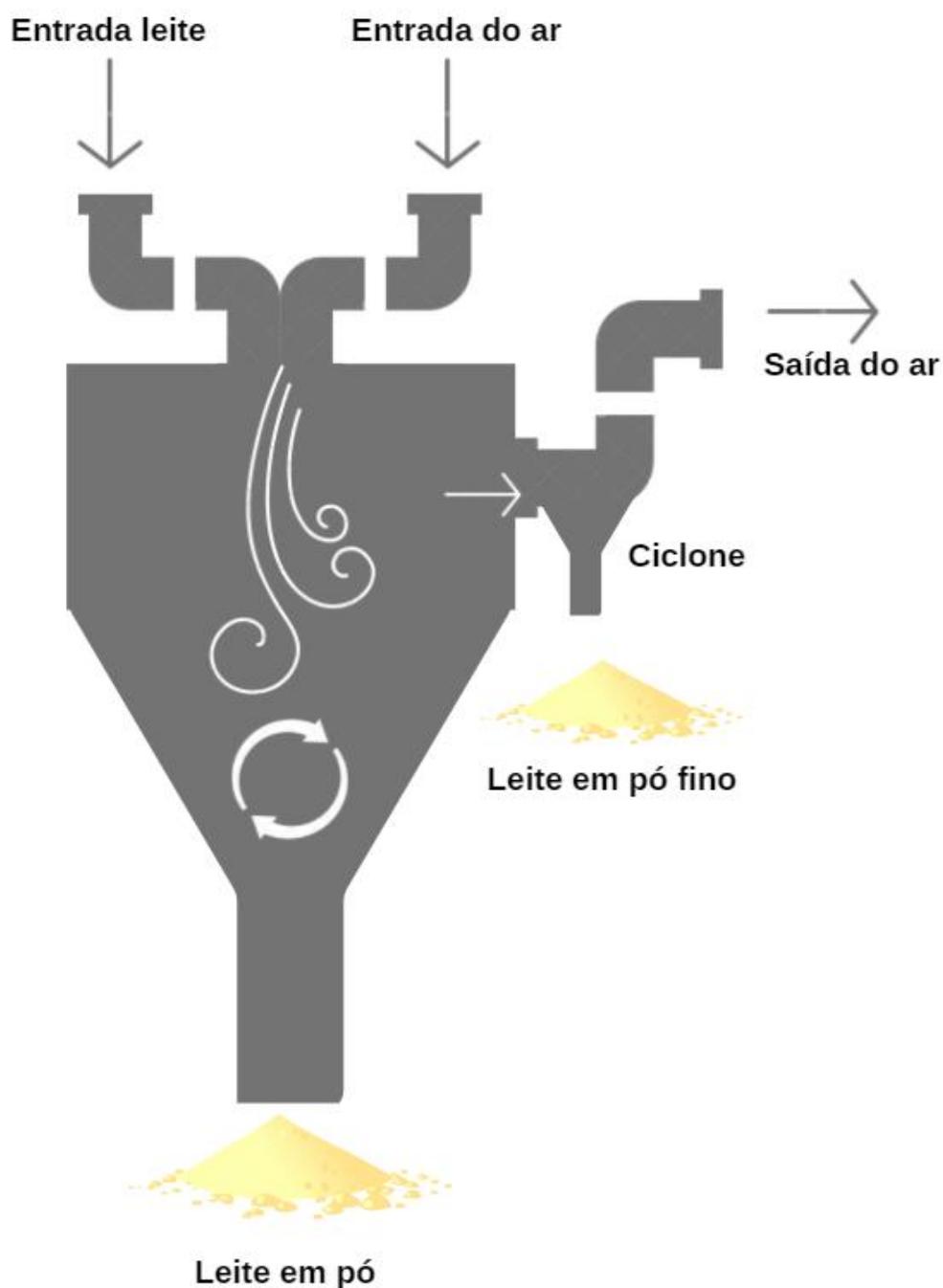
No processo de *spray drying*, o atomizador usado está de acordo com a viscosidade da matéria prima e a presença de partículas, podendo os atomizadores serem dos seguintes tipos: centrífugo rotatório, disco ou roda, de bico ou pressão de líquido simples, de bico de duplo fluído ou bico ultrassônico. O uso destes atomizadores para desidratar o leite concentrado apresenta vantagens de produção contínua em grande escala, baixo custo de mão de obra, manutenção simples, porém é necessário um investimento inicial alto. Entretanto, a instantaneização empregando secadores de leite fluidizado são utilizados porque são eficientes e apresentam menor custo energético (FELLOWS, 2019).

A instantaneização pode ser realizada posteriormente a etapa de desidratação do leite em pó, resultando em partículas aglomeradas em tamanhos superiores a 100 mm, evitando assim, que ocorra o umedecimento superficial destas partículas e a formação de um gel o qual impede a entrada da água. Na aglomeração são formadas “bolsas” de pó seco e ar que somente se dispersam por ação mecânica (SILVA; VIDAL; NETTO, 2018 *apud* VIDAL; NETTO, 2018). Quando ocorre a utilização desse processo, os produtos deverão ser denominados instantâneos (MAPA, 2018a). Este tipo de leite em pó instantâneo possui melhor solubilidade em água quente e fria, quando comparado com o leite em pó convencional. Devido ao aumento do tamanho da densidade e tamanho das partículas, também há melhor cristalização da lactose. Geralmente o secador de leite fluidizado encontra-se no formato acoplado à câmara de secagem do *spray dryer*, resultando na obtenção de um leite em pó de dissolução instantânea (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005a; FELLOWS, 2019). Neste formato, o leite que sai da câmara principal do *spray dryer* é reumidificado no secador de leite fluidizado (entre 10 e 12% de umidade), atingindo ao final do secador de leite fluidizado um leite instantâneo com teor de umidade em torno 4,5% (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005a).

Figura 8: Fluxograma do tratamento de desidratação por *spray dryer*.

Fonte: Adaptado Prudêncio (2020c).

Figura 9: Representação do funcionamento do *spray dryer* empregado na desidratação do leite.



Fonte: Adaptado Prudêncio (2020c).

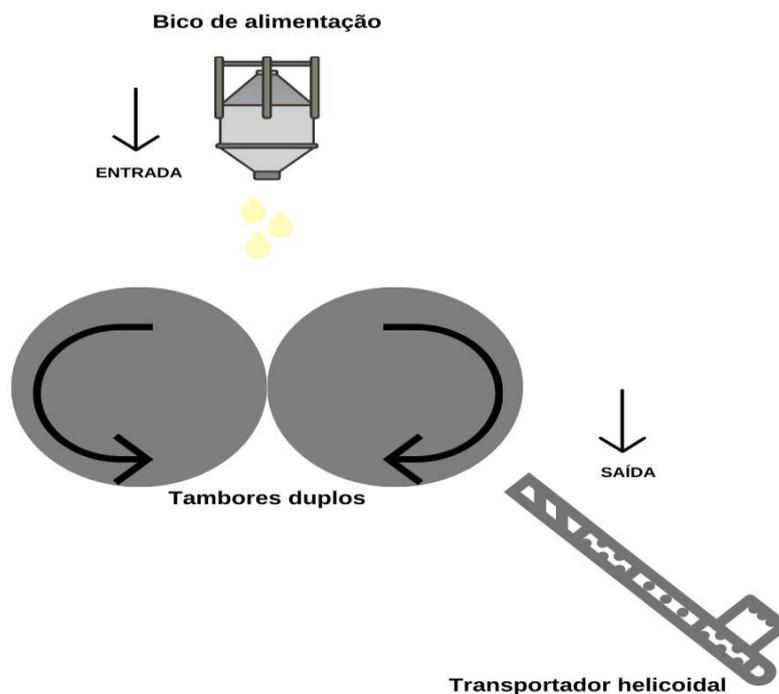
As propriedades físicas entre os leites em pó obtidos do *spray dryer* apresentam partículas de identidades físicas próprias que podem ser avaliadas através da determinação da molhabilidade, da imersibilidade, da solubilidade e da dispersibilidade, garantindo a qualidade desejada desse tipo de produto. A molhabilidade é definida como a propriedade do pó em adsorver a água por toda a sua superfície pelo fenômeno de capilaridade. Esta propriedade é influenciada pelo teor de gordura do leite, sendo que o

alto teor de lipídeos a afeta negativamente. A imersibilidade é outra propriedade avaliada do leite em pó que mede a capacidade do mesmo em imergir na água, sendo afetada pelo valor da densidade do pó. A dispersibilidade determina a capacidade das partículas aglomeradas em serem separadas. Outra propriedade é a solubilidade que avalia a velocidade do pó em se dissolver no líquido (água) (WOJSLAW, 201-).

Outra forma de tornar o leite em pó instantâneo será através da adição de lecitina de soja, aplicado nos leites integrais, devido a elevada hidrofobicidade proveniente da gordura. A adição de lecitina baseia-se na adição de um aditivo com função de emulsificante, como a lecitina de soja, que possui características anfifílicas com parte da sua composição hidrofílica, radical fosfato-colina, e parte lipofílica correspondendo ao ácido graxo, auxiliando na ligação da gordura no líquido (VISSOTTO *et al.* 2006; NICOLINI, 2008). Conforme a RDC nº 244, de 17 de agosto de 2018, o limite máximo de lecitina que pode ser adicionado ao leite em pó é de 5g de lecitina de soja por quilo de leite em pó (ANVISA, 2018).

A secagem do leite empregando um tambor de superfície aquecida é também conhecida por secagem em *drum dryer*, secador de rolo ou *roller dryer*. A secagem em *drum dryer* consiste na desidratação do leite quando o mesmo é espalhado sobre a superfície de um tambor rotatório que contém vapor internamente, aquecendo a superfície do tambor e removendo a água do leite através da transferência de calor por condução. O leite é primeiramente concentrado até atingir 16 e 18% de sólidos totais, pré-aquecido e armazenado em reservatório, a fim de ser aplicado na superfície dos tambores. Uma fina camada do leite é aplicada na superfície do tambor rotatório que à medida que gira lentamente desidrata o leite, que é removido da superfície através de uma lâmina que raspa toda a superfície do tambor, sendo esse leite em pó recolhido por um transportador helicoidal (RAYMUNDO, 2011 *apud* BEZERRA *et al.*, 2011b; FELLOWS, 2019). O *drum dryer* pode conter um tambor ou dois tambores, sendo o mais usado o de dois tambores devido a maior capacidade de desidratação (Figura 10). Na indústria láctea, a secagem empregando o *drum dryer* é utilizada na produção de farinhas lácteas, que apresentam formato de flocos. No Brasil, as farinhas lácteas começaram a ser produzidas no ano de 1992 por uma empresa de laticínios que buscava inovar e produzir um produto com boa aceitação pelos consumidores (ITAL, 2013).

Figura 10: Esquema de desidratação do leite empregando o equipamento *drum dryer* de tambores duplos.



Fonte: Adaptado Fellows (2019).

#### 4.3 TECNOLOGIAS EMERGENTES NO PROCESSAMENTO DE PRODUTOS LÁCTEOS

As tecnologias denominadas emergentes são aquelas que utilizam processos consolidados, mas atualmente não utilizados pela indústria, assim como aquelas totalmente inovadoras. Resumidamente estas tecnologias emergentes buscam respeitar as legislações; garantir a segurança dos alimentos, a validade do produto, a redução de perdas sensoriais e nutricionais, o desenvolvimento de propriedades funcionais e sensoriais, a melhora da aceitação de determinados produtos; ou reduzir a geração de efluentes, diminuindo o impacto ambiental. Muitas vezes é sugerido que estas tecnologias sejam utilizadas conjuntamente com processos tradicionais (CHEMAT; ZILL-E-HUMA; KHAN, 2011; CULLEN; TIWARI; VALDRAMIDIS, 2012). Assim, na produção de leites e derivados as seguintes tecnologias são consideradas emergentes: liofilização, tratamento com dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) supercrítico, ultrassom, aquecimento ôhmico, campo elétrico pulsado, crioconcentração, microfiltração, nanofiltração, ultrafiltração, alta pressão isostática, ozonização e plasma a frio.

### 4.3.1 Liofilização

A liofilização, também conhecida por *freeze-drying*, criodesidratação ou criosecagem, consiste na retirada de água previamente congelada, mas presente no alimento, empregando a sublimação com vácuo, transformando a água do alimento do estado sólido para o estado gasoso sem passar pelo estado líquido. Na liofilização é utilizada baixa pressão que favorece o ponto de vaporização da água em temperaturas menores, não sendo amplamente aplicada devido ao seu alto custo e por não estar bem consolidada.

Nesta tecnologia são usados parâmetros para que o alimento permaneça abaixo do ponto triplo da água, assim não ocorre a fusão, passando a água de estado sólido para o líquido. Esse processo consiste em três etapas, congelamento do alimento, sublimação (secagem primária) e dessorção (secagem secundária) (GONÇALVES, 2015). O resultado desta tecnologia é a obtenção de um produto poroso, de fácil dissolução em água, com suas características mantidas, não ocorrendo alterações de tamanho, textura, sabor, aroma e de nutrientes como vitaminas e proteínas (MARTINS *et al.*, 2012.).

Para a utilização da liofilização em leites e derivados, primeiramente estes devem ser congelados rapidamente em temperaturas inferiores a  $-50^{\circ}\text{C}$ , para a formação de cristais de gelo pequenos, evitando a ruptura celular que pode ser causada caso o congelamento seja lento, formando cristais maiores e irregulares. Vale ressaltar que o tamanho dos cristais de gelo é importante na liofilização de um alimento porque a retirada de água do alimento é dependente da resistência do mesmo à transferência de calor (MARTINS *et al.*, 2012; FELLOWS, 2019).

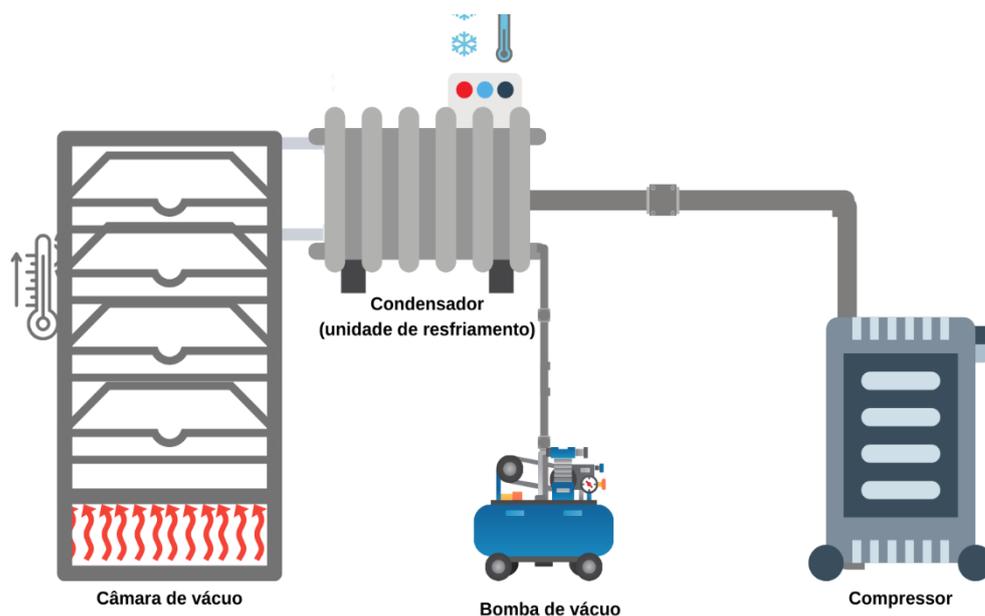
A sublimação é realizada em uma câmara com aplicação de vácuo para a remoção da água, anteriormente congelada. A água livre congelada passa ao estado gasoso, formando poros no interior do alimento, pela pressão reduzida aplicada a câmara para manter a temperatura acima da temperatura crítica, aplicando uma temperatura para a desidratação lentamente. O vapor proveniente da retirada da água é removido por condensação nas bobinas de refrigeração. Nesta etapa ocorre a retirada média de 90% de umidade (TERRONI *et al.*, 2013; FELLOWS, 2019). Na secagem secundária ou dessorção retira-se a água ligada ao alimento, em torno de 10%, chegando a atingir 2% de umidade final com o produto já finalizado. Na liofilização a taxa de transferência de massa é controlada por fatores do gradiente de pressão d'água, a pressão da câmara de secagem e a temperatura de secagem, que deve ser a menor possível, a temperatura do

gelo deve ser elevada, porém sem fazer com que ocorra o derretimento (FELLOWS, 2019).

O liofilizador possui uma câmara de vácuo com bandejas, bombas de vácuo e uma unidade de refrigeração, podendo ter o processo por batelada, semicontínuo ou contínuo (Figura 11). Sua eficiência é calculada pela razão da temperatura de sublimação pela temperatura de refrigeração no condensador. As vantagens desse processo para o produto são aumento da validade, aumento da qualidade do produto, aumento do valor agregado, fácil reidratação, conservação das características sensoriais do produto, menor peso e volume, redução de gastos de transporte e armazenagem, redução da oxidação, manutenção da estrutura, boa porosidade, a manutenção do valor nutritivo após a reidratação, diminuição da ação de enzimas e diminuição da desnaturação de proteínas. Entretanto, as principais desvantagens da liofilização estão relacionadas ao elevado custo dos equipamentos e da energia usada, assim como o uso de embalagens específicas e os altos custo de manutenção (GONÇALVES, 2015). Vale ressaltar que a embalagem empregada deve proteger o produto liofilizado de danos mecânicos e contra a umidade, como por exemplo, usar embalagens com filmes que possuem barreiras. No entanto, como todo o processo de desidratação, a liofilização não é usada para reduzir a carga microbiana, sendo então necessário que a matéria prima passe por algum tratamento térmico que garanta sua segurança (FELLOWS, 2019).

Uma das vantagens creditada ao uso da tecnologia de liofilização em uma indústria de laticínios é o uso de temperaturas de congelamento do leite e dos derivados lácteos. O uso desta tecnologia é eficiente para estes derivados porque é capaz de manter as suas características físico-químicas, sensoriais e as bactérias lácticas viáveis. Os derivados lácteos liofilizados possuem praticidade de estar quase pronto para o consumo, precisando apenas da adição de água para a reidratação, facilidade no transporte e não por não necessitar de refrigeração. Como esse processo pode ser feito em produtos termo sensíveis, leites e seus derivados poderiam ser desidratados empregando a liofilização (YAMAGUCHI, 2017).

Figura 11: Esquema das etapas envolvidas no processo de liofilização.



Fonte: Autora (2021).

Koga (2015) estudou a fabricação de leite em pó sem lactose por liofilização, bem como a sua aceitabilidade pelos consumidores. Estes autores utilizaram leite desnatado em pó, obtidos comercialmente, e adicionaram água até atingir o teor de sólidos totais iguais a 10%, 13,3%, 20% e 40%. Além disso, dividiram estas amostras em dois grupos, sendo um com lactose, e outro sem lactose no qual foi realizada previamente a hidrólise da lactose pela adição da enzima  $\beta$ -galactosidase. As amostras de leite foram congeladas a  $-18^{\circ}\text{C}$  em placas de petri e liofilizadas, sendo a amostra com 40% de sólidos a que apresentou o menor tempo de liofilização e o maior rendimento. A adição de 0,6% de lecitina de soja ajudou na solubilidade, molhabilidade e dispersibilidade. No teste de avaliação sensorial, o leite liofilizado foi bem aceito, assim como os produtos saborizados e liofilizados receberam notas altas de aceitação e intenção de compras. Com base neste estudo é visto a viabilidade da produção de um leite em pó com baixo teor de lactose pelo processo de liofilização, uma alternativa no ponto de vista tecnológico pela sua boa aceitabilidade (KOGA, 2015).

Segundo Yamguchi (2017) e Fellows (2019) comparando o processo tradicional de desidratação, a liofilização apresenta diferenças que estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Comparação do método de secagem convencional empregando *spray dryer* e a liofilização.

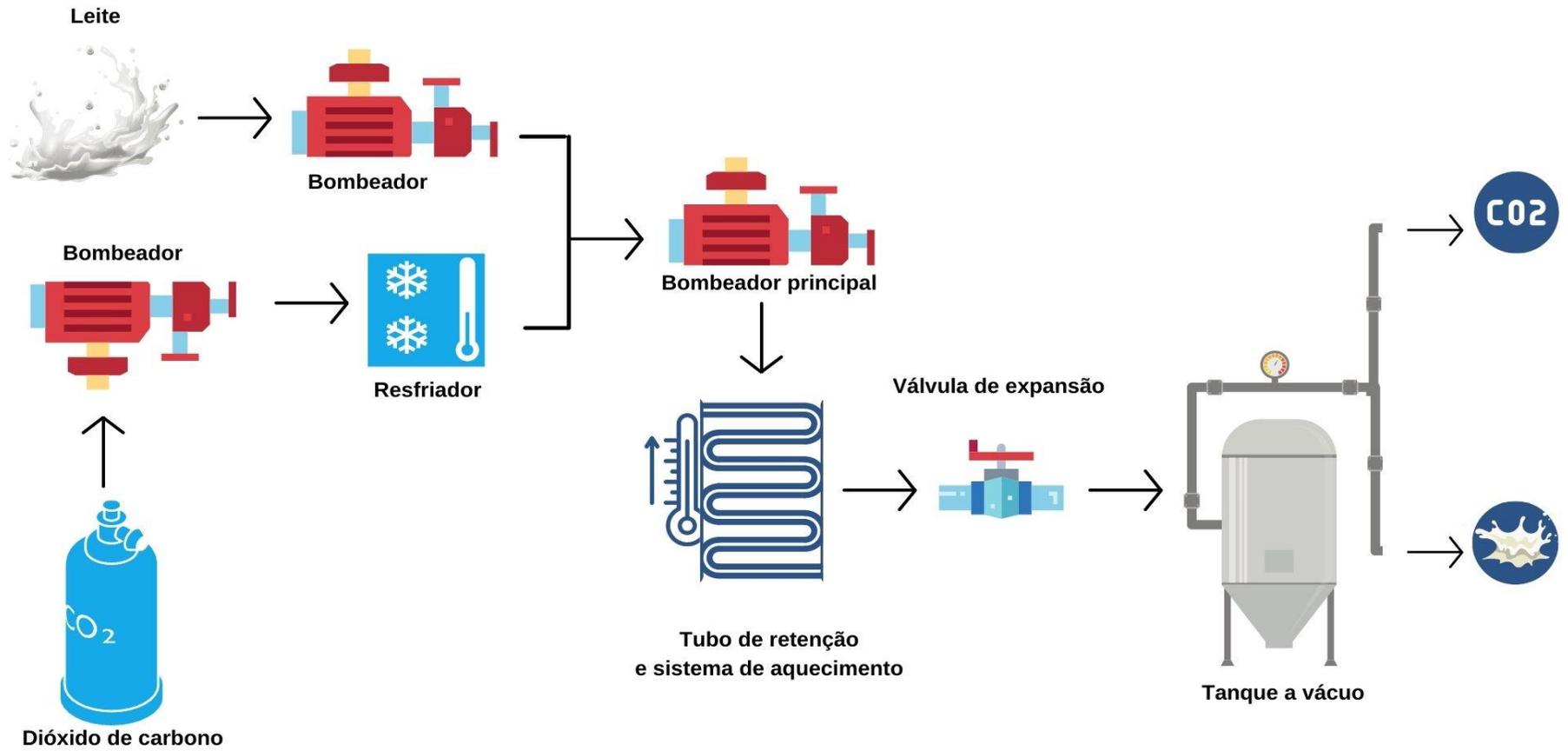
Parâmetros	Secagem convencional ( <i>Spray dryer</i> )	Liofilização
Temperatura (°C)	37-93°C	Abaixo do ponto de congelamento
Pressão (atm)	1	0
Tempo	Minutos	Horas
Retirada da água	Evaporação	Sublimação
Reidratação	Lenta e incompleta	Rápida e completa
Aspectos sensoriais (odor e sabor)	Reduzidos	Normais (Retenção de 80-100% do aroma)
Coloração	Escura	Do produto
Valor nutricional	Diminuído	Mantido
Custos	Baixos	Elevados

Fonte: Adaptado Taguchi (2017) e Fellows (2019).

#### 4.3.2 Tratamento com dióxido de carbono supercrítico

A aplicação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) supercrítico é uma tecnologia emergente que pode ser aplicada a alimentos visando a redução da carga microbiana, sem a utilização de altas temperaturas, sendo um potencial tratamento para substituir os convencionais que usam altas temperaturas (BERENHAUSER, *et al.*, 2018). Este tratamento inativa células vegetativas, leveduras, mofos, vírus, esporos e enzimas (FELLOWS, 2018). O tratamento com dióxido de carbono supercrítico apresenta vantagens como não ser inflamável, atóxico, inerte, uso de baixas temperaturas, não necessita de ventilação e não gera resíduos (ZHANG, *et al.*, 2006). Vale ressaltar que este tratamento é um processo indicado para alimentos líquidos, contudo para sólidos a difusão do CO<sub>2</sub> é baixa (FELLOWS, 2019). As etapas do tratamento com dióxido de carbono supercrítico estão descritas na Figura 12.

Figura 12: Esquema de um sistema semicontínuo com dióxido de carbono supercrítico.



Fonte: Adaptado de Fellows (2019).

Conforme Spilimbergo e Bertucco (2003) os mecanismos de atuação tratamento com dióxido de carbono supercrítico consiste primeiramente na diminuição do pH, com a ruptura celular pelo aumento da pressão interna, resultando em modificações na membrana celular, na extração da parte lipídica e na inativação enzimática. Células de microrganismos podem ser destruídas pela expansão do CO<sub>2</sub>, mas o teor de umidade nas células vegetativas influencia na sua inativação. Células com maior umidade aumentam a solubilidade do CO<sub>2</sub> e a sua penetração. Neste tratamento são utilizadas pressões um pouco elevadas, temperatura entre 30 e 50°C e tempo curto de aproximadamente 5 minutos em sistemas contínuos ou semicontínuos, sendo que o semicontínuo favorece a maior interação com o alimento, mostrando-se mais eficaz, resultando assim em perdas mínimas de qualidade tanto nutricionais e sensoriais. Os equipamentos deste tipo de tratamento possuem preço menor do que outras tecnologias emergentes (FELLOWS, 2019).

A investigação de processos com fluidos supercríticos é preciso, para ser avaliado o efeito negativo na qualidade nutricional dos produtos. Segundo Casal *et al.* (2006) em estudo analisando a reação de Maillard sob efeito do tratamento com dióxido de carbono supercrítico, em diferentes valores de pH, com pressão a 30 MPa e 50° C até 5 horas, utilizou-se três amostras de leite em pó, adicionadas de caseínamacropéptídeo (CMP) mais lactose em pH 11, β-lactoglobulina (β-Ig) mais lactose em pH 6,5 e em 7,5 e 9,5, ambas as amostras possuíam um controle sem o tratamento com CO<sub>2</sub> supercrítico. Foi observado neste estudo uma diminuição do pH devido ao CO<sub>2</sub>, gerando uma diminuição dos grupos aminos reativos não protonados, reduzindo então a taxa de lactosilação, principalmente em pH mais alcalino. Esses resultados indicam que o tratamento não favoreceu a reação de Maillard (CASAL *et al.*, 2006).

### 4.3.3 Ultrassom

O método de ultrassom ainda é pouco aplicado na indústria de alimentos, porém tem-se mostrado uma alternativa a tratamentos térmicos por meio de fenômenos químicos e físicos. Para ser eficaz é preciso que seja combinado com um tratamento térmico moderado, que juntos destroem bactérias, enzimas e esporos (VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2018). A combinação de métodos pode ser de ultrassom e pressão (manossonicação - MS), ultrassom e calor (termossonicação - TS) e ultrassom com pressão e calor (manotermossonicação - MTS). Destes métodos o MTS inativa grande maioria das

enzimas e microrganismos termófilos (RANA; PARMAR; ANITA RANA, 2017). Com isto tem-se observado que o ultrassom necessita ser empregado juntamente com pressão, calor ou ambos para ser eficiente na destruição dos microrganismos (PIYASENA; MOHAREB; MCKELLAR, 2003). Esses procedimentos combinados fazem com que o aquecimento seja brando, não acarretando danos térmicos como os processos convencionais, além de reduzir a energia usada. Entretanto, a aplicação do ultrassom pode não ser eficiente na inativação microbiana, necessitando que ocorra com maior duração e intensidade, podendo gerar modificações indesejáveis no alimento. Contudo, em combinação, a taxa de esterilização dos alimentos pode ser acelerada, diminuindo a duração e a intensidade do tratamento térmico e os danos ao alimento, com vantagens de redução da perda de sabor, maior homogeneidade e economia de energia (FELLOWS, 2019). Conforme Chemat, Zill-e-Huma e Khan (2011), o método mais eficaz é a combinação MTS, pois é capaz de inativar células vegetativas, esporos e enzimas, seguido pelo TS, inativando células vegetativas e esporos e, por último, somente o ultrassom que inativaria as células vegetativas (CHEMAT; ZILL-E-HUMA; KHAN, 2011).

O efeito na redução da carga microbiana do alimento depende da frequência e da intensidade das ondas, bem como da composição do alimento a ser processado. O método de ultrassom é baseado na aplicação de ondas de ultrassom que possuem uma determinada pressão, essas ondas atingem a superfície do alimento produzindo uma força, podendo ser perpendicular com uma onda de compressão que se move pelo alimento, ou paralela com uma onda de cisalhamento. Este método não deve apresentar mudanças rápidas de pressão para não haver a criação e o colapso de bolhas, conhecido como cavitação acústica, liberando energia localizada, produzindo radicais hidróxidos que formam ligações cruzadas com as proteínas. A inativação enzimática pode ser explicada pela modificação na estrutura juntamente ao aquecimento (FELLOWS, 2019).

O equipamento que faz esse processo é um transdutor piezoelétrico, transmitindo o ultrassom por meio de uma peça submersa no leite, com frequência de aproximadamente 20 kHz (FELLOWS, 2019). De acordo com Rana, Parmar e Anita Rana (2017) a aplicação de ondas ultrassônicas de alta potência ou de baixa frequência são aplicadas para destruição de bactérias, uma vez que conseguem romper células e desnaturar enzimas. Quando essas ondas de alta densidade são aplicadas juntamente a tratamentos térmicos com temperaturas moderadas, o processo de esterilização é realizado em tempos mais curtos, conseqüentemente o processamento se torna menos intenso, diminuindo os prejuízos causados no alimento, com por exemplo, a perda de

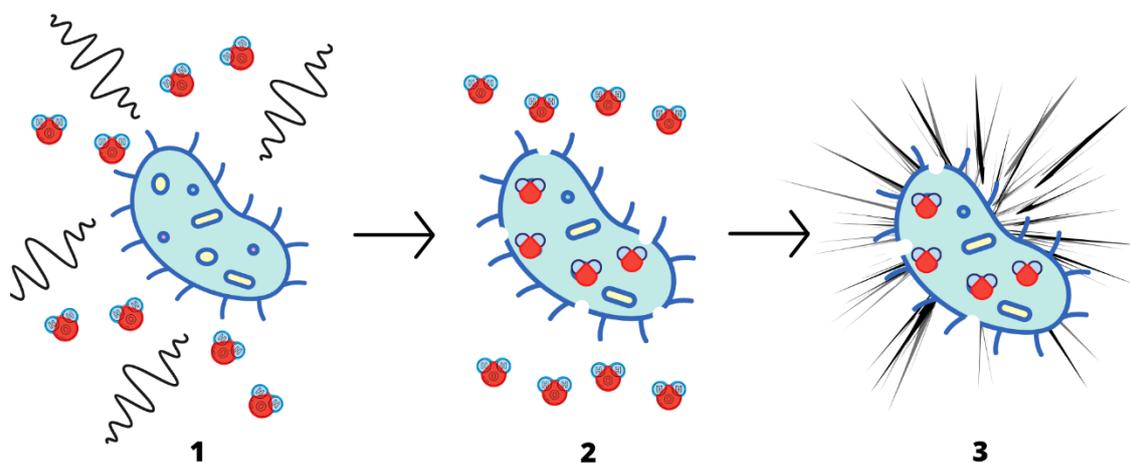
sabor e homogeneidade da amostra. Este método ainda é economicamente mais viável em relação ao gasto energético dos métodos convencionais, podendo ser considerado um método mais sustentável, uma tendência atual de mercado. O ultrassom pode ser aplicado para modificar o metabolismo das células bacterianas, com o uso de ultrassom de baixa densidade. Algumas vantagens desse processo são o maior rendimento, qualidade e produtividade, realização em tempos menores e redução de custos (RANA; PARMAR; ANITA RANA, 2017).

No processo de ultrassom ocorre a cavitação que é caracterizada por aumentar e implodir cavidades de vapor e gases em um líquido, sendo causada pelas mudanças de pressões. Na compressão a pressão é positiva e na expansão é negativa e, assim, produz o vácuo, gerando as cavidades (MARTINES; DAVOLOS; JAFELICCI JÚNIOR, 1999). A cavitação é responsável pela morte das bactérias presentes no alimento, devido a formação das bolhas de gás que na expansão possuem maior área de superfície pela difusão do gás, quando a energia não é mais suficiente para retê-lo ocorre uma implosão, com isso há o aumento de temperatura e pressão afetando as células bacterianas. Neste processo podem ser atingidas temperaturas de 5500°C e pressão de 50000 kPa (PIYASENA; MOHAREB; MCKELLAR, 2003).

As ondas ultrassônicas de alta intensidade têm poder de romper células e desnaturar enzimas, as de baixa intensidade são capazes de modificar o metabolismo das células. A cavitação intracelular e os choques mecânicos rompem os componentes estruturais e funcionais celulares até que ocorra a *lise* celular (Figura 13). O uso do método de ultrassom possui diversos fundamentos como desintegração, extração de proteínas e enzimas, extração de lipídeos e proteínas, inativação microbiana e enzimática, dispersão e desaglomeração ultrassônica, sinergia com outros processos que envolvem pressão e calor, sonicação de garrafas e latas para detecção de vazamento, liberação de compostos fenólicos e antocianinas e efeitos químicos e bioquímicos. Para empregar esse método na produção de leites e derivados é necessário estudar alguns fatores que influenciam no processo como, amplitude das ondas de ultrassom, exposição ou tempo de contato, volume de alimentos processados, composição e temperatura de tratamento, para que este se torne eficaz e garanta a segurança do produto em relação a carga microbiana (RANA; PARMAR; ANITA RANA, 2017). Conforme citado por Piyasena, Mohareb e Mckellar (2003), há estudos verificando a eficiência da atuação do ultrassom na redução na contagem de microrganismos como *Listeria monocytogenes*, cepas de

*Salmonella ssp.*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Bacillus subtilis* (PIYASENA; MOHAREB; MCKELLAR, 2003).

Figura 13: Representação do efeito do ultrassom na célula microbiana.

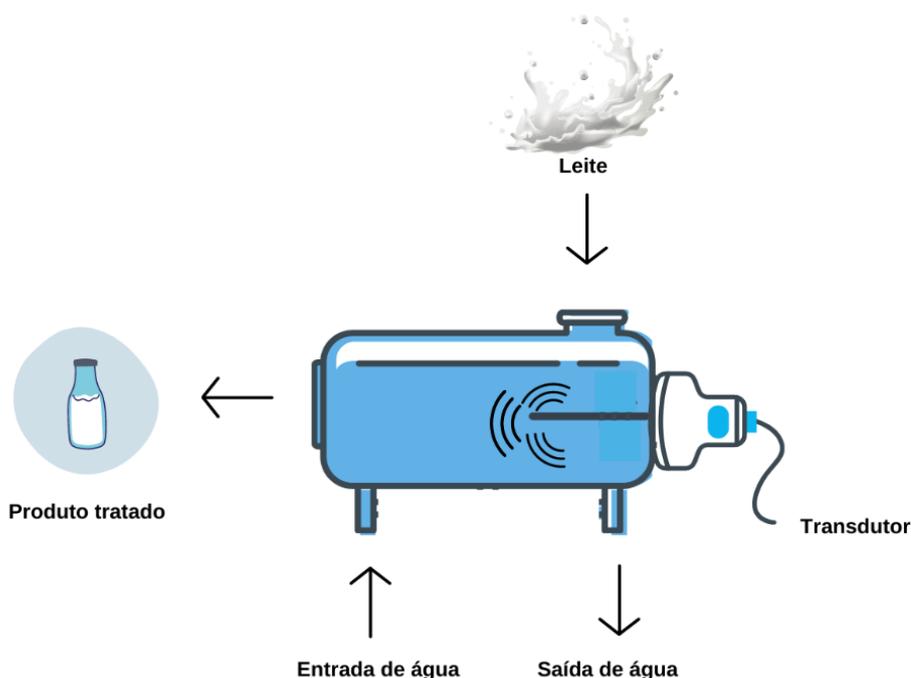


1 = Efeito do ultrassom na célula, 2 = Ruptura da membrana celular da célula com entrada de água extracelular, 3= lise celular

Fonte: Adaptado Chemat, Zill-e-Huma e Khan (2011).

O ultrassom é aplicado conjuntamente com muitas outras técnicas, a fim de aumentar a sua eficiência, como por exemplo, o congelamento, o corte, a têmpera, o branqueamento, a extração e com relação aos leites e seus derivados, podendo ser utilizado conjuntamente com a pasteurização e o tratamento UAT/UHT. O método empregando ultrassom consiste na aplicação dos três seguintes métodos: a aplicação direta ao produto, o acoplamento com o dispositivo e a submersão em banho ultrassônico. O mais empregado industrialmente é a sonda de ultrassom contínuo, por ser ideal para grandes quantidades, pois possui um processo com fluxo contínuo (CHEMAT; ZILL-E-HUMA; KHAN, 2011) (Figura 14).

Figura 14: Esquema do processo de sonda de ultrassom contínuo.



Fonte: Adaptado Verruck e Prudêncio (2018).

#### 4.3.4 Aquecimento ôhmico

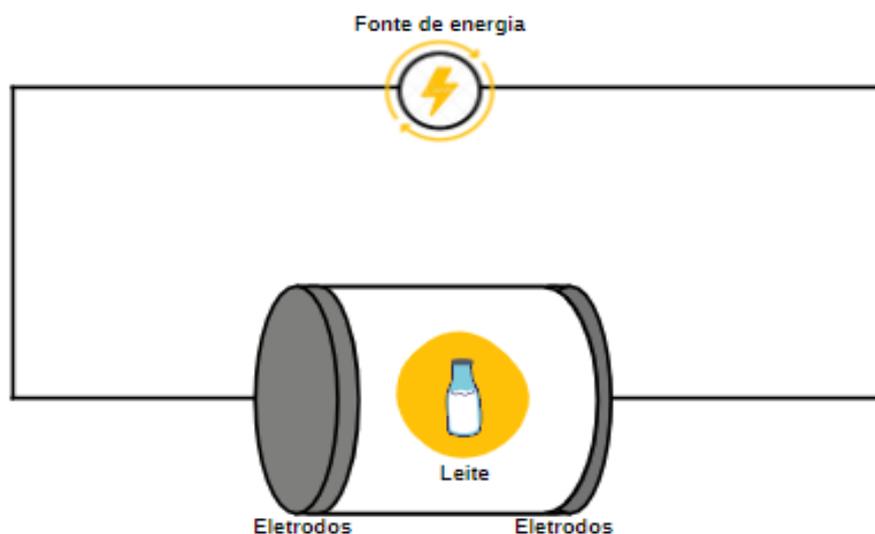
O aquecimento ôhmico é conhecido também como aquecimento Joule, aquecimento por eletro condução ou aquecimento elétrico ôhmico (STANCIL; ZITNY; 2010; PAGANINI; VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2019, *apud* CRUZ *et al.*, 2019; FELLOWS, 2019). Conhecido e já utilizado no início de século XX, o aquecimento ôhmico ainda é considerado uma tecnologia emergente que consiste no aquecimento gerado pela resistência do alimento a passagem de uma corrente elétrica alternada, sendo os problemas relacionados ao eletrodo o responsável pela sua não utilização industrial ao longo destes vários anos. Os problemas de corrosão detectados antigamente nos eletrodos, atualmente são facilmente resolvidos pelo uso de materiais como ouro, platina, e aço inoxidável. Além disso, os eletrodos no tratamento ôhmico devem ter regulada a sua distância para que seja obtido um campo elétrico entre eles considerado eficiente. As incrustações que podem ocorrer acarretam a redução da homogeneidade do campo elétrico, sendo que uma forma de reduzir esse problema é utilizar um regime turbulento para ocorrer convecção, aquecimento gerado pelo movimento do fluido, evitando o superaquecimento na superfície do eletrodo. Nas indústrias, incluindo as de

beneficiamento do leite, essa falha dificulta o processo de limpeza de equipamento, perda da qualidade, diminuição da transferência de calor, podendo até ser um local de crescimento microbiano ou formação de biofilme, causando contratempos no processamento (STANCIL; ZITNY; 2010; CAPPATO *et al.* 2017; PAGANINI; VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2019, *apud* CRUZ *et al.*, 2019; FELLOWS, 2019).

Ao aquecimento ôhmico muitas vezes são creditadas características similares ao processo de micro-ondas, no entanto, estas tecnologias são diferentes, sendo uma das diferenças o contato direto do alimento com o eletrodo no tratamento ôhmico (STANCIL; ZITNY; 2010; PAGANINI; VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2019, *apud* CRUZ *et al.*, 2019; FELLOWS, 2019). Em virtude da busca pela indústria de alimentos por processamentos asséptico, pesquisas com o interesse no aquecimento ôhmico têm sido realizadas principalmente para alimentos que contenham alguma parte sólida (SAKR; LIU, 2014).

No aquecimento ôhmico a corrente elétrica aplicada passa através dos eletrodos e do leite ou seu derivado, com isso há a formação de movimentos que agitam as moléculas gerando calor, ocorrendo a conversão da energia elétrica em térmica. No processamento de leite esse método de aquecimento gera calor interno e uniforme ao produto, sem que haja um gradiente de temperatura. Sua aplicação é preferencialmente em alimentos líquidos, líquidos que apresentam certa viscosidade e de líquidos com até 60% de sólidos imersos (alimentos particulados), sendo que para alimentos totalmente sólidos pode ocorrer alterações sensoriais (FELLOWS, 2019). Na Figura 15 tem-se a representação esquemática do aquecimento ôhmico em leite. Desta tecnologia emergente consegue-se uma eficiente destruição de microbiana porque é possível a rápida e uniforme distribuição da temperatura no produto, podendo ser também usado como alternativa aos processos convencionais de pasteurização HTST e de tratamento UAT/UHT (MERCALI, 2013; NASCIMENTO; REIS; REBELLO, 2014). Entretanto, por ser um processo que gera aumento de temperatura no leite, o aquecimento ôhmico pode resultar na coagulação de proteínas e no surgimento da reação de Maillard (FELLOWS, 2019).

Figura 15: Esquema do aquecimento ôhmico em leites.



Fonte: Adaptado Sakr e Liu (2014).

As condutividades térmicas encontradas para uso em leites estão descritas na Tabela 1. A condutividade elétrica do alimento a ser processado por aquecimento ôhmico, pode ser calculada caso o alimento seja composto por uma parte líquida e outra sólida, realiza-se a diferença entre a condutividade do produto pela condutividade do meio de condução. Nas células do alimento ou microbianas o aquecimento ôhmico gera o fenômeno denominado de eletroporação, que consiste na formação de vários poros que favorecem a entrada de água, aumentando o tamanho da célula até gerar a ruptura da mesma (CAPPATO, *et al.*, 2017).

Tabela 1: Valores de condutividade elétrica (S/m) de leites fluidos em diferentes temperaturas.

Produto	Temperatura (°C)					
	4	22	30	40	50	60
Leite desnatado	0,328	0,511	0,599	0,713	0,832	0,973
Leite integral	0,357	0,527	0,617	0,683	0,800	0,883
Leite sem lactose	0,380	0,497	0,583	0,717	0,817	0,883

Fonte: Adaptado Cappato *et al.* 2017.

Os equipamentos utilizados no aquecimento ôhmico podem ser de bateladas ou contínuo, sendo que ambos possuem os mesmos constituintes, eletrodos, tubo de retenção, fonte de energia elétrica alternada para os eletrodos. Este processo atua como um circuito elétrico, no qual o leite entra no processo por um bombeador, entrando em

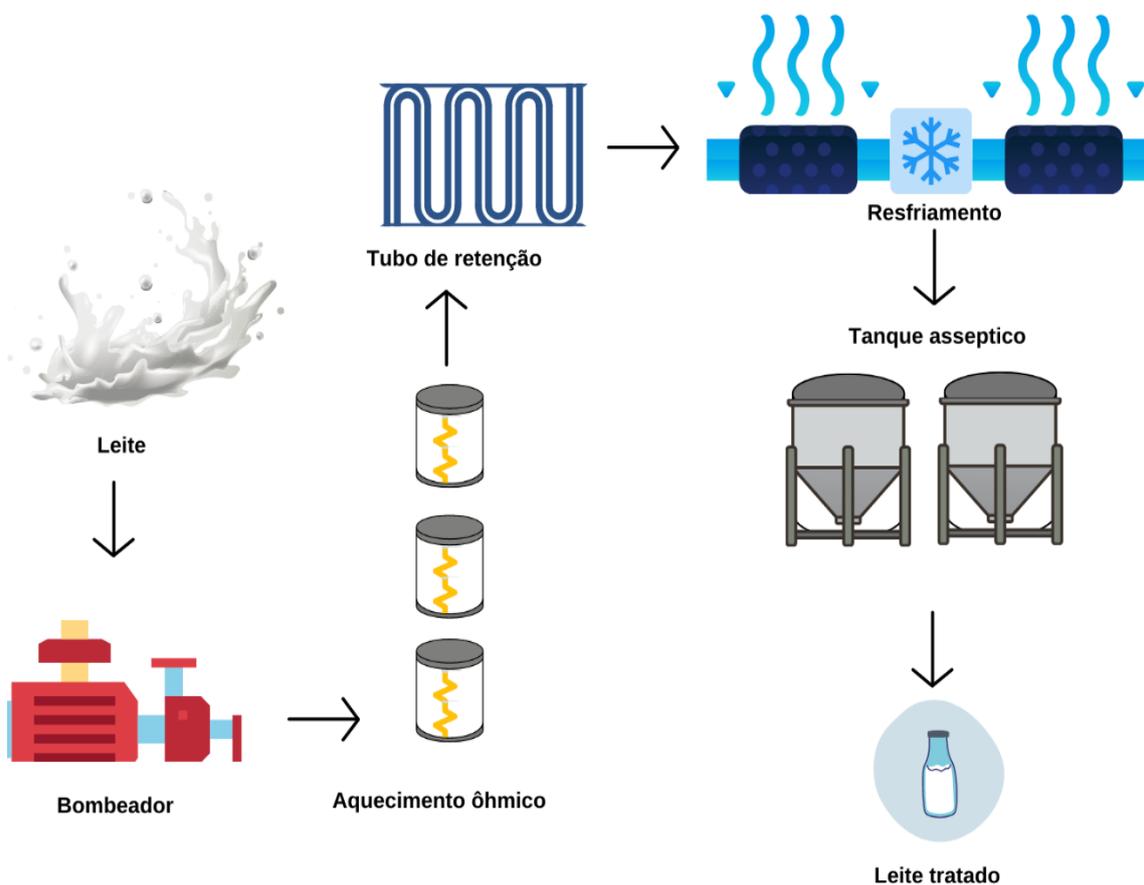
contato com os eletrodos, formando uma coluna ôhmica, gerando calor pela conversão da energia elétrica, atingindo a temperatura necessária para ficar no tubo de retenção, pelo tempo mínimo necessário para atingir a segurança microbiológica. Depois é realizado um resfriamento até atingir a temperatura ideal para ser embalado (PAGANINI; VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2019, *apud* CRUZ *et al.*, 2019). Existem alguns parâmetros importantes no aquecimento ôhmico, como por exemplo, a condutividade elétrica, a tensão e a tensão aplicada, a temperatura, a frequência e as propriedades de fluxo (SAKR; LIU, 2014).

Os equipamentos empregados no aquecimento ôhmico estão classificados nos seguintes quatro tipos, onde a diferença está na posição dos eletrodos: (a) o de placas paralelas também denominado de configuração transversal, possui melhor aquecimento, força de cisalhamento mínima e é adequado para produtos com baixa condutividade; (b) o de hastes paralelas que apresenta o menor custo e baixa taxa de aquecimento; (c) o colinear que é ideal para produtos com alta condutividade por ter espaço maior entre os eletrodos, no entanto precisa de altas tensões durante a aplicação, além de apresentar uma corrente elétrica menor e uniforme; e (d) o de haste escalonada que também tem baixo custo, porém apresenta uma taxa de aquecimento maior que em hastes paralelas (SAKR; LIU, 2014). A temperatura é um parâmetro importante por afetar a mobilidade dos íons no fluido, sendo necessário que seja controlada juntamente ao tempo, binômio tempo e temperatura, para garantir os critérios microbiológicos, principalmente em “pontos frios” (CAPPATO *et al.*, 2017). Na Figura 16 está representado um esquema de funcionamento de uma planta de aquecimento ôhmico.

Kim e Kang (2015) estudaram o efeito do teor de gordura do leite (0, 3, 7 e 10%, m/m) na taxa de aquecimento e na condutividade elétrica durante o tratamento convencional e ôhmico, a fim de compará-los. Em processos convencionais o aquecimento é por meio de efeitos de condução e convecção, não sendo afetado pelo teor de gordura. No aquecimento ôhmico a gordura apresenta baixa condutividade afetando o aquecimento, onde as correntes elétricas contornam o glóbulo de gordura fazendo-o aquecer lentamente, e caso haja algum microrganismo patógeno ele pode não ser eliminado pela ação do calor. Nas amostras de leite aquecidas empregando o tratamento ôhmico o teor de gordura interferiu na taxa de aquecimento, no qual as amostras com menor porcentagem de gordura obtiveram maior taxa de aquecimento por causa da maior condutividade elétrica. A gordura também apresentou efeito isolante, favorecendo na sobrevivência de patógenos como *E. coli* O157:H7 e *L. monocytogenes*. Assim, leites e produtos lácteos com alto teor de lipídeos podem ocasionar “pontos frios”, que são partes

do alimento onde o aquecimento ocorre mais lentamente, afetando a segurança do alimento, e sendo assim, um fator de risco (KIM; KANG, 2015; CAPPATO *et al.* 2017).

Figura 16: Representação das etapas de aquecimento ôhmico.



Fonte: Adaptado de Paganini, Verruck e Prudêncio, 2019 (*apud* CRUZ *et al.* 2019).

De acordo com Goullieux e Pain (2005 *apud* PAGANINI; VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2019) há três classificações de condutividades elétricas para produtos lácteos, estando definidas no Quadro 3. Desta forma, deve-se considerar essas características de acordo com a finalidade e objetivo da aplicação, além do emprego dessa nova tecnologia estar alinhada a um estudo econômico, verificando a viabilidade da troca de processo (SAKR; LIU, 2014).

Quadro 3: Parâmetros do aquecimento ôhmico empregados em leites e seus derivados.

Intensidade	Condutividade	Alimentos
Boa	$>0,05$ S/m	Iogurtes e sobremesas lacteas
Baixa	$>0,005$ S/m e $<0,05$ S/m	Leite em pó
Muito baixa	$<0,005$ S/m	Sorvete, gordura lactea e derivados com alto teor de gordura

S/m = siemens por metro

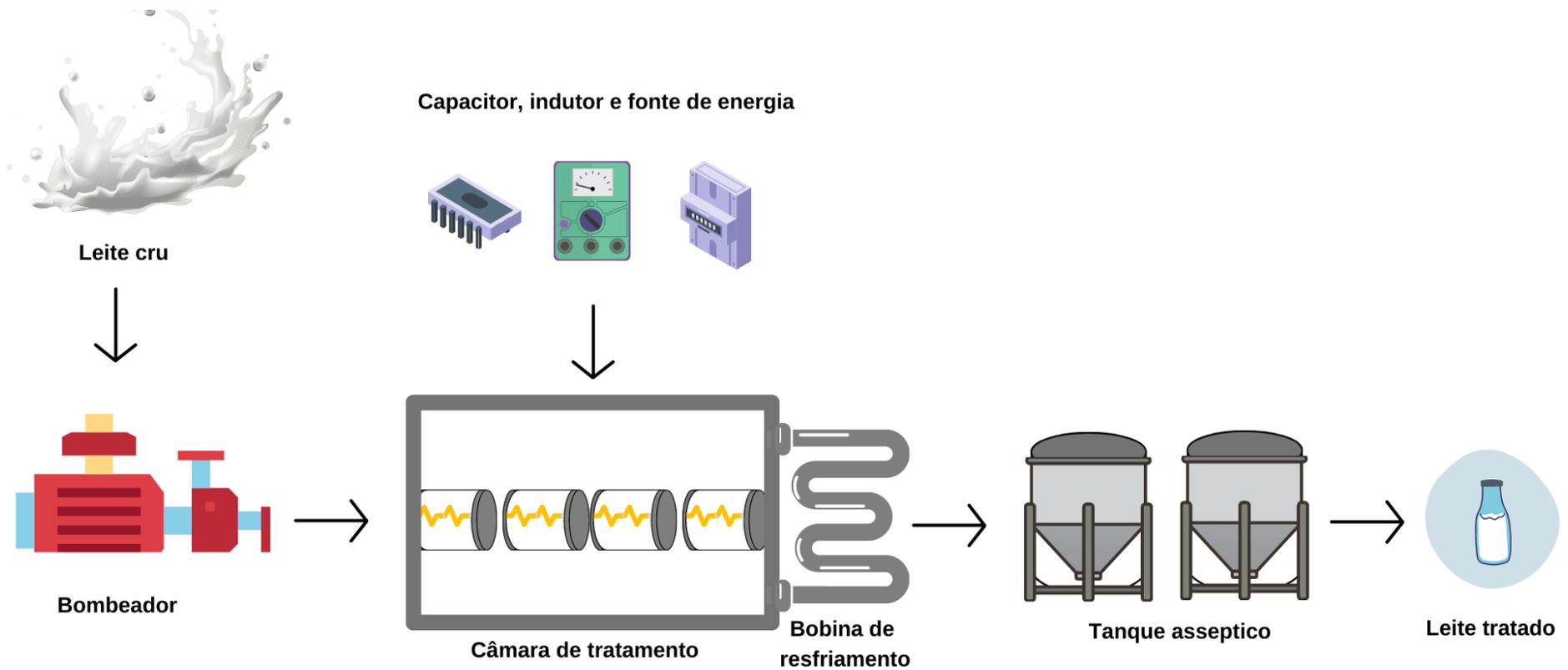
Fonte: Adaptado Goullieux e Pain (2005 *apud* PAGANINI; VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2019).

#### 4.3.5 Campo elétrico pulsado (CEP)

O campo elétrico pulsado consiste em um tratamento com pulsos elétricos muito curtos (microsegundos ou milissegundos), porém com altas intensidades de campo elétrico ( $18-80$  kV  $\text{cm}^{-1}$ ), resultando em temperaturas mais amenas, sendo capaz de destruir microrganismos também pela eletroporação, assim como o aquecimento ôhmico. No entanto, o aquecimento ôhmico irá resultar no aumento de temperatura do alimento. A eficiência do campo elétrico pulsado depende da intensidade utilizada, tempo de tratamento e temperatura do alimento, e tipo de microrganismo a ser eliminado. Cabe ressaltar que estudos têm comprovado a redução das alterações na composição dos alimentos em relação aos métodos convencionais (BENDICHO; BARBOSA-CÁNOVAS; MARTÍN, 2002; FELLOWS, 2019).

O campo elétrico pulsado é uma tecnologia emergente que foi utilizado pela primeira vez na década de 1960 por Doevenspeck, sendo nesta época conhecido como “pasteurização” não térmica, já que possui o mesmo objetivo dos tratamentos térmicos convencionais, mas sem aquecimentos, evitando perdas das características originais da matéria-prima, não sendo eficiente contra esporos de bactérias. O sistema de tratamento do campo elétrico pulsado é composto por uma câmara de tratamento e um sistema de envase (Figura 17). Este tratamento apresenta vantagens como maior retenção das características sensoriais e nutricionais, aumento da funcionalidade de proteínas e aumento da validade de alimentos. No caso desta tecnologia são aplicados campos elétricos pulsados de pequena duração para minimizar o efeito Joule, assim são usados os efeitos elétricos e não térmicos (PAGANINI; VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2019, *apud* CRUZ *et al.*, 2019; FELLOWS, 2019).

Figura 17: Representação esquemática das etapas do processo de campo elétrico pulsado (CEP).



Fonte: Adaptado Paganini, Verruck e Prudêncio, 2019 (*apud* CRUZ *et al.* 2019).

A matéria-prima ideal para o processamento do CEP são os alimentos líquidos por ter características como fácil bombeamento permitindo um fluxo contínuo, pouco propenso a ruptura dielétrica, fenômeno relacionado a condutividade elétrica do alimento. Os alimentos sólidos ou particulados possuem mais chance de sofrer esse fenômeno (RAMOS *et al.*, 2006).

O efeito nos microrganismos é a desestabilização da bicamada lipídica e das proteínas de membrana. O campo elétrico promove efeitos de eletroporação e de eletrofusão nas células, causando permeabilização da membrana pela formação de poros e pelo valor potencial crítico do campo elétrico a ser excedido, que é quando valores de intensidade de campo e de tempo de tratamento são ultrapassados. Sendo a intensidade do pulso elétrico aplicada visando a inibição de microrganismos, se a intensidade do pulso for elevada, ou seja, estando acima do potencial crítico do campo elétrico, maior será a destruição microbiana. O grau de letalidade do tratamento sobre os microrganismos a serem eliminados deve ser baseado na espécie e cepa, morfologia, concentração e fase de crescimento. O uso do campo elétrico pulsado vem se mostrando viável para a produção de alimentos porque previne perda de micronutrientes termolábeis, gera produtos seguros e com propriedades físico-químicas e sensoriais muito similar ao alimento não processado (RAMOS *et al.*, 2006; BINOTI *et al.*, 2012). Assim como esta tecnologia tem uma ação sobre a eliminação microbiana, ela também inativa enzimas. A inativação de enzimas ocorre através da mudança na sua estrutura em decorrência da ação do campo elétrico, gerando mudança na conformação estrutural da enzima, ou seja, a sua desnaturação. O CEP pode ser usado também em conjunto com outros métodos como a pasteurização, a alta pressão hidrostática, a utilização de agentes antimicrobianos, a redução do pH, auxiliando na conservação de alimentos (RAMOS *et al.*, 2006).

O mecanismo de funcionamento do campo elétrico pulsado é composto por um sistema gerador de pulsos elétricos, dispondo de uma fonte de alta voltagem e outro gerador de alta voltagem, capacitores para armazenar a carga, alternadores de descarga para liberar ao eletrodo a carga, indutores para modificar o formato da onda dos campos elétricos, resistências elétricas, osciloscópio para medir a intensidade dos pulsos elétricos, sistema para controle de fluxo do produto e uma câmara de tratamento. A câmara onde o alimento será tratado dispõe de dois eletrodos. Os tipos de equipamentos contínuos, são os mais adequados, por possuírem um fluxo contínuo, e as placas paralelas são mais adequadas. Algumas características do alimento devem ser levadas em consideração, como a condutividade elétrica, densidade, calor específico e viscosidade. Há um sistema

de refrigeração para evitar que haja o aquecimento em excesso do produto, podendo atingir temperaturas de até 30 e 40°C para aumentar o efeito letal sobre os microrganismos, sem que ocorra modificações, porém todo o calor produzido será perdido nesse sistema de resfriamento (RAMOS *et al.*, 2006; BINOTI *et al.*, 2012; FELLOWS, 2019).

No campo elétrico pulsado o produto recebe vários pulsos elétricos sucessivos, precisando garantir que o potencial elétrico nos eletrodos em cada intervalo volte a zero, assim evitando que ocorra reações eletroquímicas. As características desse processo podem ser divididas em quatro grupos relacionados, a geração de pulsos, câmara de processamento, tipo de sistema empregado e a atividade de inativação dos microrganismos e enzimas, ambos influenciam a eficiência do processamento. Na inativação enzimática os fatores são os parâmetros do próprio processo, estrutura da enzima, temperatura e meio de suspensão. Durante o processo deve-se evitar a ruptura dielétrica, não deixando o campo elétrico ultrapassar a força dielétrica do alimento (RAMOS *et al.*, 2006; FELLOWS, 2019).

O pulso elétrico pode ser exponencial, quadrado, bipolar ou oscilante. No pulso exponencial o campo elétrico atinge um ponto de valor máximo e depois o valor cai exponencialmente. No pulso quadrado o campo elétrico atinge um valor máximo e mantém durante um certo tempo e depois o valor cai bruscamente. No bipolar e oscilante são circuitos capazes de produzir essas formas (BINOTI *et al.*, 2012). Os pulsos bipolares apresentam uma maior letalidade por uma reversão rápida do campo elétrico, provocando um estresse nas células microbianas, enquanto os pulsos em forma de quadrado são mais letais do que os exponenciais (FELLOWS, 2019). Nas Tabelas 2 e 3 podem ser visualizadas as condições de processamento de diferentes leites empregando campo elétrico pulsado na redução de alguns tipos de microrganismos e na inativação de algumas enzimas, respectivamente. Com estes resultados positivos para os diferentes tipos de leites, futuramente a aplicação do campo elétrico pulsado na indústria de laticínios tenderá ser promissora, podendo ser uma alternativa à pasteurização convencional, porém com vantagens como manutenção das características sensoriais e do valor nutricional (BENDICHO; BARBOSA-CÁNOVAS; MARTINS, 2002).

Tabela 2: Condições de processamento de diferentes leites empregando campo elétrico pulsado visando a redução microbiana.

Microrganismo	Produto	Redução em log	Condições do processo			
			Intensidade do campo (kV/cm)	Temperatura (°C)	Número de pulsos	Duração dos pulsos (µs)
<i>Escherichia coli</i>	Leite	3,0	28,6	~ 43	23	100
	Leite desnatado	3,5	5,0 quadrada	< 30	48	2
<i>Listeria innocua</i>	Leite desnatado cru	2,6	50,0 em 3,5 Hz exponencial	15 a 28	100	2
<i>Listeria monocytogenes</i>	Leite integral pasteurizado	3,0 a 4,0	30,0 em 1700,0 Hz bipolar	10 a 50	400	1,5
	Leite integral	2,5	30,0	25	400	-
	Leite integral	4,0	30,0	50	400	-
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Leite desnatado cru	2,7	50,0 em 4,0 Hz exponencial	15 a 28	30	2
<i>Salmonella dublin</i>	Leite desnatado	3,0	15,0 a 40,0	10 a 50	-	12-127
	Leite desnatado	1,0	25,0	30	100	-
	Leite desnatado	2,0	25,0	50	100	-
	Leite	3,0	36,7	63	40	100

Fonte: Adaptado Bendicho, Barbosa-Cánovas e Martins (2002) e Fellows (2019).

Tabela 3: Condições de processamento de diferentes leites empregando campo elétrico pulsado visando a inativação enzimática.

Enzimas	Produto	Redução de atividade enzimática (%)	Condições do processo	
			Intensidade do campo (kV/cm)	Nº de pulsos
Fosfatase alcalina	Leite desnatado	65	18,8 a 22,0	70
	Leite 2,5% gordura	59		
	Leite integral	59		
	Leite 1,5% gordura	< 10	21,5	20
	Leite 3,5% gordura	< 10		
	Leite cru	65	18,0 a 22,0	70
	Leite 2% gordura	65	18,0 a 22,0	70
Peroxidase	Leite	30	21,5	20
	Leite cru	> 3	13,0 a 19,0	200
Lipase	Leite	60	21,5	20
Protease <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Leite desnatado	60	14,0 a 15,0	98

Fonte: Adaptado Bendicho, Barbosa-Cánovas e Martins (2002) e Fellows (2019).

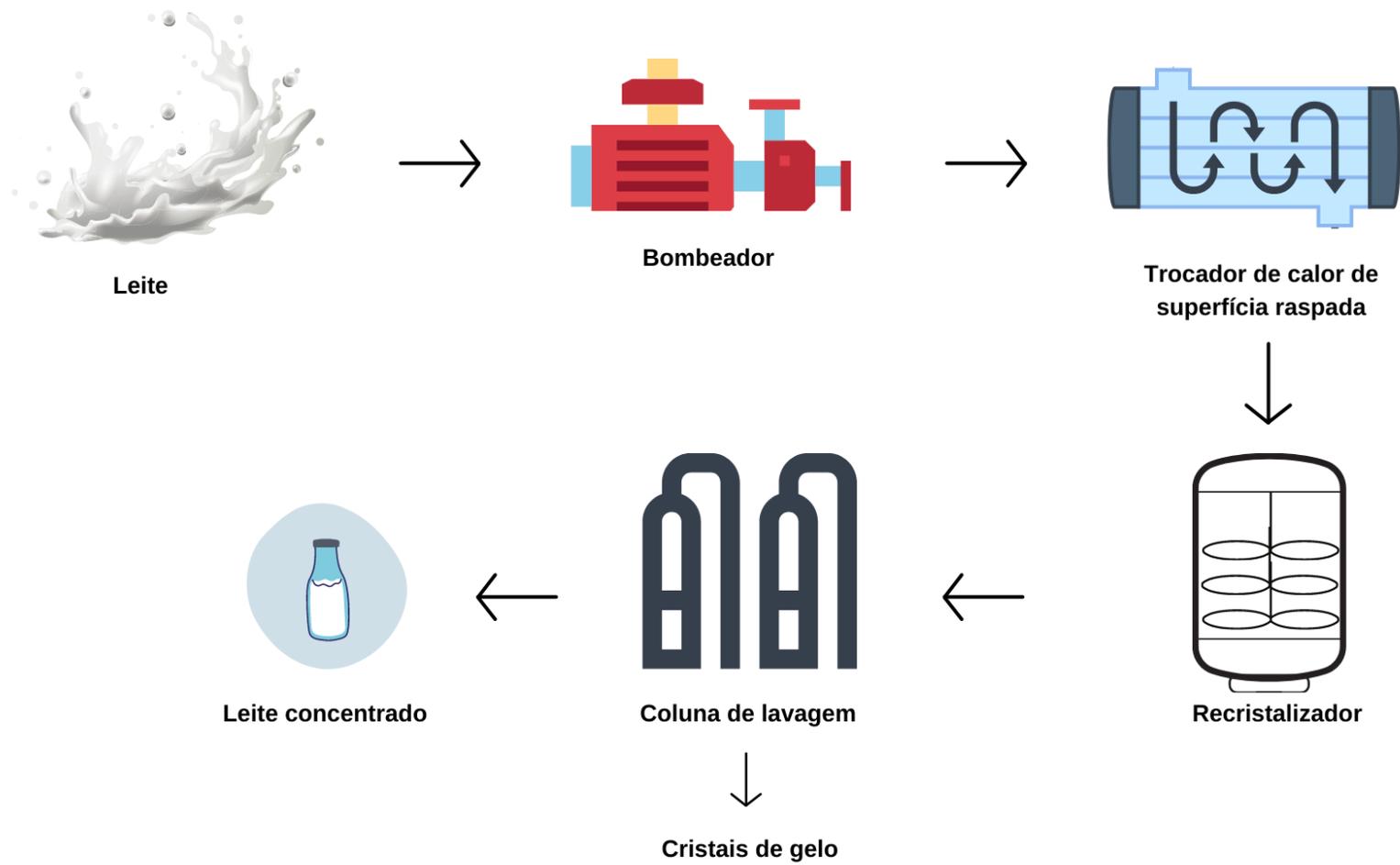
#### 4.3.6 Crioconcentração

O processo de crioconcentração consiste no congelamento de um alimento que é concentrado em temperaturas de congelamento. Desta tecnologia são resultantes duas frações, sendo uma o gelo e a outra na forma líquida denominada de concentrado. Este processo baseia-se na separação de um sólido e um líquido, sendo mais seletiva do que o processo convencional de evaporação descrito anteriormente, que aplica altas temperaturas para a retirada da água. A crioconcentração apresenta vantagens como a preservação das características originais de um alimento líquido, como por exemplo o leite, mantendo a qualidade nutricional e sensorial do produto concentrado, pois utiliza temperaturas baixas. O processo de crioconcentração é influenciado pela taxa de cristalização e viscosidade do produto a ser processado, responsáveis pelo congelamento e separação da solução concentrada (SÁNCHEZ *et al.*, 2011; LIZ; VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019).

A crioconcentração é representada por três tipos de processos que são a suspensão, a progressiva e a crioconcentração em blocos. A mais empregada industrialmente é a crioconcentração por suspensão, porém esses outros métodos citados já foram estudados e desenvolvidos a fim de reduzir o custo do processo (MORENO *et al.*, 2014). Uma das diferenças entre esses métodos é relativa a taxa de crescimento dos cristais, sendo maior nos métodos de crioconcentração progressiva e em blocos (LIZ; VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019).

O processo de crioconcentração por suspensão é composto por três etapas que são a cristalização ou nucleação, o crescimento dos cristais e a separação dos cristais de gelo da solução concentrada (Figura 18). Na etapa inicial o leite é bombeado para um trocador de calor de superfície raspada, no qual ocorrerá a nucleação dos cristais de gelo na superfície interna por meio de um alto resfriamento, e então o gelo é cristalizado e retirado pelas lâminas raspadoras do equipamento durante a sua rotação, permitindo assim que haja a transferência de calor pela superfície. Os cristais formados, mas pequenos, são direcionados ao recristalizador a fim de terem seus tamanhos aumentados, já que é desejável a formação de grandes cristais, sendo posteriormente separado do produto concentrado em coluna de lavagem pressurizada por meio de compressão. Com a compressão dos cristais de gelo tem-se a concentração dos sólidos que é aproveitado, enquanto os cristais de gelo são lavados (SÁNCHEZ *et al.*, 2009; SÁNCHEZ *et al.*, 2011).

Figura 18: Etapas do processo de crioconcentração por suspensão.

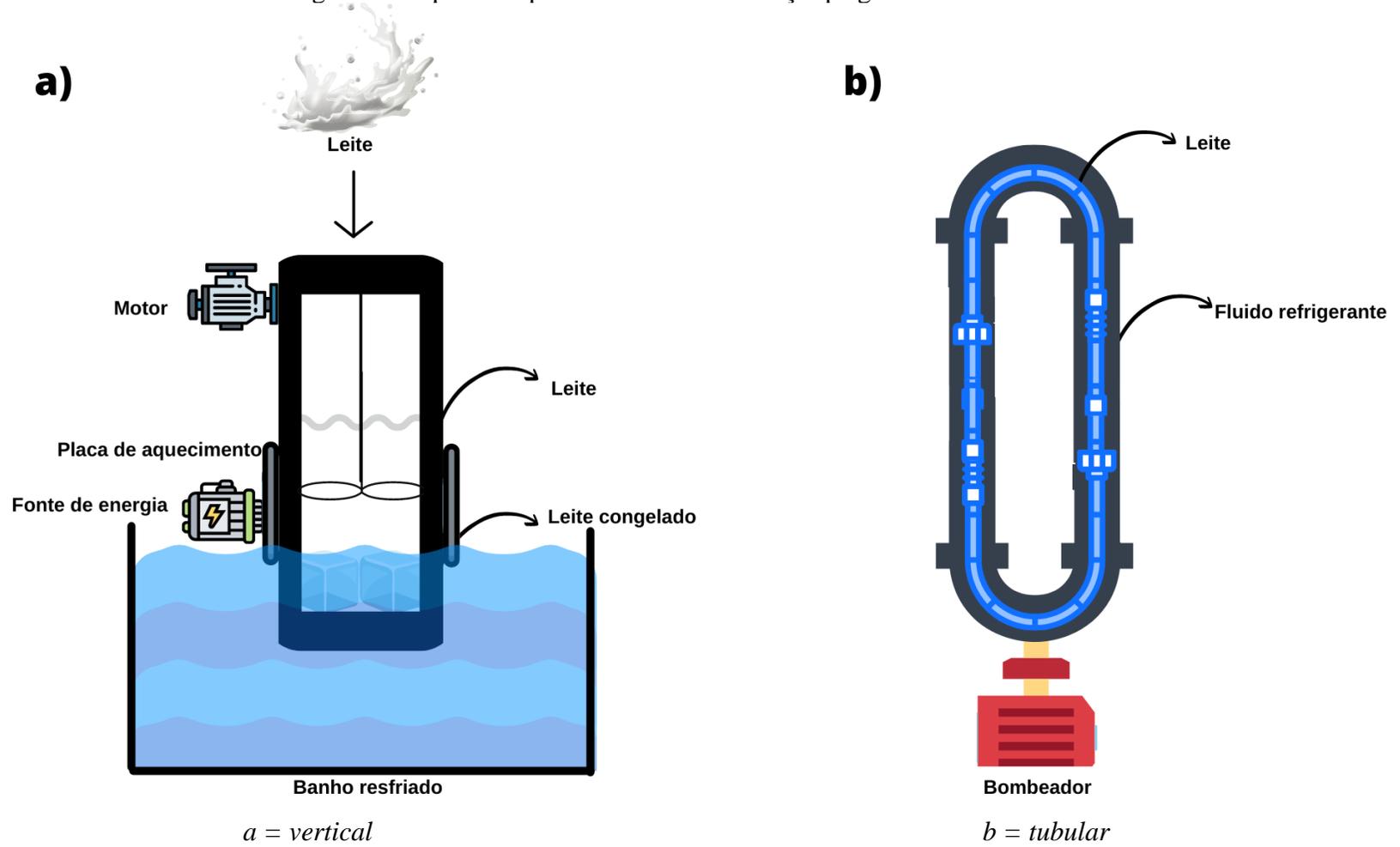


Fonte: Adaptado Liz, Verruck e Prudêncio, 2019 (*apud* CRUZ *et al.* 2019).

Na criocentralização por suspensão, a otimização do crescimento de cristais de gelo inclui o aumento da taxa de cristalização do gelo, controlando parâmetros como a temperatura do refrigerante, taxa de crescimento de cristal e a taxa de agitação do equipamento. Um fenômeno que pode afetar as condições desse tipo de criocentralização é a incrustação de gelo, formada na superfície do resfriador, afetando a transferência de calor. Assim uma alternativa seria a aplicação de trocador de calor em leito fluidizado, que evita o acúmulo de gelo nas paredes do equipamento e apresenta custos mais baixos (SÁNCHEZ *et al.*, 2011; FELLOWS, 2019).

Mais simples do que a criocentralização em suspensão a criocentralização progressiva consiste na separação do gelo da solução concentrada, formando gelo, camada por camada em uma superfície de resfriamento, sendo desta forma, conhecida como criocentralização por camada. Na criocentralização progressiva o alimento entra em contato com uma superfície resfriada onde o fluido irá descer, resultando em uma camada de gelo (SÁNCHEZ *et al.*, 2009; SÁNCHEZ *et al.*, 2011; GUNATHILAKE *et al.*, 2014). A criocentralização progressiva pode ser realizada de duas formas, usando equipamento de configuração vertical ou tubular. O vertical é composto por recipiente cilíndrico, banho de resfriamento para imersão deste recipiente, agitador que evita a retenção do soluto no gelo e placa de aquecimento externa para controle do tamanho da camada de gelo (Figura 19a). No tubular o crescimento dos cristais de gelo ocorre na superfície do tubo resfriado por um fluido refrigerante circulante, sendo que a fase concentrada circula no interior onde ainda não há cristais formados. Quando a solução estiver concentrada, está é retirada do equipamento, o líquido refrigerante tem sua temperatura aumentada para circular e derreter o gelo formado. O sistema tubular foi criado para aumentar a produtividade do processo (Figura 19b) (SÁNCHEZ *et al.*, 2009; GUNATHILAKE *et al.*, 2014).

Figura 19: Esquema do processo de crioconcentração progressiva.

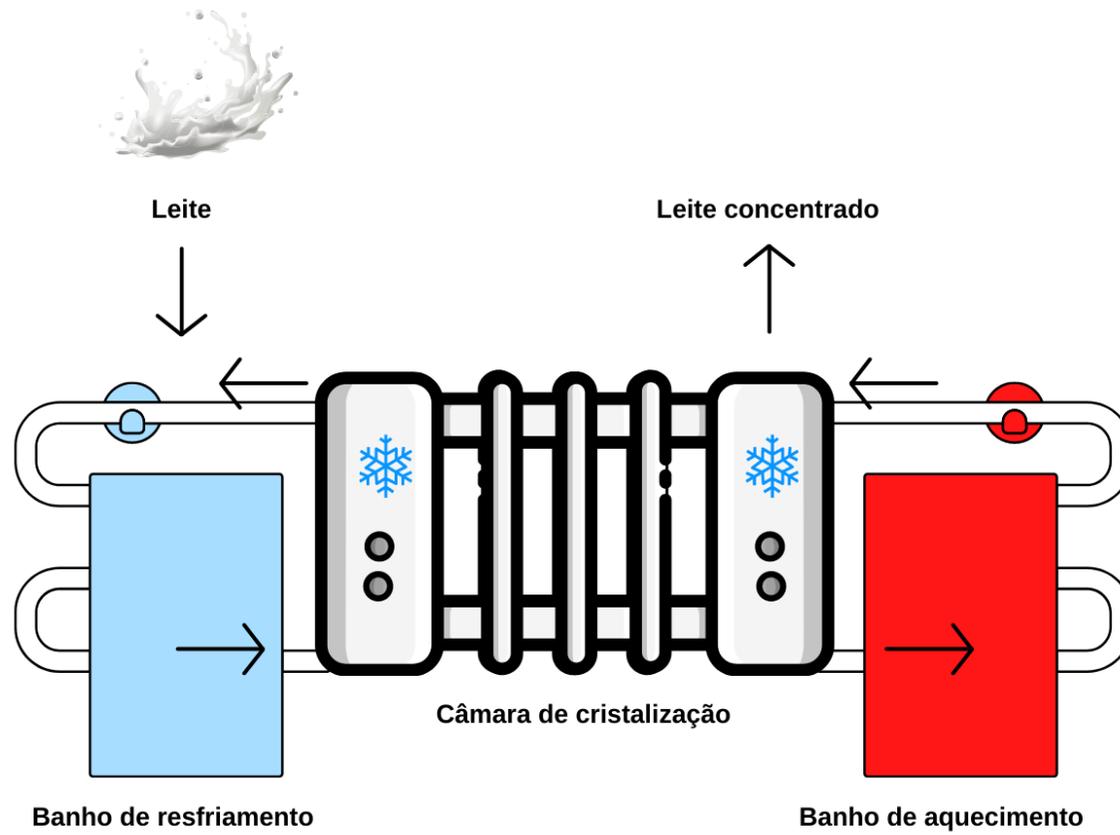


Fonte: Adaptado Liz, Verruck e Prudêncio, 2019 (*apud* CRUZ *et al.* 2019).

A crioc Concentração em blocos pode ser realizada de forma parcial ou total (Figura 20). No método parcial a matéria prima líquida é introduzida na câmara cristalizadora, onde é parcialmente congelada através de um tubo no centro do equipamento que contém fluido refrigerante. À medida que o bloco de gelo aumenta a concentração da solução que também aumenta. A densidade do empacotamento dos cristais no bloco é um parâmetro importante, influenciando a separação da fração concentrada do gelo. Na crioc Concentração em bloco o processo completo consiste em três estágios que são o congelamento da solução e formação dos cristais de gelo, o descongelamento e a separação. A matriz alimentar é totalmente congelada até que a temperatura no seu centro esteja abaixo do ponto de congelamento. Em seguida é descongelada, para assim poder ser recuperada uma porção do soluto com maior concentração do gelo, sendo a separação feita por descongelamento gravitacional ou assistido (AIDER; HALLEUX, 2009; LIZ; VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019). O bloco de gelo atua como uma carcaça sólida, onde passará a fração concentrada. Durante o descongelamento a temperatura deve ser controlada, assim pode-se atingir 90% de eficiência do processo, com quantidade mínima de soluto aprisionado nos cristais de gelo (AIDER; HALLEUX, 2009). Na crioc Concentração os cristais de gelo formados devem ser grandes para reduzir a quantidade de sólidos presos, facilitando o processo de separação. Quanto menor a quantidade de soluto nos cristais maior é a concentração (FELLOWS, 2019). Alguns métodos para a melhoria da eficiência do processo estão sendo desenvolvidos e estudados, como por exemplo, a agitação em concentração progressiva, a irradiação ultrassônica, o movimento oscilatório, o leito fluidizado líquido-sólido, o fluxo de bolhas e o congelamento assistido por ultrassom (IRITANI *et al.*, 2013).

A concentração seletiva com o uso de baixas temperaturas faz com que o processo de crioc Concentração separe de forma adequada a água do alimento, sem acarretar alterações ou apresentar uma interface líquido-vapor, diferente de outros processos convencionais (LIZ; VERRUCK; PRUDÊNCIO, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019). A crioc Concentração do leite ainda é pouco estudada, no entanto, resultados têm demonstrado que este tipo de processo sofre influência dos teores de lipídios, proteínas e lactose do leite. A lactose e o lipídio do leite tendem a ficar retidos no gelo e as proteínas diminuem a taxa de crescimento dos cristais de gelo (SÁNCHEZ *et al.*, 2011).

Figura 20: Etapas do processo de crioconcentração em blocos.



Fonte: Adaptado Liz, Verruck e Prudêncio, 2019 (*apud* CRUZ *et al.* 2019).

Muñoz *et al.* (2016) estudaram a aplicação da crioconcentração em blocos no leite pasteurizado, avaliando os efeitos na composição química desta matriz alimentar. O leite pasteurizado foi congelado a  $-40 \pm 2$  °C por congelador de placas, após 50% do leite foram descongelados a  $20 \pm 2$  °C, sendo a fração líquida descongelada e novamente congelada, com os mesmos parâmetros de temperaturas anteriores, para ser usada como solução de alimentação para o segundo estágio do processo, repetindo esses passos até o terceiro estágio. Com os resultados estes autores puderam verificar que o processo de crioconcentração em blocos é uma técnica promissora para concentração do leite, sendo eficiente na concentração de sólidos totais, proteínas e lipídios. Este comportamento pode estar associado ao aumento na viscosidade das soluções de alimentação, já observado em outros estudos. Por fim, Muñoz *et al.* (2016) observaram que os resultados obtidos no segundo estágio da crioconcentração indicaram o uso do concentrado deste estágio no desenvolvimento de um queijo.

#### **4.3.7 Processo de separação por membranas**

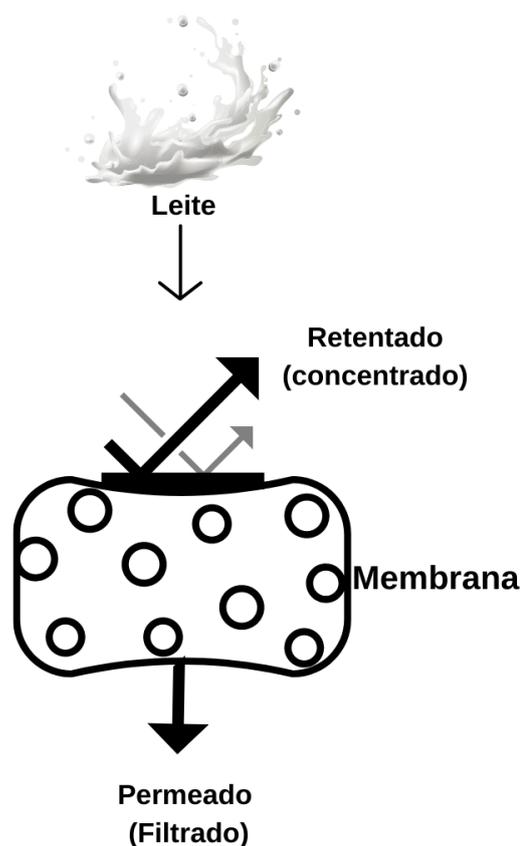
O processo de separação por membranas consiste em concentrar ou fracionar matérias primas líquidas, gerando dois líquidos de composições distintas, o permeado (filtrado) e o retentado (concentrado). Dentro desse processo há quatro tipos que são a microfiltração, a ultrafiltração, a nanofiltração e a osmose reversa, que buscam substituir tecnologias como destilação, centrifugação e seus efeitos negativos observados no pós-tratamento, questões ambientais, além de custos de produção (SCARIOT; PRUDÊNCIO; VERRUCK, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019). No entanto, estes quatro tipos de processos de separação por membranas apresentam diferenciações que estão apresentadas no Quadro 4. Estes processos se caracterizam pela permeação seletiva das moléculas nas membranas porosas, onde dependendo do tamanho dos poros alguns componentes podem ultrapassar ou não a membrana (Figura 21). Para que possam ser utilizados estes processos de separação utilizam gradiente de pressão como força motriz para que ocorra o transporte através da membrana, e podem utilizar a ação da gravidade, onde o líquido flui pela presença de uma coluna hidrostática; a ação de uma força centrífuga ou por meio da aplicação de pressão ou vácuo, os quais são capazes de aumentar a taxa de fluxo do processo. Além disso, outra forma de aumentar separação de componentes seria utilizando a filtração tangencial (SILVA, 2013; SCARIOT; PRUDÊNCIO; VERRUCK, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019).

Quadro 4: Diferenças entre os processos de separação por membrana (PSM).

PSM	Tamanho do poro ( $\mu\text{m}$ )	Pressões de operação (Bar)	Material da membrana	Retentado
Microfiltração	10	$\leq 3$	Cerâmica Polipropileno	Matérias em suspensão Bactérias Gordura
Ultrafiltração	0,1	2 – 10	Cerâmica Acetato de Celulose Polisulfona Ultrafiltração Polietersulfona Polivinilpirolidona Poliacrinonitrila Fluoreto de polivinilideno	Matéria orgânica Vírus Proteínas
Nanofiltração	0,001	10 - 25	Poliacrilamida	Íons divalente Lactose Corante
Osmose reversa	0,0001	13,8 – 68,9	Poliamida Poliacrilamida	Íons monovalentes Sais

Fonte: Adaptado Galvão e Santos (2015), Scariot, Prudêncio e Verruck (2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019) e Fellows (2019).

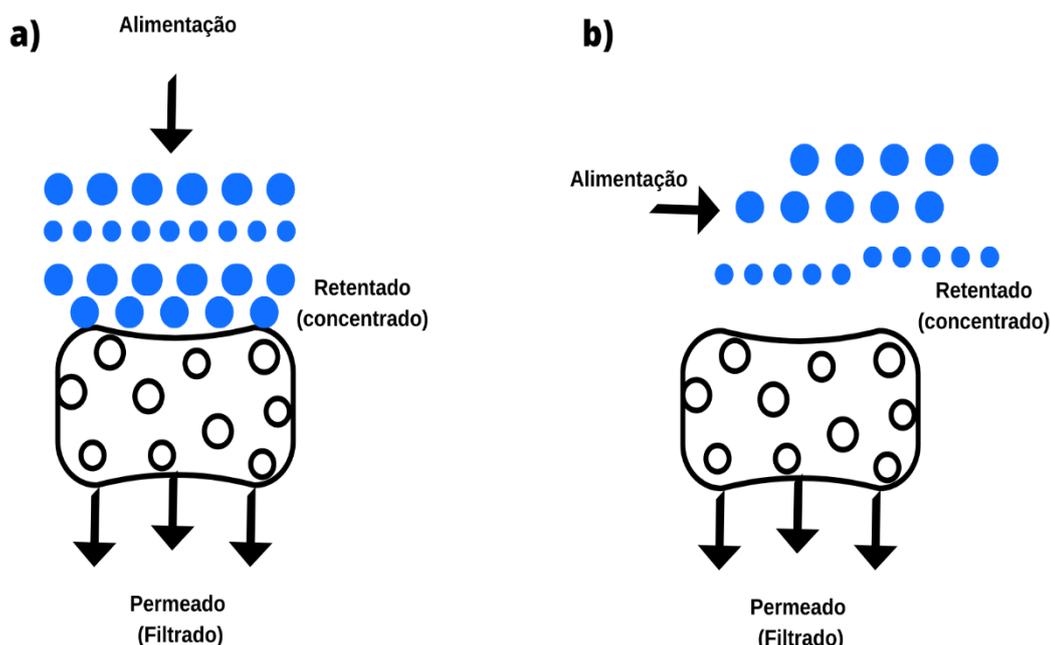
Figura 21: Representação esquemática da passagem do leite através do uso de membranas.



Fonte: A autora (2021)

A filtração tangencial (*cross flow*) à membrana é considerada mais eficiente no processo de separação por membranas por ser capaz de remover os sólidos que se acumulam sobre a membrana. Já a filtração tradicional (*dead end*) o fluido passa de forma perpendicular, podendo ficar acumulado na membrana (Figura 23). Assim o método tangencial apresenta vantagens porque aumenta a velocidade de fluidez, simplifica os fluxogramas do processo, resulta em instalações mais compactas, além de reduzir gastos energéticos. São vantagens da filtração tangencial a melhora da qualidade do produto, porque empregam baixas temperaturas, e como desvantagem principal, as lavagens periódicas que invertem a direção do fluxo, separando as partículas aderidas da superfície da membrana (SCARIOT; PRUDÊNCIO; VERRUCK, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019).

Figura 22: Representação da filtração tradicional (a) e tangencial (b).



Fonte: Adaptado Scariot, Prudêncio e Verruck (2019 *apud* Cruz *et al.*, 2019).

Dentre estes processos de separação por membranas, mas que empregam a filtração tangencial, a microfiltração separa componentes em suspensão de uma mistura com tamanhos entre 10 a 0,1  $\mu\text{m}$ , sendo o mais próximo à filtração tradicional aplicando pressões em torno de 3 Bar. A microfiltração remove partículas maiores dispersas como glóbulos de gordura, e remoção de microrganismos (SCARIOT; PRUDÊNCIO; VERRUCK, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019).

Na indústria de alimentos a microfiltração pode ser usada na separação de glóbulos de gordura que serão aproveitados em outros produtos, remoção da gordura do soro, separação de caseínas, fracionamento de proteínas do soro de leite, purificação de salmouras e na retirada de microrganismos como bactérias, esporos e células somáticas, podendo ser uma alternativa à pasteurização convencional com a vantagem de não empregar temperaturas elevadas, não gerando grandes modificações sensoriais e perdas nutricionais. No Brasil, não é vendido o leite somente microfiltrado, apenas o uso dessa tecnologia em combinação com a pasteurização e na obtenção do leite UHT, pois reduzem o gasto energético e garantem a inocuidade. Em países onde o leite microfiltrado é comercializado percebe-se que estes possuem validade aumentada, sabores e aromas característicos originais da matéria-prima e o valor nutricional é praticamente mantido. Neste tipo de processo de separação por membranas o filtrado ou permeado é aproveitado, enquanto o retentado/concentrado por poder apresentar

microrganismos e esporos não é utilizado. Desta forma, na produção de derivados lácteos os permeados/filtrados tanto do leite quanto do soro lácteo são utilizados (FELLOWS, 2019; SCARIOT; PRUDÊNCIO; VERRUCK, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019).

Na indústria queijeira o uso do filtrado apresenta a vantagem em relação à adição de nitrato, aditivo usado para evitar o estufamento tardio de queijos semiduros, como esse processo remove grande parte das bactérias formadoras de esporos não é necessária a adição de nitrato (FELLOWS, 2019; SCARIOT; PRUDÊNCIO; VERRUCK, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019). Lira *et al.* (2009) aplicou a microfiltração em soro lácteo de búfala para verificar se esse processo poderia ser alternativo à pasteurização LTLT, com o objetivo de avaliar a eficiência e comparar a qualidade microbiana e nutricional dos dois processos. Os resultados das análises microbiológicas indicaram que o número médio de bactérias aeróbias mesófilas do soro *in natura* diferiu significativamente das amostras de soro pasteurizado e do soro filtrado, mostrando que ambos os processos diminuíram a carga microbiana. A microfiltração mostrou-se mais eficiente, pois reduziu em cerca de 82% no número de bactérias aeróbias mesófilas, reduzindo de 4,04 log UFC (unidade formadora de colônia) por mL para 0,72 log UFC por mL, diferente da pasteurização que reduziu 62%, de 4,04 log UFC por mL para 1,50 log UFC por mL (LIRA *et al.*, 2009).

Na ultrafiltração, as membranas usadas permitem separar proteínas, vírus, colóides e alguns polissacarídeos, sendo empregada principalmente em leite, leiteiro e soro lácteo na obtenção de derivados. Além disso, este processo permite a incorporação de proteínas do soro, ajusta a concentração de alguns componentes como proteínas e gorduras, reduz o volume de leite a ser transportado, não acarretando alterações nas características sensoriais. A ultrafiltração é um processo aplicado industrialmente na produção de queijos frescos, concentrados proteicos do soro e do leite obtido pelo tratamento do resíduo da produção do queijo ou a partir da concentração direta do leite desnatado, na obtenção de caseína e caseínatos. Este processo de separação por membranas utiliza o concentrado proteico do soro ácido, isolados proteicos do soro e do leite. Assim como a microfiltração, a ultrafiltração apresenta vantagens como a redução de volume a ser transportado gerando economia, menor aplicação de energia quando comparado aos processos de evaporação convencionais porque utiliza baixas temperaturas (FELLOWS, 2019; SCARIOT; PRUDÊNCIO; VERRUCK, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019).

Moreno-Montoro *et al.* (2015) avaliou o uso da ultrafiltração na concentração de leite de cabra desnatado para aplicação em iogurte. O objetivo era avaliar os parâmetros físico-químicos e nutricionais, além de avaliar a influência das frações proteicas e de minerais como

Ca, P, Mg e Zn. Ao final, os resultados observados por Moreno-Montoro *et al.* (2015) indicaram aumento do valor nutricional ao concentrar sólidos desnatados, como proteínas, Ca, P, Mg e Zn. A modificação na distribuição desses minerais junto a com a maior concentração das caseínas, mostrou uma característica importante pois pode explicar a melhor formação da coalhada pós fermentação no iogurte de cabra com leite ultrafiltrado. Essa distribuição dos minerais acarretou na maior solubilidade de Ca e Mg. Os resultados obtidos na concentração do leite de cabra por esse processo mostraram que a melhor concentração de mineral e caseínas e o baixo teor de gordura fazem deste leite nutricionalmente superior e mais apropriado para a fabricação de iogurte de cabra em comparação com o leite de cabra cru ou desnatado (MORENO-MONTORO *et al.*, 2015).

A nanofiltração é um método de concentração de compostos com baixo custo, separando partículas com pesos moleculares na faixa de 300 a 1.000 Da, utilizando pressões entre 10 a 25 bar. Este método é capaz de remover íons e, por isso, permite que se aplique pressões menores, pois essa redução dos íons contribui para a pressão osmótica. Industrialmente este método é aplicado na produção de iogurte a partir do concentrado do leite nanofiltrado, retirada de minerais de soro ácido e permeado do soro de leite vindo da ultrafiltração para a produção de lactose (FELLOWS, 2019; SCARIOT; PRUDÊNCIO; VERRUCK, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019).

Cao *et al.* (2015) estudaram os efeitos da nanofiltração e da evaporação nas propriedades físico-químicas de um concentrado proteico do leite. A comparação entre essas duas tecnologias seria para verificar se a nanofiltração pode melhorar a solubilidade dos produtos, uma vez que permite temperaturas de processo mais baixas, assim a proteína do leite seria menos exposta ao tratamento térmico, ocasionando menor desnaturação proteica e, conseqüentemente, uma maior solubilidade. Neste estudo, as micelas de caseína agregaram compactamente após a evaporação, enquanto a hidrofobicidade da superfície aumentou e o teor de sulfidrila livre diminuiu. No concentrado da nanofiltração a microestrutura das micelas de caseína ficou intacta, com hidrofobicidade superficial reduzida e o teor de sulfidrila livre. Cao *et al.* (2015) observaram que não houve diferença entre a composição química dos concentrados nanofiltrados e evaporados, porém o índice de insolubilidade do concentrado proteico evaporado foi maior do que o concentrado proteico resultante da nanofiltração. Com isso pode-se concluir que a nanofiltração é uma forma eficaz de melhorar a solubilidade de concentrados proteicos (CAO *et al.*, 2015).

Num processo de separação por membranas pode-se realizar a diafiltração. A diafiltração é um processo que tem como objetivo melhorar a recuperação de solutos

permeáveis. Este processo consiste em diluir o concentrado, geralmente com a adição de água, ao concentrado durante o processo de concentração, até obter a eliminação considerada satisfatória de soluto. A diafiltração é considerada útil para remover materiais de baixo peso molecular, além de oferecer uma alternativa a troca iônica ou eletrodialise (SILVA, 2013; FELLOWS, 2019)

Na indústria de laticínios, a osmose reversa é uma tecnologia aplicada na concentração de soro lácteo funcionando como uma pré concentração antes da sua secagem. No entanto, como o processo de osmose reversa do leite só permite a passagem da água, sua aplicação na indústria ainda é limitada. A membrana para esse processo deve apresentar alta permeabilidade a água e alta retenção de solutos (FELLOWS, 2019; SCARIOT; PRUDÊNCIO; VERRUCK, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019).

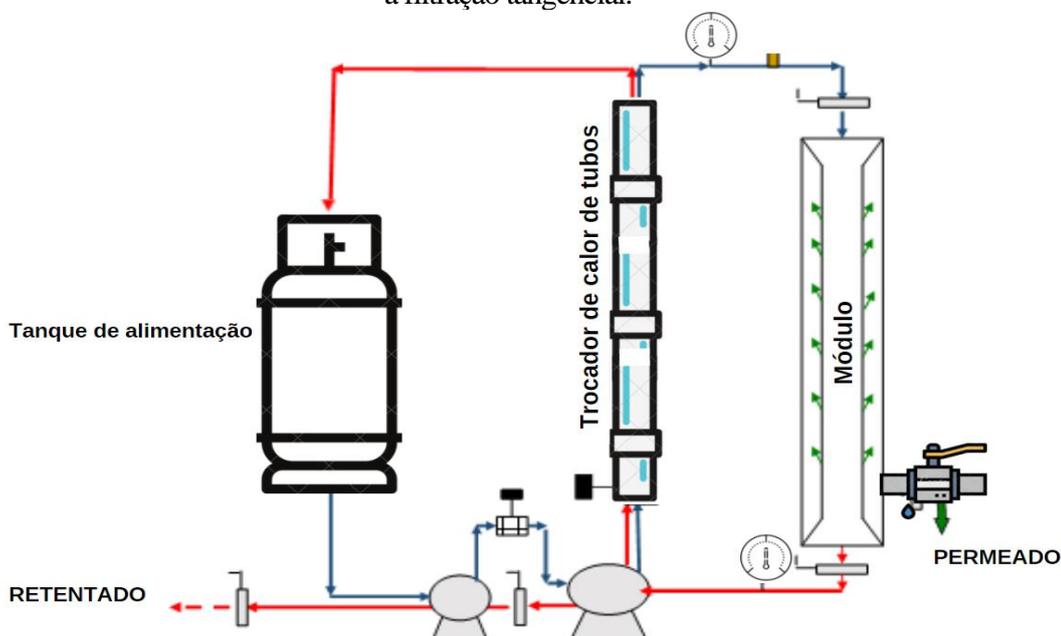
Vourch *et al.* (2008) estudaram a aplicação da osmose reversa em água de indústrias de laticínios. O tratamento da água proposto foi produzir água de reuso na planta e diminuir o volume do efluente. O tratamento feito empregando a osmose reversa atingiu de 90 a 95% de recuperação de água, podendo a mesma ser reutilizada para aquecimento, limpeza e resfriamento na planta industrial (VOURCH *et al.*, 2008).

No processo de separação por membranas, as membranas são consideradas o “coração” do processo pois servem de barreira, separando duas fases. A diversidade de materiais possíveis para a produção de membranas beneficia a aplicação dos processos por tolerar uma ampla faixa de pH e temperatura, alta resistência mecânica, possibilidade de esterilização por vapor d’água e resistência aos processos de limpeza e desinfecção. As membranas aplicadas na indústria de alimentos podem ser conceituadas como elementos tubulares, consistindo em cilindros metálicos recobertos internamente pela membrana, placas e divisórias compostas por membranas de lâmina plana empacotadas, de forma alternada com placas porosas. Outros formatos de membranas são a espiral e a de fibra oca, esta última consistindo de um cartucho que contém centenas de fibras de pequeno diâmetro dispostas longitudinalmente. Todos estes formatos de membranas com diferentes configurações funcionam de forma muito similar, onde o líquido é impulsionado por pressão, a um número adequado de módulos de membrana para obter a separação e/ou a concentração desejada (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005b; SCARIOT; PRUDÊNCIO; VERRUCK, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019).

Dois parâmetros são críticos para selecionar e avaliar a eficiência do processamento por membranas, como a permeabilidade e a seletividade. As membranas estão depositadas dentro de módulos, onde cada um é específico para cada tipo de

membrana (SCARIOT; PRUDÊNCIO; VERRUCK, 2019 *apud* CRUZ *et al.*, 2019). Na Figura 23 tem-se a representação esquemática de um equipamento de separação por membranas, que envolve a filtração tangencial.

Figura 23: Representação esquemática de um processo de separação por membranas envolvendo a filtração tangencial.



Fonte: A autora (2021).

#### 4.3.8 Alta pressão

O processo de alta pressão foi relatado pela primeira vez por Bert Hite no século XIX, sendo aplicado em leites. Atualmente este processo é considerado uma tecnologia emergente capaz de destruir microrganismos deteriorantes e patogênicos sem o uso de aquecimento, podendo ser aplicada agregada a tratamentos térmicos ou substituindo-os, ainda sendo capaz de manter praticamente inalteradas as características sensoriais e nutricionais do leite. Este processo consiste em utilizar pressões entre 1.000 até 8.000 Bar, em alimentos líquidos e sólidos com mais do que 40% de água livre, usando temperaturas inferiores aos processos convencionais, como temperaturas negativas ou ambiente. O processo de alta pressão é também denominado como alta pressão hidrostática (APH), alta pressão isostática e pressão ultraelevada (FELLOWS, 2019). Para a instalação de um processo de alta pressão deve-se levar em conta o custo do equipamento que atualmente há grande disponibilidade e variedade, automação,

instalação, mão de obra, produto e embalagem, verificando também o custo de todo o processo (BERMÚDEZ-AGUIRRE; BARBOSA-CÁNOVAS, 2011).

Diversos países empregam o processo de alta pressão no desenvolvimento de produtos como por exemplo, Canadá, Estados Unidos, México, Colômbia, Chile, Irlanda, Reino Unido, Noruega, Finlândia, Polônia, Alemanha, França, Itália, Espanha, Portugal, Índia, Coreia, Japão, Austrália, Nova Zelândia e Brasil. É uma tecnologia que está sendo cada vez mais difundida e está disponível para a indústria, com o desenvolvimento de produtos considerados de características mais aprimoradas e inovadoras (BERMÚDEZ-AGUIRRE; BARBOSA-CÁNOVAS, 2011).

Estudos mostrando a inativação de enzimas em alimentos empregando temperatura ambiente e tempo maior do que 15 minutos foram realizados com sucesso. No entanto, a alta pressão pode ser aplicada em combinação com outras tecnologias, como por exemplo o tratamento com CO<sub>2</sub>, sendo capaz de inativar microrganismos patogênicos como *E. coli* e *Staphylococcus aureus*. Outra combinação é com antimicrobianos naturais como a nisina, que combinada com o processamento de alta pressão seria capaz de inibir a bactéria *Salmonella*. Foi verificado que a alta pressão conjuntamente com o uso de temperaturas negativas seria capaz de inativar *Listeria monocytogenes* e *E. coli* em pescados e suco de frutas. Assim, tem-se verificado em estudos que este processo é eficiente contra bactérias patogênicas, leveduras, bolores e bactérias deteriorantes. Apesar de ser um processo letal para microrganismos, não ocorre a quebra de ligações covalentes, não afetando os macros e micronutrientes presentes no alimento (BALASUBRAMANIAM; FARKAS; TUREK, 2008; BERMÚDEZ-AGUIRRE; BARBOSA-CÁNOVAS, 2011). Os parâmetros que foram avaliados em estudos que empregaram altas pressões foram pressão, temperatura e tempo usado, e quando aplicado em conjunto com outras tecnologias, foram avaliados também a composição do alimento, o teor de sal e a presença de íons (BERMÚDEZ-AGUIRRE; BARBOSA-CÁNOVAS, 2011). A utilização de diferentes tecnologias juntas poderia ser uma ótima alternativa, devido à redução de energia. Cada equipamento oferece determinadas características com base nos parâmetros de operação, como a faixa de pressão, sistemas usados para o aquecimento e resfriamento, volume da câmara e desenho do sistema (BERMÚDEZ-AGUIRRE; BARBOSA-CÁNOVAS, 2011).

Dentro dos processos de alta pressão há o processamento térmico assistido por pressão, sendo conhecido como esterilização de alta pressão. Neste tipo de processamento utiliza-se temperatura moderada de 60 a 90°C com alta pressão de 6.000 a 8.000 Bar por

5 minutos, a fim de inativar esporos e preservar alimentos pouco ácidos. Busca-se com esse processo aplicar temperaturas inferiores às convencionais de esterilização (121°C) para não alterar o alimento, mas garantindo a inativação microbiana, podendo manter as características do produto original, com menor tempo de processo e temperaturas mais amenas. O processo de alta pressão e o processo térmico assistido por alta pressão podem ser realizados com o produto já embalados (BERMÚDEZ-AGUIRRE; BARBOSA-CÁNOVAS, 2011). Entretanto, para a pressão não danificar o produto, este deve ter umidade suficiente, e ter a pressão aplicada de forma uniforme em toda a sua superfície. No processo de alta pressão a transmissão da pressão será feita por um meio de um fluido do sistema, porém não pode ser aplicado em alimentos com estrutura porosa. Os alimentos submetidos a este processo empregam embalagens flexíveis ou recipientes de plástico, que devem estar submersos em um líquido, atingindo a pressão uniformemente em todo o alimento. No uso desta tecnologia também se observa um aumento de temperatura devido ao aquecimento adiabático de alguns compostos presentes no alimento, como por exemplo, a água. Assim antes de submetido ao processo de alta pressão, a embalagem deve ser preenchida pelo fluido transmissor de pressão, ou seja, a água, então selada e pressurizada pelo uso de uma bomba de alta pressão. No caso de alimentos líquidos e não embalados utiliza-se um equipamento semicontínuo, enquanto que para líquidos na embalagem o processo é descontínuo/batelada. No processo descontínuo ocorre a compressão direta gerada no tanque de pressão pelo líquido de compressão (água) durante um tempo determinado, geralmente minutos. Os parâmetros de processamento serão definidos de acordo com a composição e propriedade do alimento, como por exemplo, o pH, a atividade de água, tipo de microrganismo que podem estar presentes (FELLOWS, 2019).

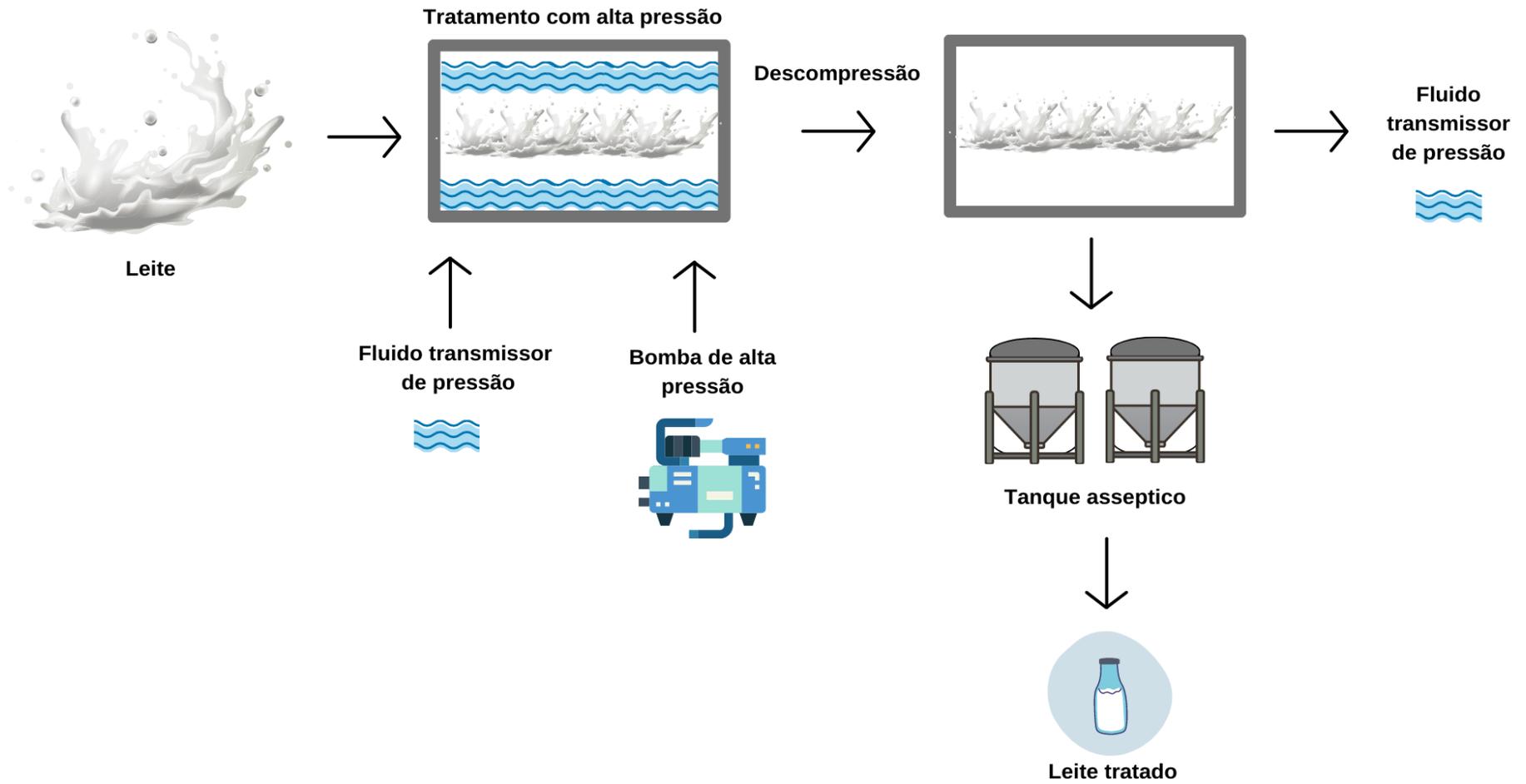
O efeito do processo de alta pressão sobre os microrganismos é resultante de modificações na ligação não covalente das proteínas, o que poderia acarretar danos na multiplicação e na integridade celular, gerando dano ou morte dos microrganismos (FELLOWS, 2019). Neste tipo de processo para que se tenha influência sobre os microrganismos geralmente utiliza-se o tempo de 3 a 5 minutos e a pressão de 6.000 Bar, podendo o alimento receber de 5 a 6 ciclos por hora, gerando compressão, retenção, descompressão, carregamento e descarregamento. Taxas de ciclo ligeiramente mais altas podem ser possíveis usando sistemas de carga e descarga totalmente automatizados. As embalagens são submetidas a alta pressão e após o tempo mínimo necessário o produto na pressão alvo, o recipiente é descomprimido pela liberação do fluido transmissor de

pressão, sendo então retirado do recipiente e armazenado (BALASUBRAMANIAM; FARKAS; TUREK, 2008) (Figura 24).

A tecnologia de alta pressão apresenta de maneira geral vantagens como a redução de células vegetativas e esporos, preservação da cor e sabor do alimento, e é considerado um processamento curto, uniforme, com baixo consumo de energia, além de poder ser realizado com o alimento embalado. Como desvantagem da alta pressão destacam-se o alto custo do equipamento que não é totalmente contínuo. Na indústria de laticínios é praticado para a diminuição da carga microbiana de leites fluidos, melhora da qualidade e rendimento de derivados como queijos e iogurtes (NASCIMENTO; SILVA; BARBOSA, 2013; FELLOWS, 2019). A qualidade dos alimentos por alta pressão é muito similar com a dos produtos frescos, sendo que sua qualidade ao longo do prazo é influenciada pelas temperaturas de distribuição e armazenamento posteriores, bem como pelas propriedades de barreira da embalagem, do que propriamente o processo (BALASUBRAMANIAM; FARKAS; TUREK, 2008).

Alpas e Bozoglu (2000) combinaram a uso de alta pressão (3450 Bar), com a temperatura de 50°C para a inativação de microrganismos patogênicos resistentes à pressão em leite pasteurizado, como *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* e *Salmonella* (*S. enteritidis* e *S. typhi*). Depois do emprego da alta pressão somente *Staphylococcus aureus* sobreviveu com uma redução de 5,5 log UFC por mL de leite, enquanto todos os outros microrganismos foram inativados como uma redução maior que 8 log UFC por mL de leite. O leite foi armazenado por 24 e 48 horas a 37°C e, em meios seletivos observou-se o crescimento de *S. aureus*, enquanto *L. monocytogenes* somente a 37°C por 48 horas (ALPAS; BOZOGLU, 2000).

Figura 24: Etapas envolvidas no processamento de alta pressão de leite.



Fonte: A autora (2021).

Pinho (2006) avaliou o processo de homogeneização alta pressão no processamento de leite desnatado e a inativação de *Pseudomonas fluorescens*, *Listeria innocua* e *Lactobacillus helveticus*, aplicando pressões de 1.000 a 3.000 Bar. As amostras de leite foram inoculadas com os microrganismos para ter entre 6 e 7 log UFC por mL de leite. Com esse estudo obteve-se resultados que indicaram a inativação completa dos microrganismos inoculados nas pressões de 2.000 Bar para *Pseudomonas fluorescens*, 2.500 Bar para *Listeria innocua* e 2.600 Bar para *Lactobacillus helveticus*. Neste estudo também foi avaliado a inativação de esporos de *Bacillus stearothermophilus*, onde foram inoculados 5 log de esporos por mL de leite e pressão de 3.000 Bar. Depois de realizada esta etapa observou-se que até na pressão máxima usada de 3.000 Bar não foram observadas redução nas contagens de esporos (PINHO, 2006).

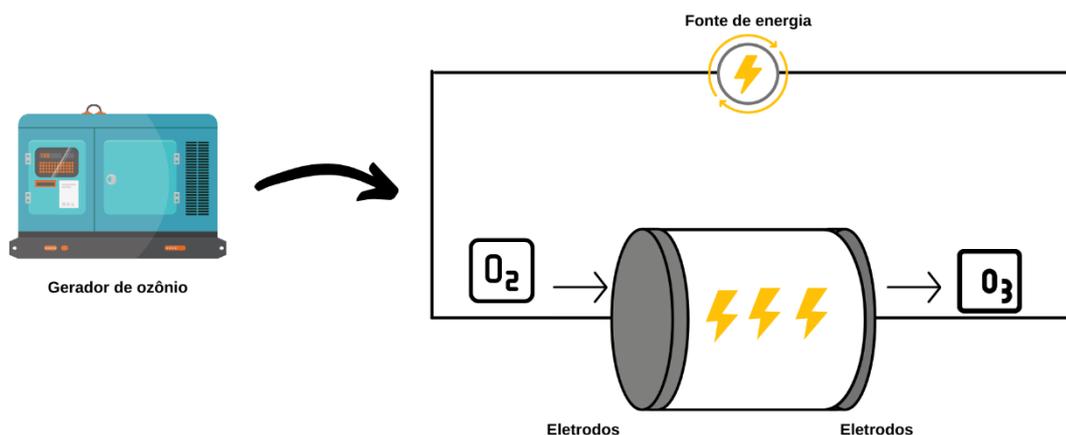
Em leites esse processo foi usado com sucesso, porém os derivados mais avaliados com relação ao emprego da alta pressão foram iogurte, queijo e creme de leite, no entanto, mudanças nas propriedades destes produtos lácteos foram verificadas. No leite a alta pressão empregada no processo de homogeneização reduz o tamanho dos glóbulos de gordura, além de inativar microrganismos e enzimas (BERMÚDEZ-AGUIRRE; BARBOSA-CÁNOVAS, 2011). Wang *et al.* (2013) relataram que nos Estados Unidos o uso de alta pressão como tecnologia substituta da pasteurização convencional (MORAIS; FERREIRA; ROSENTHAL, 2013).

#### 4.3.9 Ozonização

A ozonização consiste no uso do ozônio, forma do oxigênio triatômico ( $O_3$ ), que apresenta atividade antimicrobiana contra bactérias, fungos, vírus, bacteriófagos. O ozônio pode ser usado na forma gasosa ou líquida, cuja produção é resultante do uso da luz ultravioleta de 185 nm, envolvendo uma aplicação de alta voltagem aplicada ao oxigênio ( $O_2$ ), fazendo com que as moléculas de oxigênio quebrem e se reorganizem para formar o  $O_3$  (Figura 25). Em alimentos a forma do ozônio mais usada é a líquida, onde esses produtos são mergulhados nessa água ozonizada, precisando verificar a eficiência da concentração de ozônio (mg/L) e tempo de contato (minutos). Por ser um composto instável, deve-se garantir que não reaja com o equipamento e embalagem do produto, necessitando que todos os materiais utilizados sejam altamente resistentes ao ozônio. Os materiais mais indicados são o aço inoxidável, teflon, vidro, polivinil cloreto e polietileno. No entanto, o uso do ozônio apresenta vantagem de não deixar resíduos químicos no

alimento e se degradar em  $O_2$ . Como desvantagens seria uma possível mudança de coloração, odor e a oxidação de compostos do alimento (FELLOWS, 2019).

Figura 25: Esquema da geração de ozônio.



Fonte: Adaptado Munhõs (2018).

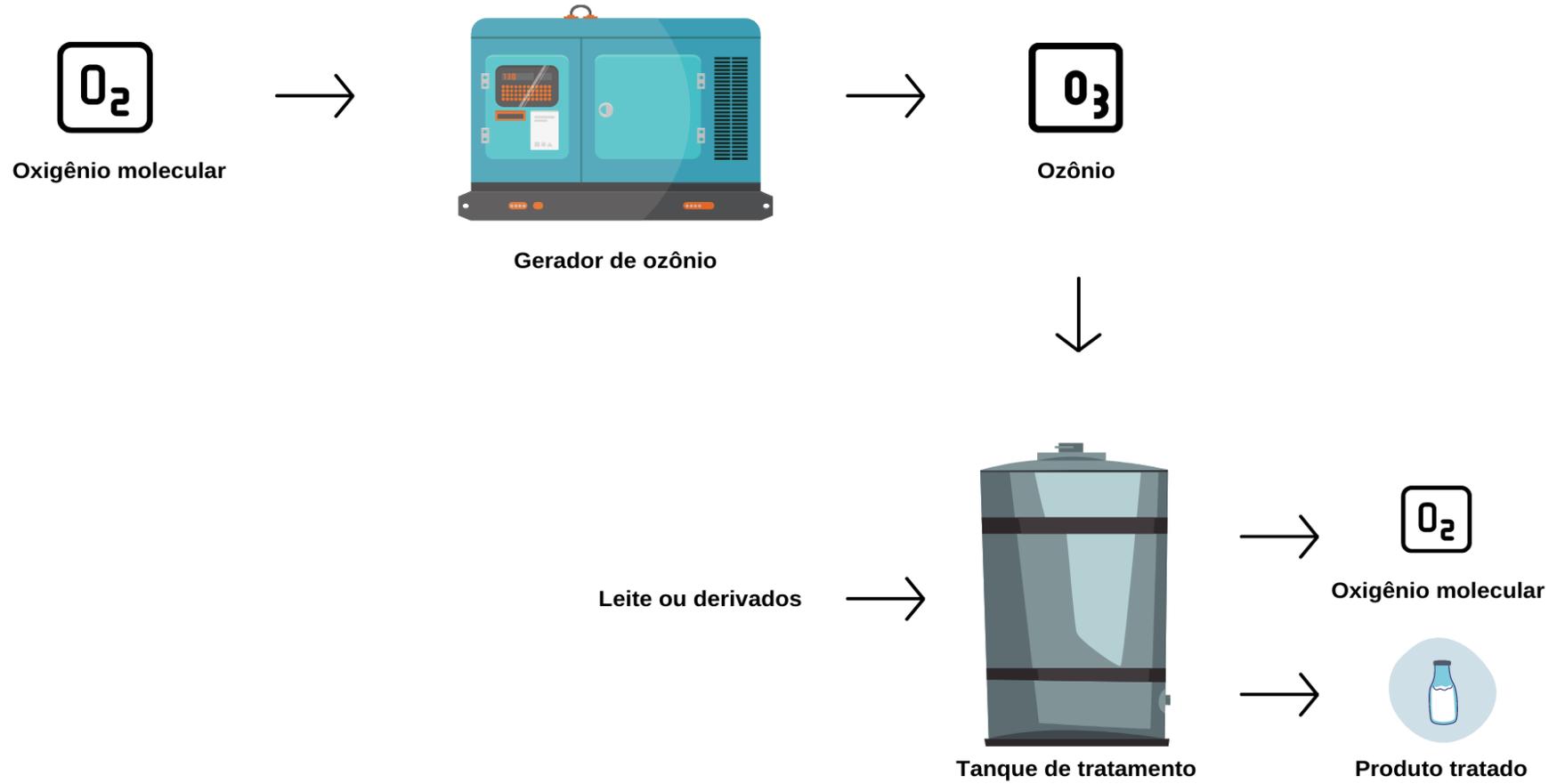
Nos microrganismos a ação do uso do ozônio seria devido a sua atuação antimicrobiana. Esta ação seria em decorrência das reações de oxidação lipídica devido aos radicais livres formados na água, onde os lipídios insaturados das paredes celulares dos microrganismos geram um extravasamento celular. Algumas bactérias que podem ser destruídas são *E. coli* O157:H7, *Pseudomonas fluorescense*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Salmonella* e *Listeria monocytogenes*. Para uma melhor eficiência esse processo pode ser usado em combinação com outros métodos (FELLOWS, 2019).

Em leite cru, Santos (2013) avaliou o uso de ozônio na redução de microrganismos aeróbicos mesófilos em leite cru, e a ocorrência de alterações físico-químicas após o tratamento (Figura 26). Neste estudo foram empregadas diferentes concentrações de ozônio e tempo de processo. Ao final, verificou-se uma redução de 1 log UFC por mL de leite empregando 15 minutos do processo de ozonização e 15 mg de ozônio por litro de água, ou 30 minutos de processo com concentração de ozônio entre 5 e 10 mg por L de água. Neste estudo foi observada mudança da cor do leite cru, retornando depois de 2 ou 3 horas. Também foram observadas alterações na composição inicial do leite cru, com redução de gordura, extrato seco desengordurado, lactose, densidade e

proteína, quando utilizada 18 mg de ozônio por litro de água e o tempo de 10 minutos (SANTOS, 2013).

Couto (2014) avaliou a eficiência do ozônio em leite, verificando a redução na contagem de colônias de *Staphylococcus aureus*. Em quatro amostras de leite foi inoculado *S. aureus*, onde duas amostras de leite desnatado foram tratadas com 34,7 e com 44,8 mg de ozônio por L de água, e duas amostras de leite integral também com 34,7 e com 44,8 mg de ozônio por L de água. Os tempos usados foram 5, 10, 15, 20 e 25 minutos e as contagens bacterianas foram feitas antes e após a ozonização das amostras. Os resultados demonstraram que o leite desnatado obteve a maior redução de *S. aureus*, enquanto o leite integral, com maior teor de gordura, teve a menor redução na contagem microbiana. Também se verificou que para o leite desnatado a partir de 10 minutos de tratamento, em ambas as concentrações, começaram as reduções na contagem, sendo mais acentuada a partir de 20 minutos (COUTO, 2014). Munhõs (2018) estudou a eficiência do ozônio em microrganismos do gênero *Pseudomonas* inoculadas em cinco amostras de leite UHT integral e cinco amostras de leite desnatado, em concentração de 28 mg de ozônio por L de água por 5, 10 e 15 minutos, bem possíveis alterações químicas depois da ozonização. Os grupos foram divididos em controle, controle contaminado e controle contaminado ozonizado. Após 10 minutos de tratamento observou-se redução de 4 log UFC por mL de leite nas amostras de leite integral e desnatado, após 15 minutos a redução foi ainda mais significativa para o leite desnatado em relação ao leite integral, podendo ser explicado essa diferença também devido ao teor de gordura. Não houve modificações no pH e no índice de acidez do leite UHT (MUNHÕS, 2018). Em ambos os estudos a eficiência da destruição do microrganismo foi dependente do tempo de tratamento com ozônio, ou seja, quanto maior o tempo de exposição maior a eficiência. Também verificaram que o teor de gordura do leite interferiu na eficiência do tratamento com ozônio, mas não foram observadas alterações de pH. Entretanto, Santos (2013) relatou que a aplicação de ozônio é um processo que pode ser usado como método alternativo para a pasteurização térmica no controle microbiológico do leite, porém necessita de mais estudos com combinações de concentração e tempo de exposição eficientes, que não causem alteração nas características físico-químicas e sensoriais do leite (SANTOS, 2013).

Figura 26: Etapas do processo de ozonização de leite e derivados.



Fonte: A autora (2021).

#### 4.3.10 Plasma a frio

O uso do plasma a frio teve seu início no século XVIII com Georg Christoph Lichtenberg. O plasma a frio é uma tecnologia não térmica que inativa microrganismos pela ação de gases reativos energizados, é conhecida pelo quarto estado da matéria, consistindo em um gás eletricamente energizado. Pode ser dividido em plasma térmico e plasma a frio, porém aqui será abordado somente o plasma a frio (COUTINHO *et al.*, 2018; COUTINHO, 2019; FELLOWS, 2019).

O plasma é produzido através de um gás molecular ou inerte, em temperaturas baixas com a aplicação de alta tensão a pressão atmosférica ou pressão reduzida, assim cria-se um campo elétrico que irá aumentar a cinética e acelerar os elétrons livres presentes no gás, que irão se colidir com átomos e provocar a ionização liberando mais elétrons. No plasma são encontradas moléculas neutras, elétrons, íons positivos e negativos, apresentando um equilíbrio com uma carga total neutra. Na formação da corrente elétrica a disposição dos eletrodos é importante para a eficiência do jato de plasma. Com isso, as partículas energizadas e a luz ultravioleta podem inativar microrganismos pela ação de ruptura da membrana celular. Para a implementação dessa tecnologia deve ser avaliado o custo, buscando um equipamento com menor custo, que seja capaz de processar de forma contínua e em alta velocidade, bem como, que opere com diferentes gases (COUTINHO *et al.*, 2018; COUTINHO, 2019; FELLOWS, 2019). As fontes de plasma que geram os jatos de plasma eficazes no efeito antimicrobiano são classificadas pela frequência de excitação e configuração do eletrodo (Figura 27). Cada tipo de tratamento deve ser adequado ao produto, no mercado atualmente estão disponíveis modelos somente para aplicações específicas (EHLBECK *et al.*, 2011). Na Figura 28 é demonstrada a representação esquemática de um sistema de plasma a frio.

Os gases estudados para o plasma são o oxigênio ( $O_2$ ), mistura de oxigênio e nitrogênio ( $N_2/O_2$ ), hélio (He), argônio (Ar), mistura de argônio e oxigênio ( $Ar/O_2$ ), e mistura de hélio com oxigênio ( $He/O_2$ ). Por não usar temperaturas elevadas é adequado para alimentos termos sensíveis, como o leite. Durante a aplicação do plasma alguns agentes podem atuar, como ozônio, hidroxila, oxigênio reativo e espécies de nitrogênio reativa, energia radiação ultravioleta, radiação na faixa espectral do visível e infravermelho, partículas carregadas, campos elétricos alternados e processos de corrosão física e química. Essas atuações favorecem o efeito antimicrobiano por combinar várias ações contra os microrganismos, onde dificilmente algum terá resistência a todos esses

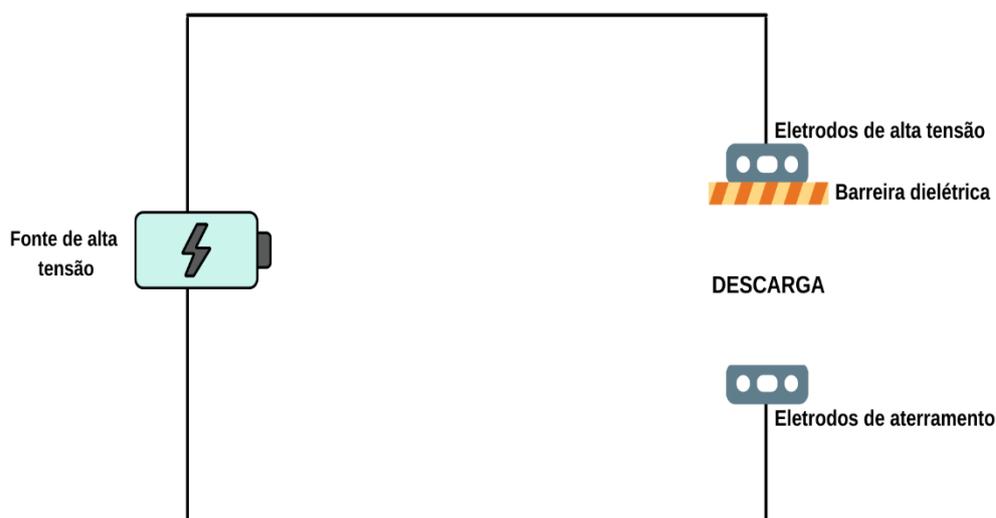
agentes (EHLBECK *et al.*, 2011). Nos microrganismos, o efeito é pelas espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, por reação de oxidação nas ligações duplas presentes na bicamada lipídica da célula microbiana. O efeito do plasma a frio é devido a um bombardeio desses agentes que acabam sendo absorvidos pelo microrganismo e transformados em compostos voláteis, gerando lesões na célula. Já o efeito inibidor nas enzimas é por meio da reação de oxidação de peptídeos, alterando a conformação das proteínas fazendo com que a atividade enzimática seja reduzida. Em leite e derivados a eficiência do uso do plasma a frio depende do tipo de microrganismo, da potência de entrada, do tempo de exposição, da composição do gás que origina o plasma e a da composição do alimento. De acordo com os estudos não há alterações significativas nas características físico-químicas. São relatadas diferenças de cores por análises, mas não detectáveis visualmente, e, maior acidez pelas reações das espécies reativas geradas por plasma (COUTINHO *et al.*, 2018).

Figura 27: Fotografia representando os jatos de plasma.



Fonte: LFP (2015)

Figura 28: Representação da configuração básica para geração de plasma.



Fonte: A autora (2021).

Gurol *et al.* (2012) avaliou o efeito antimicrobiano do plasma a frio em leite UHT integral, semidesnatado e desnatado, inoculado com *E. coli* ATCC25622 contendo então 7,78 log UFC por mL de leite. Os parâmetros usados foram o intervalo de 0, 3, 6, 9, 12, 15 e 20 minutos, com alimentação de 9 kV. Depois de 3 minutos de tratamento houve uma redução de 3,63 log em todas as amostras, não havendo interferência do teor de gordura do produto, enquanto no período de 15 e 20 minutos a redução foi maior que 4 log. Em relação a coloração não houve alterações nas amostras de leite UHT quando comparadas com o leite cru, sendo notada diferença quando empregado um tempo de 20 minutos. O pH também não apresentou mudanças, não possuindo ligação com o efeito antimicrobiano. Conforme os resultados obtidos nesse estudo o tratamento de plasma a frio mostrou-se eficiente na redução microbiana (GUROL *et al.*, 2012).

Coutinho (2019) estudou o efeito do tratamento de plasma a frio em uma bebida láctea com chocolate, utilizando diferentes tempos (5, 10 e 15 minutos) e taxas de fluxo (10, 20 e 30 mL por minuto), com potência de 50kV, em um total de nove ensaios. Entre as características físico químicas analisadas, o pH nos tratamentos com plasma a frio aumentaram, podendo ser explicado pela não ocorrência da reação da lactose, como em processos térmicos, formando compostos ácidos, sendo um ponto positivo pois nesses

produtos não é requerido pelo consumidor um produto ácido. Os resultados finais deste estudo indicaram como melhores parâmetros de uso para a bebida (COUTINHO, 2019).

Essa nova tecnologia pode ser aplicada na inativação de microrganismos garantindo a segurança de laticínios, além de possuir vantagens de ser ambientalmente amigável, não gera resíduos, alto efeito antimicrobiano, geração precisa de plasmas adequados, compatível com vários tipos de embalagens, não usa calor e baixo impacto no produto a ser processado. Em relação as desvantagens do processo está a oxidação lipídica acelerada em produtos com alto teor lipídico, influenciando negativamente a parte sensorial, e não podendo ser aplicado a produtos com superfície irregular. São necessários mais estudos verificando esses parâmetros a fim de contorná-los, analisando também a retenção do valor nutricional e estabilidade. A sua aplicação na alimentação ainda não está sendo feita, sendo necessário uma base com dados de sua viabilidade em larga escala, garantindo um produto seguro, porém é uma alternativa cotada para substituição da pasteurização térmica (COUTINHO *et al.*, 2018).

De acordo com Coutinho *et al.* (2018) a regulamentação dessa tecnologia não seria simples, devido à complexidade da composição dos alimentos e suas variedades, sendo necessário muitos estudos que garantam a qualidade final e a segurança alimentar, sendo mais rápidos quando há validação de produtos comparáveis para uma determinada tecnologia. Uma forma de aplicar esses processos não térmicos seria em combinação com outros térmicos ou até mesmo não térmico, abordagem conhecida como “tecnologia de barreira”, baseada na microbiologia do alimento, assim pode-se aumentar a eficiência contra os microrganismos sem causar alterações nutricionais e sensoriais, pela redução da severidade dos tratamentos tradicionais (CULLEN; TIWARI; VALDRAMIDIS, 2012). Qualquer nova tecnologia visando substituir algum processo térmico precisa apresentar vantagens em relação aos custos e qualidade final do produto (COUTINHO *et al.*, 2018).

#### 4.4 REAÇÃO DE MAILLARD

O escurecimento nos alimentos pode ocorrer de forma enzimática ou não enzimática. No alimento o escurecimento não enzimático pode ocorrer devido à caramelização, à reação de Maillard e à oxidação da vitamina C. Em leites e derivados, a reação de Maillard é considerada um problema, no entanto, é desejável em alguns

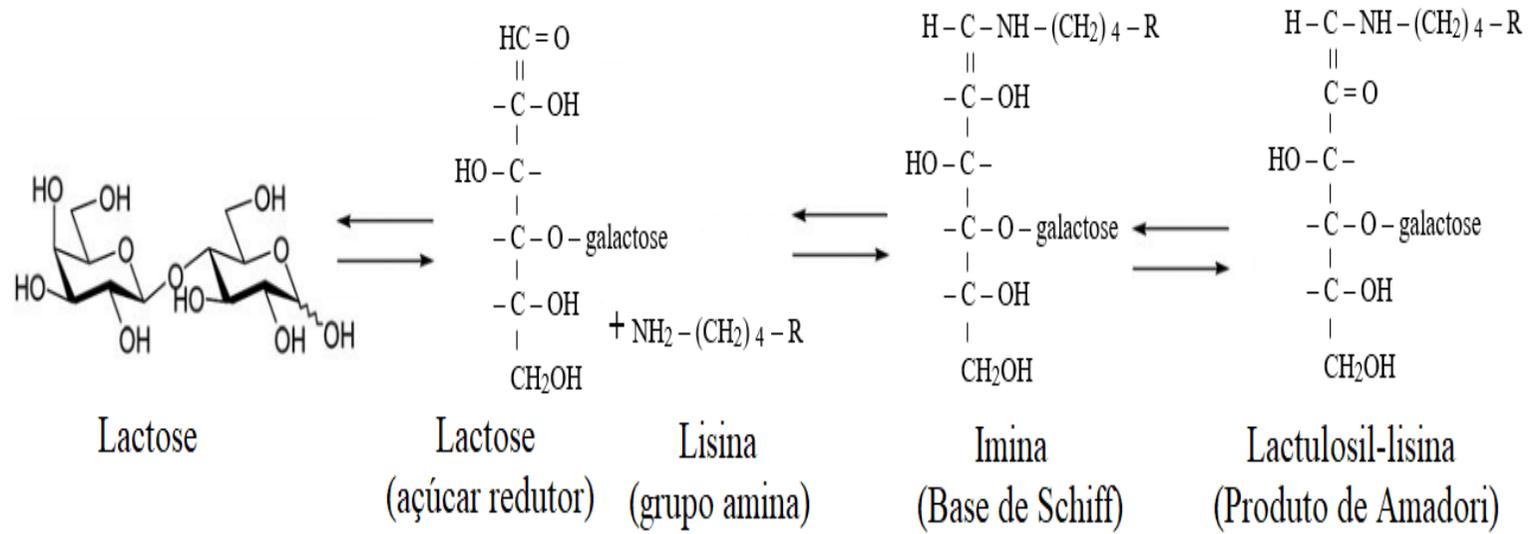
derivados lácteos como o doce de leite e a manteiga Ghee, o que garante as características sensoriais destes produtos. Esta reação acontece entre um açúcar redutor e uma amina primária quando o alimento é submetido a temperaturas mais altas. Em decorrência das diversas reações químicas podem ser produzidos aromas, sabores e cores no alimento, além de compostos com função antioxidante, antimutagênica e quimioprotetora (VAN BOEKEL, 2006; BASTOS *et al.*, 2011). Entretanto, podem ser produzidos compostos tóxicos, como a acroleína e as aminas heterocíclicas, implicando negativamente nos aminoácidos essenciais, diminuindo o valor nutricional do produto (VAN BOEKEL, 2006; BASTOS *et al.*, 2011).

Em leites e seus derivados a fase inicial da reação de Maillard ocorre pela interação do grupo carbonila da lactose e o grupo  $\epsilon$ -amino do aminoácido presente na caseína ou proteínas do soro. Por condensação estes grupos formam iminas que são instáveis, e pelo aquecimento da matéria prima o grupamento amina desprotonado (NHR) é adicionado ao grupo carbonila (COH) da lactose (açúcar redutor). Esses compostos instáveis são denominados Bases de Schiff ou N-glicosilamina. Devido à instabilidade ocorre uma reação de isomerização, resultando nos produtos iniciais da reação de Maillard (Figura 29), também denominados produtos de Amadori quando o açúcar é uma aldose (aldosilaminas) ou Heyns quando é uma cetose (cetossilaminas). Desta forma, estes produtos são glicosilaminas que por enolização deixam de ter conformação em anel e não apresentam cor ou sabor (BRIÃO *et al.*, 2011; MONARO, 2012; NEWTON *et al.* 2012). Já as reações intermediárias acontecem com a aplicação de temperaturas acima de 100°C, com a desidratação e fragmentação do açúcar, junto a degradação de aminoácidos (FRANCISQUINI, 2017).

Em reações com dissacarídeos, como por exemplo, no leite, que contém a lactose, os produtos de Amadori podem progredir por três vias de reação, transformando as desoxiosonas por processos de enolização, ciclização e desidratação. Na rota 3-desoxiosona forma por meio da 1,2-enolização o furfural, hidroximetilfurfural e a pirralina em pH ácido. A rota 1-desoxiosona atua em pH principalmente neutro ou alcalino gerando a  $\beta$ -piranona e 3-furanona por meio da 2,3-enolização, porém são compostos instáveis e sua fragmentação resultando em redutonas e  $\alpha$ -dicarbonilos. A última rota da 4-desoxiosona em pH levemente alcalino formando a 4-desoxiaminoreductona e 5,6-dihidro-3-hidroxipiridona, degradados após aquecimento prolongado, sendo essa última rota quando o açúcar é um dissacarídeo, como é o caso da lactose presente no leite. Em ambas as rotas a formação final será de melanoidinas (Figura

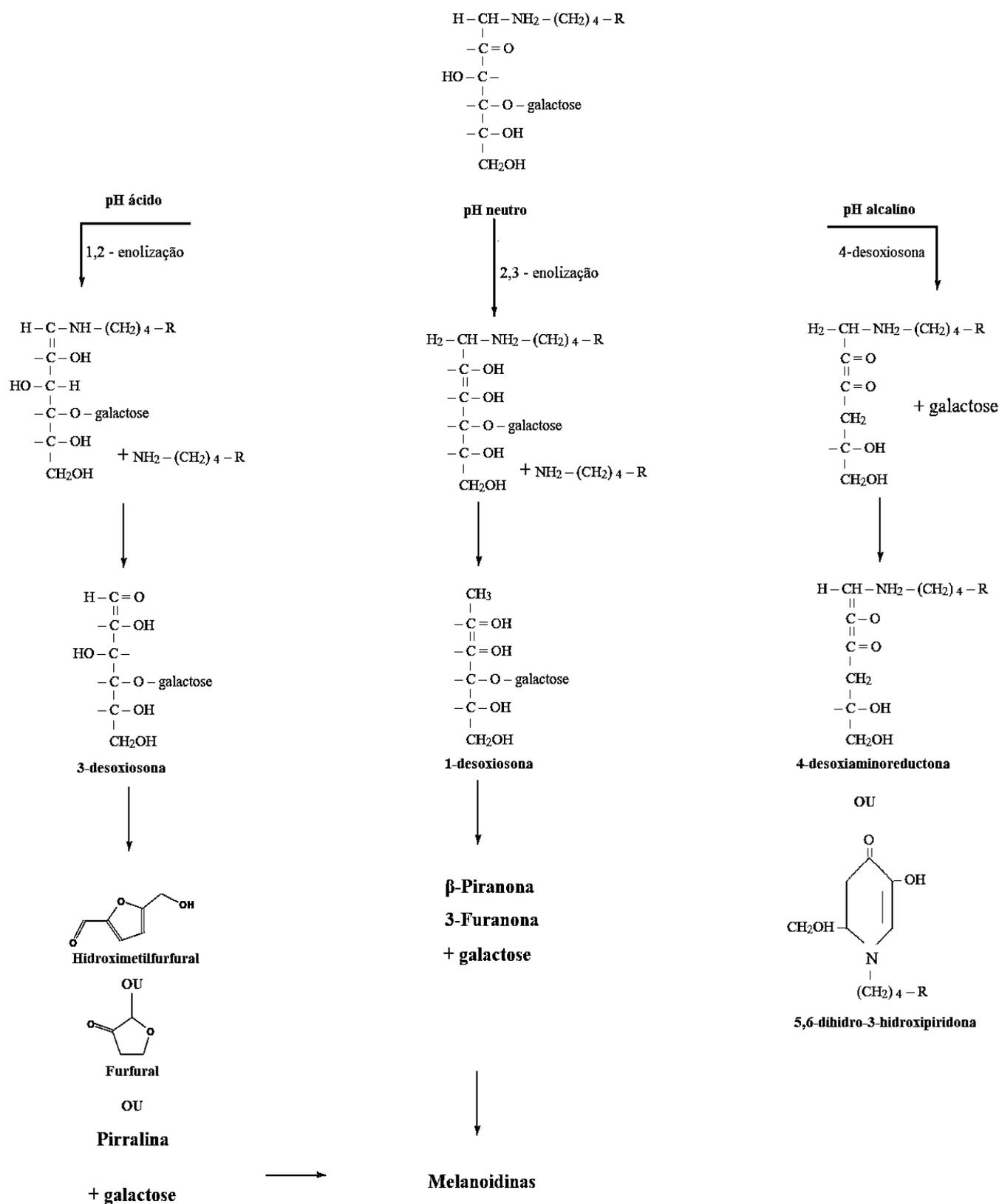
30) (VAN BOEKEL, 1998; SHIMAMURA; UKEDA, 2012 *apud* HURLEY, 2012; NOGUEIRA, 2019). Essas reações são mais complexas e pode gerar uma grande variedade de subprodutos responsáveis pelo desenvolvimento de características sensoriais. Produtos de Amadori são convertidos, sendo 50% em lisina, 30 a 40% em furosina e entre 10 e 20% em piridoxina, sendo os dois últimos, aminoácidos formados por hidrólise ácida (VAN BOEKEL, 1998).

Figura 29: Descrição da etapa inicial da reação de Maillard entre a lactose e lisina.



R= cadeia de proteína  
 Fonte: Adaptado Newton *et al.* (2012).

Figura 30: Descrição da reação intermediária de enolização do produto de Amadori.

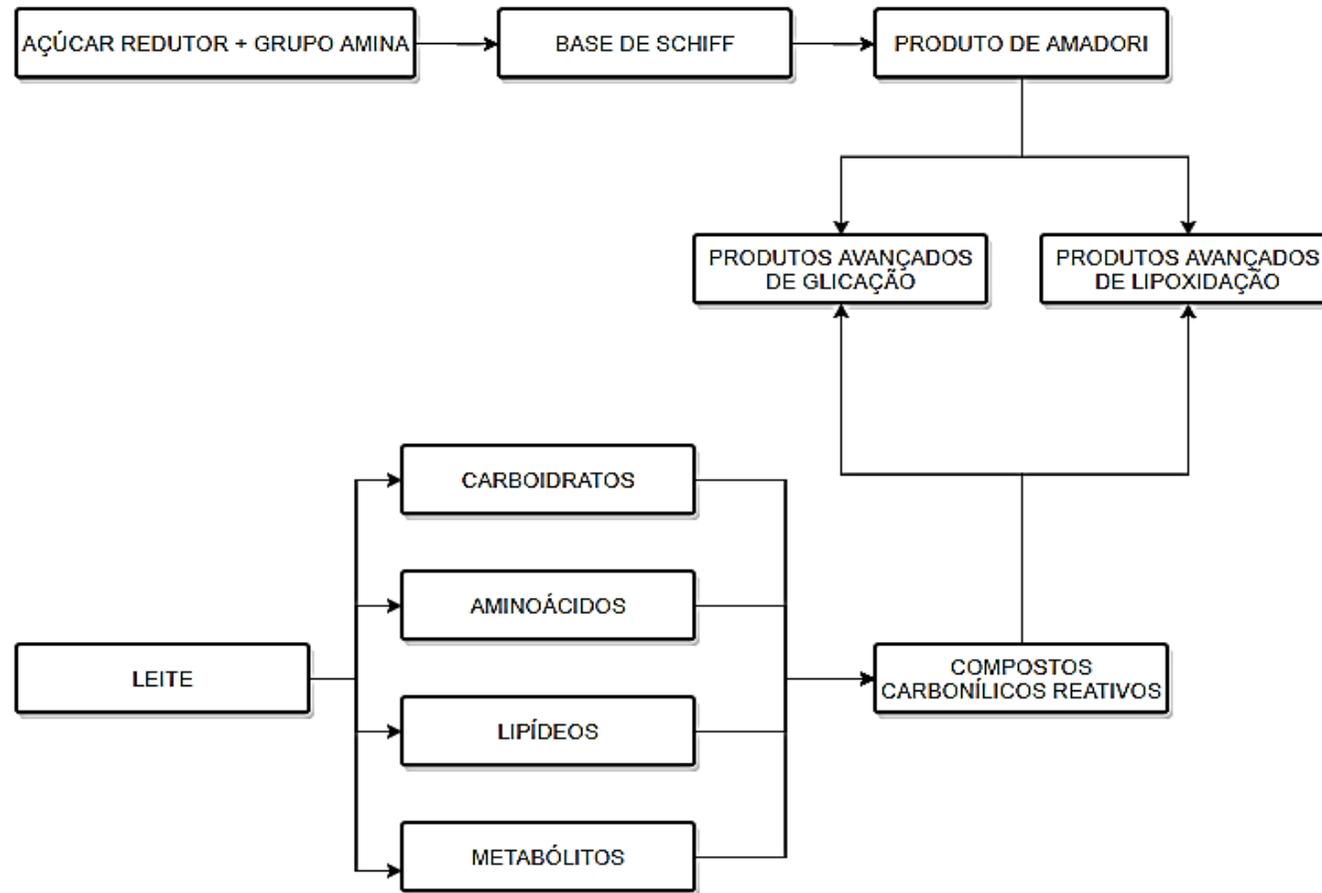


*R=cadeia proteica*

Fonte: Adaptado Van Boekel (1998) e Newton *et al.* (2012).

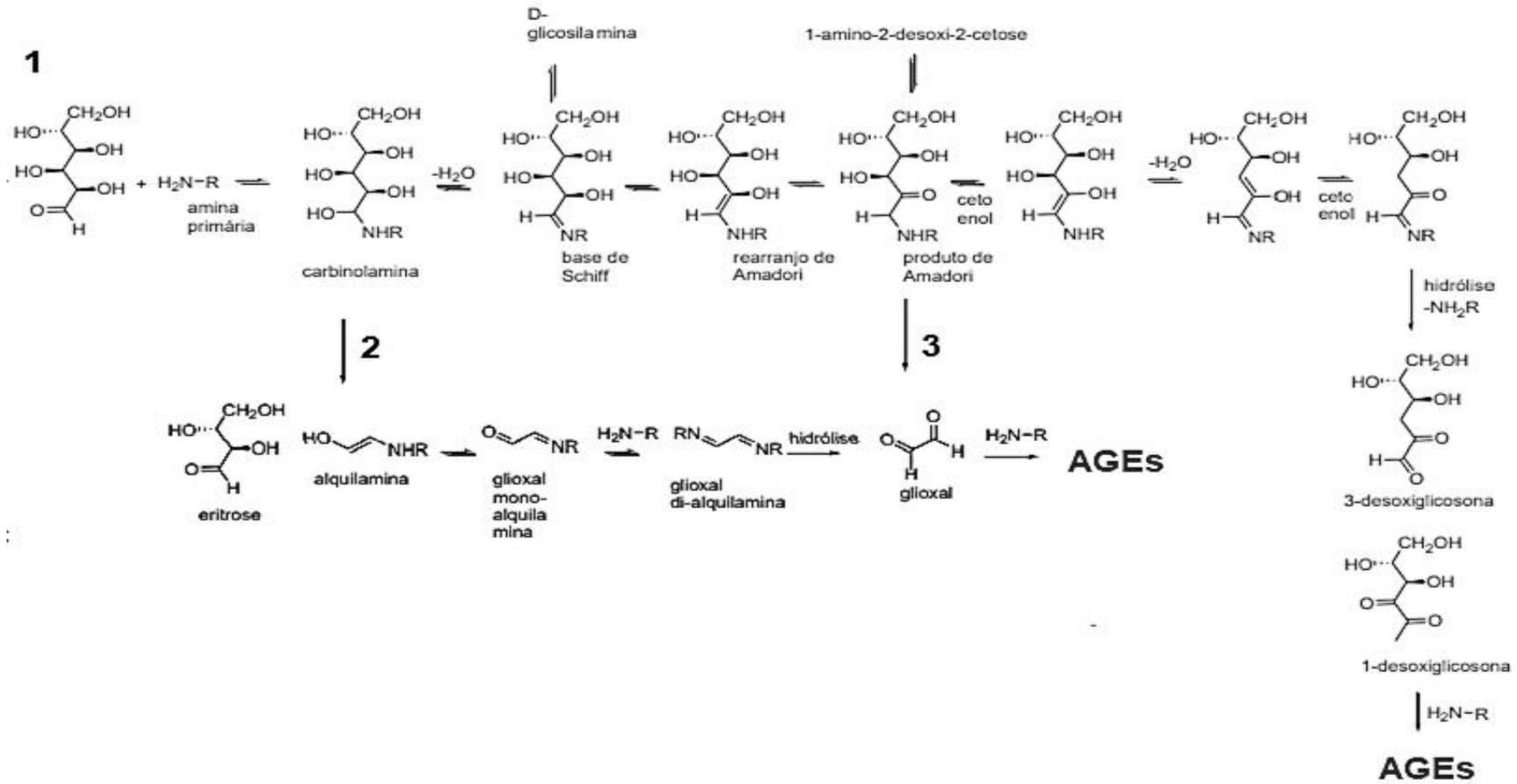
As reações químicas paralelas podem formar os chamados produtos avançados de glicação (AGEs - *Advanced Glycation Endproducts*) e de lipoxidação (ALEs - *Advanced Lipoxidation Endproducts*), conforme demonstrado na Figura 31 (BARBOSA *et al.*, 2016). Em produtos lácteos sem lactose, devido a enzima lactase, que originam a D-glicose e a D-galactose, a glicação tende a ser mais acentuada (MILKOVSKA-STAMENOVA; HOFFMANN, 2016). Os AGEs são proteínas covalentemente modificadas por processos oxidativos e não-oxidativos, entre açúcares ou seus produtos de degradação, enquanto os ALEs são produtos da reação entre diferentes tipos de carbonílicas reativas com resíduos de aminoácidos, produzidas a partir da peroxidação lipídica e do metabolismo dos lipídeos (BARBOSA *et al.*, 2016). Os AGEs e ALEs são formados em alimentos e também em sistemas biológicos, podendo atuar em estruturas biológicas dos organismos, modificando as propriedades pela geração de radicais livre, formação de ligações cruzadas com proteínas alterando suas funções e ligação com receptores como RAGE (*Receptor for Advanced Glycation End-products*) liberando AGE-R1, um receptor para AGEs (TORRES *et al.*, 2018). Esses compostos podem ser formados por meio de outras vias paralelas da reação de Maillard, como a hidrólise da base de Schiff formada a partir da reação de glicação inicial, na rota Namiki, e pela oxidação de Wolf, uma reação de oxidação catalisada por metais (Figura 32). Na própria reação de Maillard os produtos de Amadori podem gerar compostos  $\alpha$ -dicarbonílicos considerados os principais precursores de AGEs e ALEs, por favorecerem a formação de ligações cruzadas entre os resíduos de lisina e arginina das proteínas (TORRES *et al.*, 2018). Alguns exemplos de AGEs são CML, N $\epsilon$ -carboxietilisina, pirralina, pentosidina, glicosepana e compostos imidazólicos, tais como o GOLD (dímero de lisina-glioxal) e DODIC (produto da condensação entre lisina, arginina e 3-desoxiglicosona). Os produtos carbonílicos que são gerados na reação de Maillard podem sofrer condensação junto a resíduos de aminoácidos, produzindo compostos de alto peso molecular, coloração castanha e com difícil caracterização química, as chamadas melanoidinas (BARBOSA *et al.*, 2016).

Figura 31: Reação de Maillard e a formação de produtos avançados de glicação e de lipoxidação.



Fonte: Adaptado Barbosa *et al.* (2016).

Figura 32: Reação de Maillard e vias paralelas na formação de AGEs.



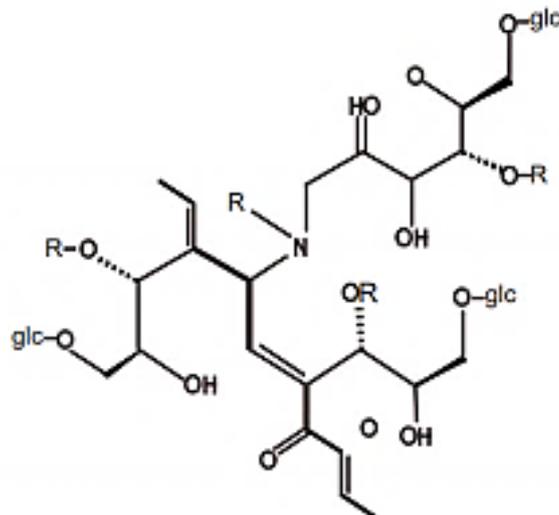
1 = reação de Maillard, 2 = rota Namiki, 3 = oxidação de Wolf  
 Fonte: Adaptado Torres *et al.* (2018)

Existem fatores que afetam a reação de Maillard, como por exemplo, pH, composição química relacionado ao aminoácido e açúcares presentes, atividade de água, tempo, mas principalmente a temperatura aplicada. A cinética da reação de Maillard é influenciada pelas características externas em que o alimento é exposto, como o pH, atividade de água e tempo. Já os compostos formados estão relacionados ao tipo de açúcar e aminoácido do alimento (CARABASA; IBARZ, 2000; VAN BOEKEL, 2006). O pH influencia a protonação do grupo amino sendo importante no início da reação e além disso também é importante após a formação do composto Amadori, uma vez que determina qual via a reação segue predominantemente e quais produtos irá originar. O tipo de açúcar e a natureza de seus produtos de degradação interferem na reação, originam os intermediários de Amadori, enquanto as cetoses dão origem ao composto de Heyns. Além disso cada açúcar possui uma taxa diferente de reação, sendo que os monossacarídeos reagem mais rápido do que dissacarídeos, como a forma aberta da estrutura faz a taxa de reação ser mais rápida do que em compostos cíclicos. Contudo a adição de outros açúcares pode alterar seu perfil de sabor. As aminas primárias são mais reativas que as secundárias, já as terciárias são inativas. A temperatura é um dos principais fatores responsáveis pelo surgimento da reação de Maillard, fazendo a taxa geral de reação e taxas relativas das vias de reação serem dependentes dela. O aumento da temperatura e o uso de altas temperaturas fazem com que essas reações aconteçam em uma taxa maior (NEWTON *et al.*, 2012; BARBOSA *et al.*, 2016).

Derivados lácteos que possuem um elevado teor de gordura estão expostos a degradação e oxidação dos lipídios. Compostos voláteis como metil cetonas, aldeídos e ácidos graxos livres são formados e liberados quando as gorduras são aquecidas. Esses compostos podem reagir com aminoácidos ou produtos da reação de Maillard, porém a reação de Maillard pode reduzir esse efeito de ranço removendo compostos rançosos pela reação e pela capacidade de alguns produtos possuírem efeito antioxidante (NEWTON *et al.*, 2012). Yáñez *et al.* (2018) realizou o estudo da atividade antioxidante dos produtos da reação de Maillard em produtos lácteos como leite em pó, leite condensado e doce de leite, uma vez que o leite é uma matéria prima que não contém outras substâncias com alta atividade antioxidante. Neste estudo, para avaliar a reação de Maillard verificou-se a perda de lisina disponível em doces de leite. De acordo com os dados obtidos os produtos da reação de Maillard com capacidade antioxidante pareceram ter relação direta principalmente com o terceiro estágio, onde há a formação das melanoidinas, que são

compostos de coloração marrom e formados na última etapa da reação de Maillard (YÁÑEZ *et al.*, 2018) (Figura 33).

Figura 33: Estrutura química básica de melanoidinas.



Fonte: Nogueira (2019).

No Quadro 5 são apresentadas as principais características das etapas da reação de Maillard. Nos leites e seus derivados o controle da produção dos compostos da reação de Maillard ainda requerem muitos estudos, não deixando de apresentar a sua importância porque no processamento térmico do leite e no desenvolvimento de derivados lácteos podem influenciar de forma negativa ou positiva sobre as características sensoriais, como sabor e aroma. Dentre os produtos lácteos que estão sujeitos negativamente a reação de Maillard em decorrência do processamento a que são submetidos, destacam-se os leites fluidos, leite condensado, leite em pó, compostos lácteos em pó, soro de leite em pó e iogurte em pó, enquanto o doce de leite e a manteiga Ghee esta influência é tecnologicamente positiva.

Quadro 5: Características das etapas da Reação de Maillard.

Fase	Reação	Produtos formados	Característica	Atividade
Inicial	Condensação e desidratação	Base de Schiff, glicosilamina, produto de Amadori (aldose) ou produto de Heyns (cetose)	Sem coloração, fluorescência ou absorção na região ultravioleta	-
Intermediária	Desidratação, enolização e retroaldolização	Furosina, o hidroximetilfurfural, carboximetilisina e compostos fluorescentes	Fluorescentes e com absorção da radiação na região ultravioleta. Cor e sabor	Carcinogênica Mutagênica
Final	Desidratação, ciclização e polimerização	Melanoidinas	Coloração marrom a preto Sabor	Antioxidante

Fonte: Adaptado Brião *et al.* (2011), Monaro (2012) e Newton *et al.* (2012).

## 4.5 REAÇÃO DE MAILLARD EM DERIVADOS LÁCTEOS

### 4.5.1 Leite fluido

Em leites fluidos, Silva (2003) avaliou o teor de hidroximetilfurfural em leites de diferentes estados, sendo eles Rio Grande do Sul (RS), São Paulo (SP) e Goiás (GO). Deste estudo os seguintes resultados foram obtidos para hidroximetilfurfural: 1,817  $\mu\text{mol/L}$  no RS, 2,688  $\mu\text{mol/L}$  em SP e 3,882  $\mu\text{mol/L}$  em GO, os valores obtidos para HMF total foram de 11,790  $\mu\text{mol/L}$  no RS, 12,408  $\mu\text{mol/L}$  em SP e 14,035  $\mu\text{mol/L}$  em GO. Os valores para o estado de Goiás foram os maiores podendo ser explicado pelas variações de fluxo do leite no trocador de calor ou aumento na recirculação do leite processado, que são responsáveis por intensificar os efeitos do aquecimento sobre o leite (SILVA, 2003).

Baptista e Carvalho (2004) analisaram o teor de furosina e de lisina bloqueada (compostos de Amadori) em leites fluidos e verificaram os seguintes resultados: para leite cru  $9,7 \pm 0,2\text{mg}/100\text{g}$  de proteína e 3% de lisina bloqueada, em leite pasteurizado  $89,2 \pm$

3,1mg/100g de proteína e 29% de lisina bloqueada, leite UAT sem lactose  $42,1 \pm 1,1$ mg/100g de proteína e 13% de lisina bloqueada, e leites UAT com amostras variando entre  $53,2 \pm 1,4$ mg/100g de proteína,  $78,3 \pm 2,7$ mg/100g de proteína e  $138 \pm 6,2$ mg/100g de proteína com 17%, 25% e 44% de lisina bloqueada, respectivamente. A medida em que o tratamento térmico se intensifica ocorre o aumento do valor da lisina bloqueada, não estando mais disponível, além de aumento no teor de furosina quando comparado ao leite cru (BAPTISTA; CARVALHO, 2004)

Neves, Silva e Oliveira (2016) determinaram os teores de proteínas do soro e hidroximetilfurfural por espectrofotometria em 18 marcas de leites UAT comerciais com ou sem lactose. Vale ressaltar que quando o valor de nitrogênio proteico do soro for acima de 6 mg/mL, o produto é classificado como submetido abaixo aquecimento, enquanto teores entre 1,51 e 5,99 mg/mL de médio aquecimento e de 1,50 mg/mL produto de alto aquecimento. Desta forma, os resultados obtidos por Neves, Silva e Oliveira (2016) indicaram que 75% das amostras de leite UAT avaliadas foram classificadas como produto de médio aquecimento e 24% como produto de alto aquecimento. Neste estudo, as amostras de leite com lactose apresentaram teores de hidroximetilfurfural livre entre 2,30 e 3,27  $\mu\text{mol/L}$  e sem lactose de 6,08 e 6,89  $\mu\text{mol/L}$ , enquanto os teores de hidroximetilfurfural total entre 11,67 e 12,39  $\mu\text{mol/L}$  para o leite com lactose e de 132,28 e 143,22  $\mu\text{mol/L}$  para o leite sem lactose. Logo, foi observado que as amostras de leite sem lactose apresentaram os maiores valores para o composto hidroximetilfurfural, que seria explicado da alta reatividade da glicose na formação deste composto. Em estudo realizado por Milkovska-Stamenova e Hoffmann (2016) amostras de leite pasteurizado e leite UAT ambos sem lactose apresentaram maior glicação, quando comparado aos leites com lactose, sendo creditado por estes autores à maior reatividade da glicose, estando de acordo com o resultado encontrado por Neves, Silva e Oliveira (2016). Conforme Singh *et al.* (2021) os principais produtos da reação de Maillard formados em derivados lácteos sem lactose são o hidroximetilfurfural, lactulosil lisina e produtos de glicação avançados, como por exemplo, carboximetil-lisina e carboxietil-lisina Estes produtos resultantes da reação de Maillard são responsáveis por diminuir a qualidade sensorial e nutricional dos derivados lácteos (SINGH *et al.*, 2021). Entretanto, Singh *et al.* (2021) relataram que algumas estratégias para amenizar o escurecimento da reação de Maillard em produtos sem lactose já foram empregadas, como por exemplo, a adição de diferentes aditivos como polifenóis de chá verde ou frutas; a substituição de açúcar pela galactose; a modificação de parâmetros de processo, como as temperaturas de entrada e de saída

utilizadas no equipamento *spray dryer*; e a adição de enzimas que reagem de forma direta ou indireta com os reagentes e as substâncias intermediárias da reação de Maillard (SINGH *et al.*, 2021).

#### 4.5.2 Leite e compostos lácteos em pó

Leite em pó é um derivado lácteo obtido por meio do processo de desidratação do leite de vaca, podendo ser integral, desnatado ou parcialmente desnatado. Para sua obtenção, o leite passa por processos tecnologicamente adequados, porém com a aplicação de temperaturas elevadas (MAPA, 2018b). Compostos lácteos em pó são os produtos obtidos da mistura de leite e outros produtos ou substâncias alimentícias de origem láctea ou não também obtidos por processos tecnologicamente adequados. Os compostos lácteos podem ser produzidos exclusivamente com ingredientes lácteos ou com adição de ingredientes não lácteos. No entanto, quando usado ingrediente não lácteos, 51% da sua composição deverá ser de ingredientes lácteos. No Brasil, são produzidos compostos lácteos onde o leite em pó é substituído por soro de leite, o que resultaria numa maior formação de produtos da reação de Maillard (MAPA, 2007).

Com relação ao leite em pó Baptista e Carvalho (2004) avaliaram o teor de furosina durante o seu armazenamento. No leite em pó fresco este teor foi de  $51,5 \pm 1,8$  mg de furosina por 100 g de proteína e com 16% de lisina bloqueada. Depois de um ano de armazenamento a 4°C o valor de furosina foi de  $56,3 \pm 1,9$  mg por 100 g de proteína e 18% de lisina bloqueada. Em temperatura ambiente depois de um e dois anos de armazenamento o valor de furosina foi igual a  $275,1 \pm 12,4$  e  $448,3 \pm 23,2$  mg por 100 g de proteína, respectivamente. Os resultados obtidos por Baptista e Carvalho (2004) indicaram que empregando o armazenamento do leite em pó em temperatura ambiente 88% e 143% da lisina foi bloqueada. A furosina é o principal indicador analisado, porque está relacionada com a indisponibilidade do aminoácido essencial lisina. Sua formação ocorre no início da reação com a interação da lisina com um açúcar redutor, perdendo o grupamento amino, podendo indicar a intensidade do tratamento aplicado e esse produto lácteo (MONARO, 2012).

Bastos *et al.* (2011) avaliaram os teores de hidroximetilfurfural, furfurina e carboximetilisina, em leite em pó integral. Estes autores avaliaram estes compostos porque os mesmos são produzidos nas diferentes etapas da reação de Maillard, podendo assim verificar se tratamento térmico aplicado seria responsável por perdas de nutrientes.

Com base nos dados obtidos, o leite apresentou teor de carboximetil lisina de 21 ng/mg proteína, valor considerado baixo, mas para furosina obtiveram 58,87mg/100g de proteína. Os valores baixos encontrados podem ser justificados pelo empenho das indústrias em realizar o processamento térmico, em condições que diminuam a reação de Maillard para diminuir perdas no valor nutritivo (BASTOS *et al.*, 2011).

Phosanam *et al.* (2020) avaliaram o efeito das condições de armazenamento; temperatura de 25°C e 11% umidade relativa; temperatura de 35°C e 44% de umidade relativa e temperatura de 45°C e 85% de umidade relativa; na cor de leite em pó desnatado e integral. Como resultado deste estudo, foi observado que durante o armazenamento ocorreu por 21 dias a 45°C e 85% de umidade, houve a maior formação de cor marrom, que foi relacionada pelos autores à reação de Maillard, em decorrência da associação de lisina com açúcares redutores, como a lactose. Também foi verificado que as amostras de leite armazenadas a 85% de umidade continham maior quantidade de lactose cristalizada resultando em maior escurecimento, induzido também pela reação de Maillard. Desta forma, Phosanam *et al.* (2020) concluíram que as temperaturas de armazenamento mais altas e o maior teor de umidade avaliados no seu estudo favoreceram o surgimento da reação de Maillard. Estes autores também concluíram que o teor de umidade foi responsável pelo estágio final da reação Maillard, enquanto o aumento da cristalização da lactose elevou a taxa de escurecimento devido a liberação de água durante o processo de cristalização, tornando livres as proteínas do leite e a lactose. As condições de temperatura de 25°C e 11% de umidade relativa apresentaram o menor escurecimento, seguida pela temperatura de 35°C e da umidade relativa igual a 44% (PHOSANAM *et al.*, 2020).

Li *et al.* (2021) avaliou as mudanças químicas em diferentes tipos de leite em pó integral, previamente tratados por diferentes processos térmicos. Uma amostra de leite ainda fluida foi submetida a um processo de pasteurização lenta (LTLT), enquanto outras foram submetidas a pasteurização rápida (HTST), a ultra alta temperatura (UAT), e a esterilização em garrafa. Todas estas amostras foram desidratadas em *spray dryer* e armazenadas em embalagens de polietileno, seladas e armazenadas por 18 meses em temperatura constante de 25°C. Foram avaliados os teores de furfurais totais, como por exemplo, 5-hidroximetil-2-furaldeído, 2-furaldeído, 5-metil-2-furfural e 2-furil metil cetona. Também foram avaliados os resíduos de lisina, produtos iniciais da reação de Maillard por furosina e produtos finais de glicação avançadas (AGEs), como por exemplo, N $\epsilon$ -(carboximetil) lisina, N $\epsilon$ -(carboxietil) lisina e pirralina. Neste estudo, foi

verificado que com o armazenamento, o teor de lisina diminuiu em todas as amostras de leite tratadas termicamente e desidratadas. Já o teor de furosina aumentou em todos os tipos de leites em pó durante o armazenamento. No início do armazenamento, foi verificado que os teores de furosina para os leites em pó obtidos dos leites pasteurizados pelo processo LTLT e HTST foram respectivamente, 1,8 e 3,3 vezes menores do que os observados nos demais processos. Depois de 18 meses de armazenamento o leite em pó submetido previamente ao tratamento de pasteurização LTLT apresentou o menor teor de furosina, enquanto o esterilizado em garrafas o maior teor. Também durante o armazenamento, os valores para N $\epsilon$ -(carboximetil) lisina apresentaram maior aumento nos leites em pós previamente esterilizados em garrafas, seguido pelos leites em pós submetidos anteriormente aos tratamentos térmicos UAT, LTLT e HTST. O teor de N $\epsilon$ -(carboxietil) lisina aumentou 68% e 90% para os leites em pós provenientes do leite UAT e do leite esterilizado em garrafas, respectivamente. Nas amostras de leite em pó avaliadas, o teor de pirralina foi menor, enquanto o teor de 5-hidroximetil-2-furaldeído foi maior. O teor de 2-furaldeído aumentou 3,6 vezes no leite em pó obtido do leite pasteurizado pelo processo LTLT, 2,8 vezes no leite em pó obtido do leite pasteurizado pelo processo HTST, 3,2 vezes para o leite em pó proveniente do leite UAT e 3,1 vezes para o leite em pó oriundo do leite esterilizado em garrafas. O teor de 5-metil-2-furfural aumentou no leite em pó produzido do leite UAT e esterilizado em garrafas. O teor de 2-furil metil cetona diminuiu com o período de armazenamento e com a intensidade do tratamento térmico empregado (LI *et al.*, 2021).

#### 4.5.3 Soro lácteo

O soro lácteo é considerado um produto secundário da indústria de leite e derivados e é definido como produto resultante do processo de coagulação do leite, utilizado na produção de queijos, caseína alimentar e produtos similares. O soro lácteo pode ser reaproveitado na produção de derivados lácteos, na forma líquida ou ainda desidratada empregando tecnologias adequadas, como por exemplo, passando por etapa de remoção de parte da água, por processo de concentração, seguida da desidratação. Durante estes processos para a obtenção do soro lácteo em pó tem-se preocupado com o surgimento de compostos da reação de Maillard (MAPA, 2020).

Gómez-Narváez, Pérez-Martínez e Contreras-Calderón (2019) analisaram a reação de Maillard em soro lácteo, através da redução dos teores de lisina, furosina,

hidroximetilfurfural, furfural e o surgimento da coloração marrom em tratamentos de aquecimento. Assim, neste estudo foram analisadas cinco amostras com diferentes teores de umidade e temperaturas que variaram de 60 a 90°C. A perda máxima de lisina, furosina e hidroximetilfurfural foi observada quando utilizado amostras com menor teor de umidade, depois de 40 minutos de tratamento com temperatura de 90°C. O furfural não foi detectado e, de acordo com estes autores, provavelmente foi devido a degradação da lactose em consequência da reação de Maillard favorecendo a formação de hidroximetilfurfural. Assim, também concluíram que o baixo teor de umidade faz com que a lactose permaneça em um estado amorfo por mais tempo, fazendo com que haja maior tempo de retardo de cristalização, favorecendo a reação de Maillard. Gómez-Narváez, Pérez-Martínez e Contreras-Calderón (2019) ainda avaliaram o índice de escurecimento do soro lácteo em pó através do aumento da concentração de melanoidinas, que são pigmentos de coloração marrom formados nos estágios finais da reação de Maillard, que foi maior quando empregada temperatura de 90°C durante 40 minutos (GÓMEZ-NARVÁEZ; PÉREZ-MARTÍNEZ; CONTRERAS-CALDERÓN, 2019).

Outro estudo em soro lácteo foi realizado por Ferreira *et al.* (2019) que avaliaram o aquecimento ôhmico em bebidas à base de soro de leite, e concluíram que quando usados maiores valores para a voltagem (~ 80V) e frequência (60 Hz) maior foi o surgimento de compostos secundários da reação de Maillard. Assim como estes estudos, que envolvem o aumento de temperatura em soro lácteo e o surgimento de compostos da reação de Maillard, outros foram realizados. Akhtar e Dickinson (2007) e Wen-Qiong, Yi-Hong e Ying (2013) investigaram a ação antioxidante e as propriedades físicas em sistema com proteínas do soro por meio da reação de Maillard. Chawla, Chander e Sharma (2009) e Rao *et al.* (2011) avaliaram as propriedades antioxidantes dos produtos da reação de Maillard de soro lácteo submetido à irradiação gama. Spotti *et al.* (2013), Doost *et al.* (2019), Zhang *et al.* (2020) e Wang *et al.* (2020) obtiveram bons resultados quanto as propriedades funcionais e atividades antioxidantes de conjugados provenientes da reação de Maillard de proteína de soro lácteo e dextrana, somente de proteínas do soro lácteo, proteínas isoladas de soro lácteo e galactose, e de proteína isolada de soro lácteo e inulina, respectivamente.

#### 4.5.4 Leite condensado

É estabelecido pela Instrução Normativa Nº 47, de 26 de outubro de 2018, no seu artigo 2º, que define o leite condensado como o produto obtido pela remoção parcial da água do leite, podendo ser concentrado ou reconstituído e adicionado de açúcar (MAPA, 2018a). Este produto é obtido na indústria de laticínios empregando o evaporador de múltiplo efeito utilizado na produção dos leites evaporado/concentrado e em pó.

Patel *et al.* (1996) analisou o teor de hidroximetilfurfural em leite condensado em diferentes temperaturas (7, 15, 30, 45 e 55°C) durante o armazenamento de 180 dias. Ao final deste estudo, foi verificado que aumento no teor de hidroximetilfurfural no leite condensado, sendo maior quando armazenado a 55°C por 10 dias. Entretanto, quando o leite condensado foi armazenado a 7, 15 e 35°C foi observado aumento somente a partir do dia 30. O maior aumento foi notado a 55°C, ou seja, na maior temperatura avaliada (PATEL *et al.*, 1996).

Leonhardt (2015) analisou a coloração de sete amostras de leites condensados antes e após o armazenamento, a fim de avaliar a eficiência dos inibidores da reação de Maillard. Neste estudo, a amostra produzida sem o uso de inibidor da reação de Maillard, apresentou aumento no escurecimento. Para minimizar o surgimento da reação de Maillard, em outras amostras foram adicionados metabissulfito de sódio (0,01 e 0,05%) e ácido ascórbico (0,01, 0,05 e 0,10%), respectivamente. Nas amostras adicionadas de metabissulfito de sódio observou-se clareamento das amostras, enquanto as amostras com ácido ascórbico apresentaram escurecimento durante a armazenagem. Neste estudo, realizado por Leonhardt (2015) concluiu-se que o ácido ascórbico não reduziu os efeitos da reação de Maillard, não sendo o mesmo considerado um inibidor desta reação em leites condensados. Em estudo realizado por Milkovska-Stamenova e Hoffmann (2016) com leites condensados comerciais foram observadas diferenças na coloração em produtos com e sem lactose (Figura 34), sendo creditada a cor mais escura do leite condensado à maior taxa de glicação em decorrência do maior teor de D-glicose e D-galactose (MILKOVSKA-STAMENOVA; HOFFMANN, 2016)

Figura 34: Representação da diferença de cores dos leites condensados (A) com lactose e (B) sem lactose.



Fonte: A autora (2021).

#### 4.5.5 Iogurte e queijo em pó

O iogurte e queijo em pó são considerados produtos inovadores produzidos com a finalidade de aumentar a validade destes derivados lácteos, além de facilitar o uso destes na elaboração de alimentos. A obtenção destes produtos pode ser através do método de *spray drying* ou da liofilização. Produtos do iogurte, como espumas de iogurte desidratadas em *spray dryer* ou liofilizador, foram avaliadas físico-quimicamente e sensorialmente por Carvalho, Perez-Palacios e Ruiz-Carrascal (2017). Estes autores observaram que a liofilização por não utilizar temperaturas elevadas, foi capaz de manter o sabor e a cor original da espuma de iogurte desidratada. Na espuma desidratada em *spray dryer* foi verificado escurecimento, sendo este creditado à reação de Maillard. A presença de lactose e proteínas do iogurte, junto a diminuição da atividade de água durante a secagem, potencializaram o surgimento da reação de maillard (CARVALHO; PEREZ-PALACIOS; RUIZ-CARRASCAL, 2017).

Erbay *et al.* (2015) e Koca, Erbay e Kaymak-Ertekin (2015) avaliaram a otimização do uso do processo de *spray drying* visando a desidratação de queijos. Nestes estudos, foi verificado que a temperatura de saída ( $>85^{\circ}\text{C}$ ) do *spray dryer* teve maior influência no escurecimento do queijo em pó. Em ambos os estudos, foi atribuído o escurecimento não enzimático, proveniente da reação de Maillard, à mudança da cor dos queijos (ERBAY *et al.*, 2015; KOCA; ERBAY; KAYMAK-ERTEKIN, 2015).

#### 4.5.6 Doce de leite e manteiga ghee

Em alguns derivados lácteos, como o doce de leite e a manteiga ghee, os primeiros estágios da reação de Maillard são desejáveis, visando a produção de compostos responsáveis pelo aroma e sabor do produto. Entretanto, se o aquecimento for prolongado pode acarretar na formação de compostos como o 5-hidroximetilfurfural, classificado na literatura como tóxico e capaz de acarretar danos à saúde do consumidor (FRANCISQUINI *et al.*, 2017).

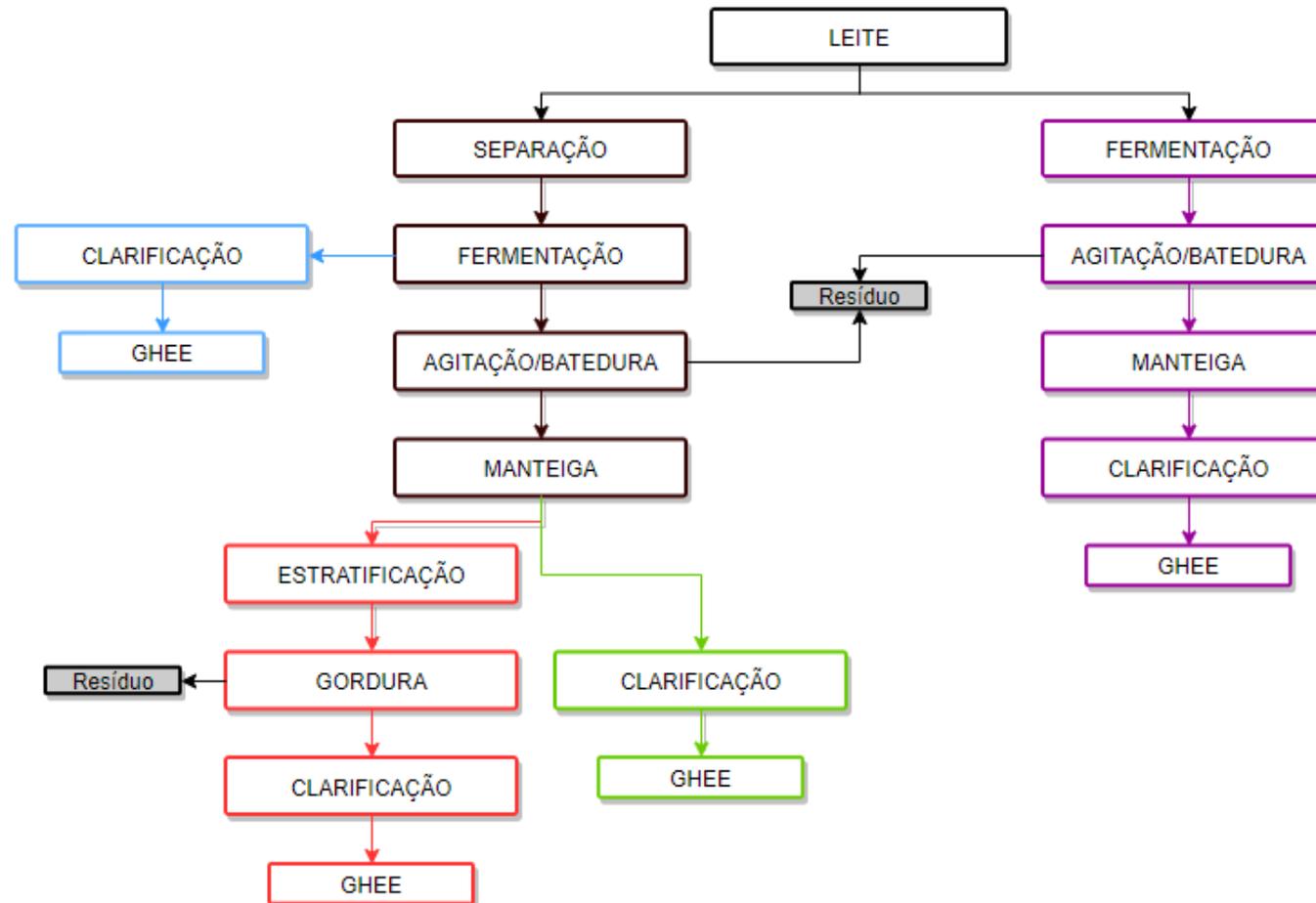
O doce de leite é o produto obtido por concentração pela ação do calor a pressão normal ou reduzida do leite fluido ou leite reconstituído, com ou sem adição de sólidos de origem láctea e/ou creme adicionado de sacarose, monossacarídeos e/ou outros dissacarídeos, com ou sem adição de outras substâncias alimentícias, como o bicarbonato de sódio para neutralizar a acidez e evitar a coagulação de proteínas. Os ingredientes obrigatórios são o leite e a sacarose, mudando a proporção de sacarose de acordo com o tipo cremoso ou em barra (MAPA, 1997). Alguns compostos formados durante a reação de Maillard são importantes para promover as características sensoriais do doce de leite, como por exemplo furanos, lactonas, 2-metil furano, 2-furano metanol, furfural e butirolactona (VARGAS *et al.*, 2021).

Pavlovic, Santos e Gloria (1994) realizaram um experimento analisando o doce de leite, proteínas, aminoácidos, hidroximetilfurfural e formação de pigmentos escuros, durante o tempo de processamento, entre 0 minutos e 150 minutos. Ao final deste estudo, foi verificada uma redução de aminoácidos, sendo ressaltada a diminuição do teor de lisina, seguida pela arginina e histidina. Neste estudo, a formação da cor mais escura no doce de leite foi associada ao maior tempo de processamento, a perda de lisina, arginina e histidina. Silva *et al.* (2020) empregou o campo elétricos pulsado no tratamento do leite para fabricação de doce de leite e verificou que o aumento da intensidade melhorou as propriedades sensoriais dos doces de leites. Francisquini *et al.* (2018) verificou se diferenciações na formulação do doce de leite poderiam influenciar na formação de hidroximetilfurfural. Estes autores verificaram que o uso de glicose e bicarbonato de sódio contribuíram para a intensificação da reação de Maillard (FRANCISQUINI *et al.*, 2018).

Assim como o doce de leite, a manteiga Ghee é um derivado lácteo no qual o surgimento da reação de Maillard é desejável até certo ponto. A composição da manteiga Ghee é formada por pelo menos 95% de lipídios. Entretanto, os seus métodos de

fabricação variam com a matéria-prima, o tratamento intermediário dado e o manuseio depois do seu processo de obtenção (Figura 35). O sabor da manteiga Ghee é creditado aos compostos da reação de Maillard, dos ácidos graxos livres, da oxidação de lipídios e da fermentação (SSERUNJOGIA; ABRAHAMSEN; NARVHUSA, 1998).

Figura 35: Etapas dos métodos de obtenção da manteiga Ghee.



Azul = método creme direto, Vermelho= método estratificação, Verde = método manteiga nata, Roxo = método manteiga de leite, Preto = etapas em comum entre os diferentes métodos de obtenção da manteiga Ghee.

Fonte: Adaptado Sserunjogia, Abrahamsen e Narvhusa (1998).

## 5 CONCLUSÃO

Através deste trabalho, foi possível realizar uma abordagem bibliográfica sobre o leite e as metodologias convencionais usualmente empregadas no seu beneficiamento. Ao final desta etapa, obteve-se uma revisão bibliográfica sobre a importância destas tecnologias convencionais no beneficiamento de leite e a descrição das suas etapas envolvidas. Também se obteve uma análise sobre as principais tecnologias emergentes já estudadas para o beneficiamento de leite. Sobre estas tecnologias emergentes foi abordado suas definições, descrições, bem como as etapas envolvidas nas suas aplicações. Pode-se concluir desta etapa, que todas as tecnologias convencionais aqui abordadas são atualmente aplicadas no beneficiamento do leite, sendo que, das tecnologias emergentes, somente os processos de separação por membranas e a alta pressão são atualmente aplicadas juntamente a outras tecnologias nas indústrias de laticínios no Brasil, entretanto em outros países essas tecnologias emergentes são empregadas sozinhas para o processamento. Ainda sobre estas tecnologias emergentes foi verificado que o tratamento ôhmico e o campo elétrico pulsado, apesar de terem sido utilizados no passado, atualmente não estão sendo empregadas pela indústria de laticínios. No entanto, todas as tecnologias emergentes discutidas nesta revisão apresentam potencial de uso futuro na indústria de leite e derivados. Sobre a reação de Maillard pode-se concluir que os tratamentos que geram aumento de temperatura no leite, tanto convencionais quanto os emergentes, estão relacionados com o surgimento deste tipo de reação, sendo ainda mais ressaltado o surgimento desta reação em leite sem lactose. Com relação a reação de Maillard, também foi verificado que ela pode ser reduzida, por exemplo, através do uso de agentes inibidores. Sendo que algumas tecnologias emergentes podem resultar no surgimento da reação de Maillard, considerada muitas vezes um problema, com exceção para o doce de leite e para a manteiga Ghee. É de fundamental importância que se conheçam e compreendam a importância do uso de tecnologias alternativas, como as tecnologias emergentes.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 244, de 17 de agosto de 2018**, dispõe sobre o os aditivos alimentares e os coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em leite em pó. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 de ago. 2018. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/res0044\\_19\\_09\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/res0044_19_09_2011.html). Acesso em: 08 jan. 2021.
- AIDER, M.; HAULLEX, D. Cryoconcentration technology in the bio-food industry: Principles and applications. **Journal Science and Technology**, v. 42, p. 679-685, 2009.
- AKHTAR, M.; DICKINSON, E. Whey protein–maltodextrin conjugates as emulsifying agents: An alternative to gum arabic, **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 4, p. 607-616, 2007.
- ALMEIDA, A. O de. **Controle rápido da eficiência e segurança do processo de pasteurização\* do leite: (HTST – High Temperature Short Time)**. 2006. 113 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária Preventiva) – Universidade Estadual Paulista. São Paulo. 2006.
- ALPAS, H.; BOZOGLU, F. The combined effect of high hydrostatic pressure, heat and bacteriocins on inactivation of foodborne pathogens in milk and orange juice. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 16, p. 387-392, 2000.
- BALASUBRAMANIAM, V. M.; FARKAS, D.; TUREK, E. J. Preserving Foods through High-Pressure Processing. **Food Technology**, v. 62, n. 11, p. 32-38, 2008.
- BAPTISTA, J. A. B.; CARVALHO, R. C. B. Indirect determination of Amadori compounds in milk-based products by HPLC/ELSD/UV as an index of protein deterioration. **Food Research International**, v. 37, n. 8, p. 739-747, 2004.
- BARBOSA, J. H. P. *et al.* A determinação dos produtos avançados de glicação (AGES) e de lipoxidação (ALES) em alimentos e em sistemas biológicos: avanços, desafios e perspectivas. **Química Nova**, São Paulo, v. 39, n. 5, p. 608-620, 2016.
- BASTOS, D. H. M. *et al.* Produtos da reação de Maillard em alimentos industrializados. **Nutrire: Revista Sociedade Brasileira Alimentação Nutrição**, São Paulo, SP, v. 36, n. 3, p. 63-78, dez. 2011.
- BASTOS, R. G.; BEZERRA, J. R. M. V. Introdução e breve histórico. *In*: BEZERRA, J. R. M. V. *et al.* **Introdução à tecnologia de leite e derivados**. Guarapuava: Unicentro, 2011. p. 15-24.
- BENDICHO, S.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; MARTÍN, O. Milk processing by high intensity pulsed electric fields. **Trends In Food Science & Technology**, v. 13, n. 6-7, p. 195-204, 2002.
- BERENHAUSER, A. C. *et al.* Effect of high-pressure carbon dioxide processing on the inactivation of aerobic mesophilic bacteria and Escherichia coli in human milk. **CYTA: Journal of Food (ONLINE)**, v. 15, p. 122-126, 2018.

BERMÚDEZ-AGUIRRE, D.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. An Update on High Hydrostatic Pressure, from the Laboratory to Industrial Applications. **Food Engineering Reviews**. v. 3, p. 44–61, 2011.

BEZERRA, J. R. M. V. Industrialização do leite. *In*: BEZERRA, J. R. M. V. *et al.* **Introdução à tecnologia de leite e derivados**. Guarapuava: Unicentro, 2011. p. 15-24.

BINOTI, M. L. *et al.* Campo elétrico pulsado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.5, p.934-941, 2012.

BRIÃO, V. B. *et al.* Cinética do escurecimento não-enzimático com soluções modelo de açúcares e aminoácidos em pH neutro e ácido. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 87-93, 2011.

CAO, J. *et al.* Short communication: Effects of nanofiltration and evaporation on the physiochemical properties of milk protein during processing of milk protein concentrate. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 1, p. 100-105, 2015.

CAPPATO, L. P. *et al.* Ohmic heating in dairy processing: Relevant aspects for safety and quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, P. 104-112, 2017.

CARABASA, M. G.; IBARZ, A. R. Kinetics of colour development in aqueous glucose systems at high temperatures. **Journal of Food Engineering**, [S.L], v. 44, n. 3, p. 181-189, 2000.

CARVALHO, M. J.; PEREZ-PALACIOS, T.; RUIZ-CARRASCAL, J. Physico-chemical and sensory characteristics of freeze-dried and air-dehydrated yogurt foam, **LWT**, v. 80, p. 328-334, 2017.

CASAL *et al.* Effect of supercritical carbon dioxide treatment on the Maillard reaction in model food systems. **Food Chemistry**, v. 97, n. 2, p. 272-276, 2006.

CHAVES, A. C. S. D. Leites. *In*: KOBLITZ, M. G. B. **Matérias-primas alimentícias: composição e controle de qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. p. 147-185.

CHAWLA, S.P.; CHANDER, R.; SHARMA, A. Antioxidant properties of Maillard reaction products obtained by gamma-irradiation of whey proteins. **Food Chemistry**, v. 116, n. 1, p. 122-128, 2009.

CHEMAT, F.; ZILL-E-HUMA, F. C.; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813-835, 2011.

COUTINHO, N. M. *et al.* Cold plasma processing of milk and dairy products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 74, p. 56-68, 2018.

COUTINHO, N. M. **Processamento de bebida láctea achocolatada pela tecnologia de plasma frio**. 2019. 124 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.

COUTO, E. P. **Efeito da ozonização na contagem de *Staphylococcus aureus* em leite**. 2014. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Animais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

CULLEN, P. J.; TIWARI, B. K.; VALDRAMIDIS, V. P. Status and Trends of Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods. *In*: CULLEN, P. J.; TIWARI, B. K.; VALDRAMIDIS, V. P. **Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods**. Academic press, p. 1–6, 2012.

DANTAS, A.; VERRUCK, S.; PRUDÊNCIO, E. S. **Ciência e Tecnologia de Leite e Produtos Lácteos Sem Lactose**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019, 74p.

DEETH, H.C.; LEWIS, M. J. **High Temperature Processing of Milk and Milk Products**. Wiley-Blackwell, [S.L], 2017, 354 p.

DOOST, A. S. *et al.* Maillard conjugation as an approach to improve whey proteins functionality: A review of conventional and novel preparation techniques. **Trends in Food Science & Technology**, v. 91, p. 1-11, 2019.

EHLBECK, J. *et al.* Low temperature atmospheric pressure plasma sources for microbial decontamination. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 44, p. 1-18, 2011.

ERBAY, Z. *et al.* Optimization of spray drying process in cheese powder production. **Food and Bioproducts Processing**, v. 93, p. 156-165, 2015.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019, p. 922.

FERREIRA, M. V. S. Ohmic heating for processing of whey-raspberry flavored beverage, **Food Chemistry**, v. 297, 2019, 125018.

FRANCISQUINI, J. d'A. *et al.* Physico-chemical and compositional analyses and 5-hydroxymethylfurfural concentration as indicators of thermal treatment intensity in experimental dulce de leche. **Journal of Dairy Research**, v. 85, n. 4, p. 476–481, 2018.

FRANCISQUINI, J. d'A. *et al.* Reação de maillard: Uma revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 72, n. 1, p. 48-57, 2017.

FRANCISQUINI, J. d'A. *et al.* Avaliação da intensidade da reação de Maillard, de atributos físico-químicos e análise de textura em doce de leite. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n.5, p. 589-596, 2016.

GALVÃO, D. F.; GOMES, E. R. dos S. Os processos de separação por membranas e sua utilização no tratamento de efluentes industriais da indústria de laticínios: revisão

bibliográfica. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 70, n. 6, p. 349-360, 2015.

GÓMEZ-NARVÁEZ, F.; PÉREZ-MARTÍNEZ, L.; CONTRERAS-CALDERÓN, J. Usefulness of some Maillard reaction indicators for monitoring the heat damage of whey powder under conditions applicable to spray drying. **International Dairy Journal**, v. 99, 2019.

GONÇALVES, O. M. A. R. **Estudo comparativo de processos de desidração por liofilização e secagem**. 2015. 120f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química). Instituto Politécnico de Tomar. Tomar. 2015.

GUROL, C. *et al.* Low Temperature Plasma for decontamination of E. coli in milk. **International Journal of Food Microbiology**, v. 157, p. 1-5, 2012.

HORNE, D. S. Características do leite. *In*: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos Fennema**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019. Cap. 14. p. 905-952.

ITAL - INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Ciência, Tecnologia e Inovação a Serviço da Sociedade e da Indústria Brasileira de Alimentos: ITAL 50 anos**. Campinas: ITAL, 2013, p. 251.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa trimestral do leite de 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/leite/brasil>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

IRITANI, E. *et al.* Improvement of concentration performance in shaking type of freeze concentration. **Separation and Purification Technology**, v. 120, p. 445-451, 2013.

KIM, WL.; KANG, D.-H. Effect of milk fat content on the performance of ohmic heating for inactivation of Escherichia coli O157:H7, Salmonella enterica Serovar Typhimurium and Listeria monocytogenes. **Journal of Applied Microbiology**, v. 119, p. 475 – 486, 2015.

KOCA, N.; ERBAY, Z.; KAYMAK-ERTEKIN, F. Effects of spray-drying conditions on the chemical, physical, and sensory properties of cheese powder. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 5, p. 2934-2943, 2015.

KOGA, E. C. **Desenvolvimento e avaliação de leite em pó com baixo teor de lactose obtido por liofilização**. 2015. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados), Universidade Norte do Paraná, Londrina, 2015.

LFP - LABORATÓRIO DE FÍSICA DE PLASMAS. **Plasma frio mata norovírus**. 2015. Disponível em: <<https://plasmaunb.weebly.com/blog/plasma-frio-mata-norovirus>>. Acesso em: 13 mar. 2021.

LEITE, Z. T. C. *et al.* Leite e alguns de seus derivados – da antiguidade à atualidade. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 876- 880, 2006.

LEONHARDT, M. **Estudo de agentes inibidores da reação de Maillard em leite condensado**. 2015. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Centro Universitário Univates. Lageado. 2015.

LI, Y. *et al.* Profiles of initial, intermediate, and advanced stages of harmful Maillard reaction products in whole-milk powders pre-treated with different heat loads during 18 months of storage. **Food Chemistry**, v. 351, 2021.  
doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129361

LIRA, H. de L. *et al.* Microfiltração do soro de leite de búfala utilizando membranas cerâmicas como alternativa ao processo de pasteurização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 33-37, 2009.

LIZ, G. R. de; VERRUCK, S.; PRUDÊNCIO, E. S. Princípio e Aplicações da Crioconcentração em Leite e Derivados *In: CRUZ, A. G. da et al. Inovações e Avanços em Ciência e Tecnologia de Leite e Derivados*. São Paulo: Setembro editora, 2019, p. 203-216.

LUIZ, M. T. B. **Bioquímica do leite**. 2019. Florianópolis. Notas de aula.

MARTINES, M. A. U.; DAVOLOS, M. R.; JAFELICCI JÚNIOR, M. O efeito do ultrassom em reações químicas. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, p. 21-256, 1999.

MARTINS, E. do C. *et al.* Liofilização como alternativa para conservação do leite humano. **Journal of the Health Sciences Institute**, v. 29, p. 119-122, 2012.

MERCALI, G. D. **Tratamento térmico de polpa de acerola via aquecimento ôhmico**. 2013. 272 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2013.

MILKOVSKA-STAMENOVA, S.; HOFFMANN, R. Hexose-derived glycation sites in processed bovine milk. **Journal of Proteomics**, v. 134, p. 102–111, 2016.

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA), Decreto N.º 9.013, de 29 de março de 2017. **Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA)**. Disponível em;  
[http://abrafrigo.com.br/wp-content/uploads/2017/01/Decreto-n%C2%BA-9.013\\_29\\_03\\_17\\_NOVO-REGULAMENTO-RIISPOA.pdf](http://abrafrigo.com.br/wp-content/uploads/2017/01/Decreto-n%C2%BA-9.013_29_03_17_NOVO-REGULAMENTO-RIISPOA.pdf). Acesso em: 25 nov. 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução Normativa N.º53 de 1 de outubro de 2018. **Regulamento técnico de identidade e qualidade do leite em pó**. Diário Oficial, Brasília, 16 out. 2018a. Seção 1, p.11. Disponível em: [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/45374372/do1-2018-10-16-instrucao-normativa-n-53-de-1-de-outubro-de-2018-45374042](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/45374372/do1-2018-10-16-instrucao-normativa-n-53-de-1-de-outubro-de-2018-45374042). Acesso 08 jan. 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução Normativa N.º76 de 26 de novembro de 2018. **Regulamento técnico de identidade e qualidade de leite cru e refrigerado**. Diário Oficial, Brasília, 30 nov. 2018b. Seção 1, p.9. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/>

/asset\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/52750137/do1-2018-11-30-instrucao-normativa-n-76-de-26-de-novembro-de-2018-52749894IN%2076#:~:text=%2D31%2C%20resolve%3A-,Art.,Normativa%20e%20do%20Anexo%20%20C3%9Anico. Acesso 08 jan. 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução Normativa N°28 de 12 de junho de 2007. **Regulamento Técnico para fixação de Identidade e Qualidade de Composto Lácteo**. Diário Oficial, Brasília, 14 jun. 2007. Seção 1, p.8. Disponível em: [http://www3.servicos.ms.gov.br/iagro\\_ged/pdf/1060\\_GED.pdf](http://www3.servicos.ms.gov.br/iagro_ged/pdf/1060_GED.pdf). Acesso 08 jan. 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução Normativa N°80 de 13 de agosto de 2020. **Regulamento Técnico para fixação de Identidade para o soro de leite e o soro de leite ácido**. Diário Oficial, Brasília, 17 ago. 2020. Seção 1, p.2. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-80-de-13-de-agosto-de-2020-272509723#:~:text=Art.,seus%20Anexos%20I%20e%20II>. Acesso em 08 jan. 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Portaria N°354 de 4 de setembro de 1997. **Regulamento técnico de identidade e qualidade de doce de leite**. Diário Oficial, Brasília, 8 set. 1997. Seção 1, p. 19685. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>. Acesso em 08 jan. 2021.

MONARO, E. de L. F. **Inibição da formação de produtos da reação de Maillard por extrato de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em sistemas modelo alimento**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012.

MORAIS, A. C. N. de; FERREIRA, E. H. da R.; ROSENTHAL, A. Aplicação de alta pressão isostática na produção de derivados lácteos: uma revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 69, n. 5, p. 357-374, 2014.

MORENO, F. L. *et al.* Block freeze-concentration of coffee extract: Effect of freezing and thawing stages on solute recovery and bioactive compounds. **Journal of Food Engineering**, v. 120, p. 158-166, 2014.

MORENO-MONTORO, M. *et al.* Ultrafiltration of skimmed goat milk increases its nutritional value by concentrating nonfat solids such as proteins, Ca, P, Mg, and Zn. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 11, p. 7628-7634, 2015.

MUNHÕS, M. C. **Efeito da ozonização no leite de vaca UHT inoculado com *Pseudomonas***. 2018. 48 f. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) - Universidade Brasil, São Paulo, 2018.

MUÑOS, I. B. *et al.* Efeito do processo de crioconcentração em blocos nas propriedades químicas do leite. *In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS*, 2016, Gramado – RS. **Anais do XXV CBCTA**, 2016.

NASCIMENTO, K. de O. do; REIS, I. P.; REBELLO, F. de F. P. Utilização do aquecimento ôhmico no processamento de alimentos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v 9, n. 5, p. 62 - 67, 2014.

NASCIMENTO, K. de O.; SILVA, C. P. da; BARBOSA, M. I. M. J. *et al.* Alta pressão hidrostática: tecnologia empregada no processamento de alimentos. **Acta Tecnológica**, Maranhão, v. 8, n. 1, p. 63-70, 2013.

NEVES, L. N. O.; SILVA, P. H. F. da; OLIVEIRA, M. A. L. de. Determinação espectrofotométrica de WPNI e HMF em leite UHT através da análise por componentes principais. **Química Nova**, v. 39, n. 6, p. 741-747, 2016

NEWTON, A. E. *et al.* The role of the Maillard reaction in the formation of flavour compounds in dairy products – not only a deleterious reaction but also a rich source of flavour compounds. **Food & Function**, v. 3, n. 12, p. 1231-1241, 2012.

NICOLINI, C. **Leite em pó**. Trabalho acadêmico. Bacharelado em Química de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

NOGUEIRA, T. da C. M. **Otimização da determinação e previsão da extensão das reações de Maillard em suplementos proteicos**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Técnicas de Caracterização e Análise Química) – Universidade do Minho. Braga. 2019.

ORDÓÑEZ, J. A. *et al.* **Tecnologia de Alimentos: Alimentos de Origem Animal**. Porto Alegre: Artmed, 2005a, 279p.

ORDÓÑEZ, J. A. *et al.* **Tecnologia de alimentos: Componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre : Artmed, 2005b. v. 1, 294 p.

PAGANINI, C. C.; VERRUCK, S.; PRUDÊNCIO, E. S. Tratamento Ôhmico e Campo Elétrico Pulsado no Processamento de Leite e Derivados. *In: CRUZ, A. G. da et al. Inovações e Avanços em Ciência e Tecnologia de Leite e Derivados*. São Paulo: Setembro editora, 2019, p. 179-188.

PATEL, A. A. *et al.* Shelf-life modeling of sweetened condensed milk based on kinetics of maillard browning. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 20, p. 431–451, 1996.

PAVLOVIC, S.; SANTOS, R. C.; GLORIA, M. B. A. Maillard Reaction during the Processing of ‘Doce de Leite’. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 66, p. 129–132, 1994.

PHOSANAM, A. *et al.* Effect of storage conditions on physicochemical and microstructural properties of skim and whole milk powders, **Powder Technology**, v. 372, p. 394-403, 2020.

PINHO, C. R. G. **Processamento de leite desnatado através da tecnologia de homogeneização a ultra alta temperatura (HUAP)**. 2006. 193 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) -Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2006.

PIYASENA, P.; MOHAREB, E.; MCKELLAR, R. C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. **International Journal of Food Microbiology**, [S.L.] v. 87, p. 207 – 216, 2003.

PRUDÊNCIO, E. S. **Leite pasteurizado**. 2020a. Florianópolis. 31 p. Notas de aula.

PRUDÊNCIO, E. S. **Leite UAT (UHT)**. 2020b. Florianópolis. 14 p. Notas de aula.

PRUDÊNCIO, E. S. **Produtos lácteos concentrados e desidratados**. 2020c. Florianópolis. 34 p. Notas de aula.

RAMOS, A. M. *et al.* Aplicação de campos elétricos pulsados de alta intensidade na conservação de alimentos. **Revista Ceres**, v. 53, n. 308, p. 425-438, 2006.

RANA, A.; PARMAR, M. Y.; ANITA RANA, C. Ultrasonic processing and its use in food industry: A review. **International Journal of Chemical Studies**, v. 5, p. 1961–1968, 2017.

RAO, M. S. *et al.* Antioxidant potential of Maillard reaction products formed by irradiation of chitosan–glucose solution, **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 714-719, 2011.

RAYMUNDO, M. dos S. Tecnologia de leites concentrados. *In*: BEZERRA, J. R. M. V. *et al.* **Introdução à tecnologia de leite e derivados**. Guarapuava: Unicentro, 2011a. p. 177-192.

RAYMUNDO, M. dos S. Tecnologia do leite em pó. *In*: BEZERRA, J. R. M. V. *et al.* **Introdução à tecnologia de leite e derivados**. Guarapuava: Unicentro, 2011b. p. 75-100.

ROSSI, G. A. M. *et al.* Fluxograma de produção de leite e derivados. *In*: VIDAL, A. M. C.; NETTO, A. S. **Obtenção e processamento do leite e derivados**. Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, 2018, 220 p.

SAKR, M; LIU, S. A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 262-269, 2014.

SÁNCHEZ, J. *et al.* Review. Freeze Concentration in the Fruit Juices Industry. **Food Science and Technology International**, v.4, p. 303- 315, 2009.

SÁNCHEZ, J. *et al.* Review: freeze concentration technology applied to dairy products. **Food Science and Technology International**, v.17, p. 5- 13, 2011.

SANTOS, A. J. P. **Avaliação da utilização de ozônio como método de beneficiamento de leite**. 2013. 43 f. Monografia (Conclusão do Curso de Medicina Veterinária) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SCARIOT, M. C.; VERRUCK, S.; PRUDÊNCIO, E. S. Emprego do Processo de Separação por Membranas em Leites e Derivados *In: CRUZ, A. G. da et al. Inovações e Avanços em Ciência e Tecnologia de Leite e Derivados*. São Paulo: Setembro editora, 2019, p. 189-202.

SHIMAMURA, T.; UKEDA, H.; Maillard Reaction in Milk - Effect of Heat Treatment. *In: HURLEY, W. L. Milk Protein*, Intechopen: Londres, 2012, p. 147-158.

SILVA, H. O.; VIDAL, A. M. C.; NETTO, A. S. Tecnologias aplicadas a leite e derivados. *In: VIDAL, A. M. C.; NETTO, A. S. Obtenção e processamento do leite e derivados*. Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, 2018, 220 p.

SILVA, P. H. F. da. **Leite UHT**: fatores determinantes para sedimentação e gelificação. 2003. 150 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

SILVA, R. *et al.* Dulce de leche submitted to ohmic heating treatment: Consumer sensory profile using preferred attribute elicitation (PAE) and temporal check-all-that-apply (TCATA), **Food Research International**, v.134, 2020, 109217.

SINGH, P. *et al.* Physico-chemical aspects of lactose hydrolysed milk system along with detection and mitigation of maillard reaction products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 107, p. 57-67, 2021.

SPIILIMBERGO, S.; BERTUCCO, A. Non-thermal bacteria inactivation with dense CO<sub>2</sub>. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 84, n.6, p. 627-638, 2003.

SPOTTI, M. J. *et al.* Gel mechanical properties of milk whey protein–dextran conjugates obtained by Maillard reaction, **Food Hydrocolloids**, v. 31, n. 1, p. 26-32, 2013.

SSERUNJOGIA, M. L.; ABRAHAMSEN, R. K.; NARVHUSA, J. A Review Paper: Current Knowledge of Ghee and Related Products. **International Dairy Journal**, v.8, p. 677-688, 1998.

STANCL, J.; ZITNY, R. Milk fouling at direct ohmic heating. **Journal of Food Engineering**, v.99, p.437- 444, 2010.

TERRONI, H. C. *et al.* Liofilização. **Revista Científica Unilago**, São José do Rio Preto, p. 271-284, 2013.

TORRES, N. M. P. O. *et al.* A Química dos Produtos Finais de Glicação Avançada. **Revista Virtual de Química**, v. 10, p. 375-392, 2018.

VAN BOEKEL, M.A.J.S. Effect of heating on Maillard reactions in milk. **Food Chemistry**, v. 62, n. 4, p. 403-414, 1998.

VAN BOEKEL, M.A.J.S. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. **Biotechnology Advances**, v. 24, n. 2, p. 230-233, 2006.

- VARGAS, M. O. *et al.* Dulce de leche: product types, production processes, quality aspects and innovations minor EDITS. **International Journal of Dairy Technology**, 2021. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12762>
- VERRUCK, S.; PRUDÊNCIO, E. S. **Ultrassom na indústria de alimentos: aplicações no processamento e conservação**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2018, 56p.
- VISSOTTO, F. Z. *et al.* Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v 26, p. 666-671, 2006.
- VOURCH, M., *et al.* Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination**, v. 219, p. 190–202, 2008.
- WANG, C. *et al.* The relationship between inactivation and morphological damage of Salmonella enterica treated by high hydrostatic pressure. **Food Research International**, v. 54, n 2, p. 1482-1487, 2013.
- WANG, W. *et al.* Physicochemical properties and bioactivity of whey protein isolate-inulin conjugates obtained by Maillard reaction. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 150, p. 326-335, 2020.
- WOJSLAW, E. B. **Tecnologia de Alimentos**. Brasília. 201-,143 p.
- YAMAGUCHI, S. K. F. Liofilização de produtos lácteos: Uma revisão. **Revista Espacios**, v. 38, n. 22, 2017.
- YÁÑEZ, D. A. C. *et al.* Antioxidant activity developed at the different stages of Maillard reaction with milk proteins. **LWT - Food Science and Technology**, v. 89, p. 344-349, 2018.
- ZHANG, X. *et al.* Covalent conjugation of whey protein isolate hydrolysates and galactose through Maillard reaction to improve the functional properties and antioxidant activity, **International Dairy Journal**, v. 102, 2020.
- ZHANG, J. *et al.* Sterilization using high-pressure carbon dioxide. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 38, p.354–372, 2006.