

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**LUIS OTÁVIO MOREIRA SILVA**

**APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS PARA A PRODUÇÃO DE SORVETES COM  
BAIXO DE LACTOSE A PARTIR DE PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR  
MEMBRANAS (PSM)**

**PATOS DE MINAS**

**2015**

**LUIS OTÁVIO MOREIRA SILVA**

**APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS PARA A PRODUÇÃO DE SORVETES COM  
BAIXO TEOR DE LACTOSE A PARTIR DE PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR  
MEMBRANAS (PSM)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Faculdade de Engenharia Química da  
Universidade Federal de Uberlândia como  
requisito para a obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Daniele do Espírito Santo  
Loredo da Silva

**PATOS DE MINAS**

**2015**

**LUIS OTÁVIO MOREIRA SILVA**

**Apresentação de Propostas para a Produção de Sorvetes com Baixo Teor de Lactose a partir de Processos de Separação por Membranas (PSM)**

Trabalho de conclusão de curso aprovado para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (MG) pela banca formada por:

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Daniele do Espírito Santo Loreda da Silva  
(Orientadora)

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Marta Fernanda Zotarelli, UFU/MG

---

Prof. Dr. Ricardo Corrêa de Santana, UFU/MG

Patos de Minas, 18 de dezembro de 2015.

Aos meus pais, Marta e  
Gilson, e às minhas irmãs,  
Ana Carolina e Stefânia.  
**Dedico.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeira a Deus por me permitir concretizar este sonho e por me dar força e saúde para seguir em frente.

Agradeço aos meus pais por todo apoio e incentivo durante a realização da minha graduação; sendo sempre presentes e amorosos, me auxiliando com seus conselhos e ensinamentos;

Às minhas irmãs, Ana Carolina e Stefânia;

À minha orientadora Daniele do Espírito Santo Loreda da Silva por todo conhecimento transmitido, paciência, confiança depositados em mim durante o processo de confecção deste trabalho e competência em sua orientação;

À minha orientadora de Iniciação Científica Vivian Consuelo Reolon Schmidt por todo conhecimento transmitido;

À minha colega e amiga Carolina Corso por todos os puxões de orelha, pelos conhecimentos compartilhados, pela companhia e pelo carinho;

À minha amiga Nayara Moreira por todo carinho e apoio durante todo o período de graduação, mesmo estando distante;

À banca examinadora pela paciência e participação;

À Universidade Federal de Uberlândia e a Faculdade de Engenharia Química;

E a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos o meu muito obrigado!

## RESUMO

Progredir e inovar estão, constantemente, nos planos de toda indústria. Visando atender um mercado cada vez mais exigente e atender consumidores especiais, essas inovações podem ser realizadas nas embalagens dos produtos, na produção de sabores diferentes, na modificação de processos e/ou da composição do produto final. A indústria produtora de sorvetes está incluída nesta classe que necessita e passa por diversos tipos de inovações com o passar dos anos. O número de pessoas portadoras de intolerância à lactose vem aumentando dia-a-dia, sendo necessária a inserção de produtos no mercado capazes de atender as suas necessidades e gostos. O sorvete é um produto bastante consumido mundialmente e sua versão livre de lactose ainda é uma realidade bastante limitada; a tecnologia de processamento é bastante restrita além de conferir ao produto final um preço pouco acessível às grandes massas consumidoras. A busca por processos eficientes e baratos é um desafio atualmente para a indústria produtora de sorvetes. A utilização de processos físicos para a remoção da lactose tem se mostrado uma alternativa bastante atraente, uma vez que apresenta bons resultados em relação à concentração no produto final, além de conferir um menor preço. Dos processos existentes a Ultrafiltração aliada a outros Processos de Separação por Membranas tem sido utilizado para a remoção do teor de lactose do leite integral. No presente trabalho foi feito um estudo sobre as principais tecnologias empregadas para a remoção da lactose e produção de sorvetes, além de propor novas variações, com o intuito de melhorar a eficiência do processo. Os processos propostos se mostraram viáveis e apresentaram valores de remoção de lactose significativos, garantindo a possibilidade de consumo do produto final por pessoas portadoras de intolerância à lactose.

Palavras-Chave: Sorvetes. Lactose. Membranas. Inovações.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Reação de formação da Lactose.....                                                                                    | 6  |
| Figura 2 - Reação de Hidrólise da Lactose pelo Método Químico .....                                                              | 9  |
| Figura 3 - Reação de Hidrólise da Lactose pelo Método Enzimático .....                                                           | 10 |
| Figura 4 - Tipos de Processos de Separação por Membranas .....                                                                   | 10 |
| Figura 5 - Fluxograma do Processo Descrito pela Patente de nº WO2009043356 A1 .....                                              | 16 |
| Figura 6 - Fluxograma do Processo Descrito pela Patente de nº US8449938 B2 .....                                                 | 18 |
| Figura 7 - Fluxograma das Etapas do Processo de Fabricação de Sorvetes .....                                                     | 24 |
| Figura 8 - Fluxograma da Etapa de Tratamento do Leite Adicionada a Produção de Sorvete.                                          | 31 |
| Figura 9 - Fluxograma do Balanço Material do Processo de Ultrafiltração em conjunto ao<br>Processo de Hidrólise Enzimática. .... | 34 |
| Figura 10 - Representação esquemática do Processo de Diafiltração. (1) tanque de<br>alimentação; (2) membrana. ....              | 35 |
| Figura 11 - Fluxograma do Balanço Material do Processo de Ultrafiltração + Diafiltração....                                      | 36 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Composição química do leite em várias raças bovinas. ....                            | 4  |
| Tabela 2 - Tipos de Pasteurização. ....                                                         | 26 |
| Tabela 3 - Custos de Capital e Custos Operacionais do Processo de Ultrafiltração .....          | 38 |
| Tabela 4 - Balanço de Massa do Processo de Ultrafiltração associada a Hidrólise Enzimática..... | 44 |
| Tabela 5 - Balanço de Massa do Processo de Ultrafiltração associada a Diafiltração .....        | 45 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| LISTA DE FIGURAS .....                                                                                       | ii  |
| LISTA DE TABELAS.....                                                                                        | iii |
| 1 INTRODUÇÃO .....                                                                                           | 1   |
| 2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....                                                                                | 2   |
| 2.1 Objetivo Geral.....                                                                                      | 2   |
| 2.2 Objetivo Específico.....                                                                                 | 2   |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                                                                | 3   |
| 3.1 Leite .....                                                                                              | 3   |
| 3.1.1 Lactose .....                                                                                          | 5   |
| 3.2 Técnicas para a Redução e/ou Remoção de Lactose .....                                                    | 9   |
| 3.2.1 Processo Químico.....                                                                                  | 9   |
| 3.2.2 Processo Enzimático .....                                                                              | 9   |
| 3.2.3 Processos Físicos.....                                                                                 | 10  |
| 3.3 Ultrafiltração (UF) .....                                                                                | 13  |
| 3.4 Ultrafiltração do Leite.....                                                                             | 15  |
| 3.5 Produção de Sorvete .....                                                                                | 21  |
| 3.5.1 Composição do Sorvete.....                                                                             | 23  |
| 3.5.2 Processamento de Sorvetes .....                                                                        | 23  |
| 4 DESENVOLVIMENTO.....                                                                                       | 29  |
| 4.1 Produção de Sorvete com Baixo Teor de Lactose .....                                                      | 29  |
| 5 POSSIBILIDADES DE INTRODUÇÃO DE ETAPAS PARA A REMOÇÃO DE LACTOSE .....                                     | 31  |
| 6 DETALHAMENTO DO TRATAMENTO DO LEITE.....                                                                   | 32  |
| 6.1 PROPOSTA 1: Ultrafiltração associada a Hidrólise Enzimática .....                                        | 32  |
| 6.1.1 Balanço Material .....                                                                                 | 32  |
| 6.2 PROPOSTA 2: Ultrafiltração associada a Diafiltração .....                                                | 35  |
| 6.2.1 Balanço Material .....                                                                                 | 36  |
| 7 CONCLUSÃO.....                                                                                             | 37  |
| SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....                                                                        | 38  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                             | 39  |
| APENDICE A – Tabela do Balanço de Massa da Proposta 1: Ultrafiltração associada a Hidrólise Enzimática ..... | 44  |
| APENDICE B – Tabela do Balanço de Massa da Proposta 2: Ultrafiltração associada a Diafiltração .....         | 45  |

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado de gelados comestíveis ou sorvetes vêm mostrando ao longo dos anos um crescimento cada vez maior, um reflexo das inovações e investimentos realizados neste setor. Investimentos esses, que visam atender uma gama maior de consumidores, sendo eles portadores de restrições alimentares, como diabetes e intolerância a lactose ou também intolerância a proteína do leite, utilizado como principal matéria-prima para a produção.

A tecnologia de processamento de sorvete tem como principal objetivo oferecer ao consumidor um produto de boa qualidade e com características sensoriais que atendam às suas exigências além de garantir que os padrões estabelecidos por legislação sejam obedecidos. Por se tratar de uma mistura rica em diversas classes de compostos, como lactose, gorduras, proteínas, sais e entre outros, existem diversas tecnologias e processos para a produção de sorvetes destinados a públicos especiais.

Com ênfase em pessoas portadoras de deficiências ligadas a lactose é possível encontrar, atualmente, uma vasta gama de tecnologias destinadas à remoção ou hidrólise deste carboidrato. Dentre elas é possível enfatizar a hidrólise química, a hidrólise enzimática e a remoção através da aplicação de processos físicos. Por acarretar diversas modificações indesejáveis ao produto a hidrólise química dificilmente é aplicada no setor industrial, principalmente no setor de alimentos, uma vez que utiliza ácidos fortes para a reação, podendo, desta maneira, acarretar problemas à saúde do consumidor.

Usualmente, para a produção de sorvetes livres de lactose é adotada a tecnologia de hidrólise enzimática, onde, juntamente a todos os ingredientes do produto é adicionada uma porção da enzima lactase, sendo esta a responsável pela hidrólise do carboidrato presente. Os processos físicos ainda são pouco adotados para a produção de tal produto. Um exemplo de processo físico utilizado são os Processos de Separação por Membranas.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre os possíveis Processos de Separação por Membranas utilizados para a remoção ou separação da lactose presentes no sorvete e propor novos métodos, com o intuito de melhorar e aumentar a utilização dos mesmos dentro do setor industrial.

## **2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

### **2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo principal a realização de uma proposta para a produção de sorvetes livres de lactose a partir de uma revisão bibliográfica, onde técnicas para a remoção da lactose presente no leite são abordadas e sua posterior inserção no processo produtivo de sorvetes.

### **2.2 Objetivo Específico**

- Estudar as características do leite e evidenciar a importância do seu consumo, bem como dos seus derivados;
- Evidenciar a deficiência provocada pela falta da enzima lactase no organismo;
- Estudar os processos convencionais de remoção da lactose;
- Estudar as características do sorvete;
- Descrever o processo de produção de sorvete;
- Sugerir novos processos para a remoção de lactose presente no leite para a produção de sorvetes livres de lactose.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Leite**

Segundo a Instrução Normativa nº 51, de 20 de setembro de 2002, “entende-se por leite, sem outra especificação, o produto oriundo da ordenha completa e ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas. O leite de outros animais deve denominar-se segundo a espécie de que proceda” (MAPA, 2002).

Por definição leite é um produto integral, não alterado, não adulterado e livre de colostro, obtido a partir da ordenha de fêmeas domésticas em condições ótimas de saúde e alimentação. Biologicamente é definido como produto da secreção das glândulas mamárias de fêmeas. Sob o ponto de vista físico-químico, o leite é definido como uma mistura homogênea de diversas substâncias como lactose, glicérides, proteínas, sais, vitaminas, entre outros (ORDÓÑEZ, 2005).

A alimentação e o metabolismo do animal exercem grande influência sobre a composição final do leite, tendo em vista que a qualidade deste produto, sintetizado nas glândulas mamárias, é realizada por precursores dependentes destes dois fatores. Para a produção de leite, um grande esforço metabólico é realizado. Por exemplo, para uma vaca leiteira produzir o equivalente a 1 litro de leite é necessário que ocorra a passagem de aproximadamente 450 litros de sangue pelas glândulas mamárias (GONZÁLEZ, 2001).

O leite integral de fêmeas bovinas é composto por diversas substâncias, como apresentado anteriormente. A lactose é encontrada no leite em uma concentração que varia entre 45 e 50 g/litro, sendo esta a substância mais abundante presente. A gordura é considerada a fração presente passível de maior variação, sua concentração pode variar entre 3,2 a 6%. A fração proteica do leite são basicamente as proteínas do soro e as caseínas. A quantidade de sais presentes é bastante constante sendo possível afirmar que cerca de 1% do leite sejam sais. As enzimas são encontradas em baixas concentrações, porém as suas atividades podem acarretar mudanças significativas nas características do leite (ORDÓÑEZ, 2005).

Os componentes constituintes do leite podem ser classificados como principais ou secundários. Esta classificação leva em consideração a contribuição por unidade de massa de cada um. Os constituintes classificados como principais são a água, as proteínas, a gordura e a lactose. Minerais e vitaminas são classificados como constituintes secundários do leite (DÜRR et al., 2001).

Na Tabela 1 são apresentadas as variações na composição do leite bovino de acordo com algumas raças de animais.

Tabela 1 - Composição química do leite em várias raças bovinas.

| <b>Raça</b> | <b>Gordura (%)</b> | <b>Proteína (%)</b> | <b>Relação Proteína/Gordura</b> | <b>Lactose (%)</b> | <b>Cinzas (%)</b> | <b>Sólidos Totais (%)</b> |
|-------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|
| Ayrshire    | 4,1                | 3,6                 | 0,9                             | 4,7                | 0,7               | 13,1                      |
| Pardo Suíço | 4,0                | 3,6                 | 0,9                             | 5,0                | 0,7               | 13,3                      |
| Guernsey    | 5,0                | 3,8                 | 0,8                             | 4,9                | 0,7               | 14,4                      |
| Holstein    | 3,5                | 3,1                 | 0,9                             | 4,9                | 0,7               | 12,2                      |
| Jersey      | 5,5                | 3,9                 | 0,8                             | 5,1                | 0,8               | 14,7                      |
| Zebu        | 4,9                | 3,9                 | 0,8                             | 5,1                | 0,8               | 14,7                      |
| Holandês    | 3,6                | 3,2                 | 0,9                             | 4,6                | 0,7               | 13,0                      |

Fonte: SCALEZ; LIMA, 2010.

Além de sua qualidade, a composição do leite é um fator decisivo para o consumo humano e também para a sua adequação ao processamento. Segundo a literatura, é estimado que o leite possua cerca de cem mil constituintes diferentes, sendo cada um deles responsável por uma função específica no organismo humano. Para recém-nascidos estes constituintes atuam tanto na nutrição quando na proteção imunológica. Para os adultos, compreendidos em qualquer faixa etária, o leite é considerado importante na dieta devido ao seu alto valor nutricional (SILVA, 1997).

O leite pode ser classificado em três formas distintas, sendo elas leite do tipo A, tipo B ou tipo C, segundo a instrução normativa 51. O leite pasteurizado tipo A é classificado levando em consideração o teor de gordura presente, em integral, padronizado, desnatado ou semidesnatado. Deve ser produzido, beneficiado e envasado em um estabelecimento denominado de Granja Leiteira (MAPA, 2002).

O leite do tipo B é ainda subdividido em leite cru refrigerado e leite pasteurizado. O leite cru refrigerado do tipo B é caracterizado por ser um produto integral quanto o seu teor de gordura, mantido refrigerado por um período de no máximo 48 horas em propriedade rural. A temperatura de refrigeração deve ser igual ou inferior a 4 °C e deve ser atingida em no máximo 3 horas após a ordenha. Em seu recebimento, no local para processamento, deve apresentar

temperatura igual ou inferior a 7 °C. O leite pasteurizado do tipo B é classificado quanto a teor de gordura em integral, padronizado, semidesnatado ou desnatado. Sendo submetido um tratamento térmico a uma temperatura variando entre uma faixa de 72 a 75 °C por um período de 15 a 20 segundos, utilizando-se obrigatoriamente para este tratamento um equipamento de pasteurização a placas, seguindo imediatamente para um equipamento a placas para que ocorra o processo de resfriamento a uma temperatura igual a 4 °C ou inferior. Este processo deve ser realizado em um prazo pequeno, minimizando possíveis contaminações (MAPA, 2002).

De forma análoga ao leite do tipo B, o leite do tipo C é subdividido em leite cru tipo C e leite pasteurizado tipo C. O leite cru tipo C é um produto que não sofre qualquer tipo de tratamento térmico na fazenda leiteira de origem, é integral quanto ao teor de gordura. Seu transporte é realizado em vasilhame adequado com capacidade de até 50 litros e deve ser entregue no estabelecimento industrial até às 10 horas do dia de sua obtenção, a temperatura de 4°C ou inferior deve ser mantida no produto. Esta qualidade de produto pode ser obtida, ainda, de uma segunda ordenha. O processo de refrigeração sofrido na propriedade é o mesmo, porém a sua temperatura máxima de armazenamento deve ser de 10°C. Entende-se como leite pasteurizado tipo C o produto integral em relação ao seu teor de gordura, padronizado, desnatado ou semidesnatado. Passa por tratamento térmico de pasteurização em uma faixa de temperatura variando entre 72 e 75 °C durante um tempo de 15 a 20 segundos (MAPA, 2002).

Basicamente, é possível dizer que a principal diferença entre ambos os tipos de leite encontrados - tipo A, B e C - é a qualidade microbiologia que cada produto apresenta. Atualmente, segundo a legislação, é permitida a comercialização de leites segundo a sua quantidade de gordura; leite integral (conteúdo original de gordura), leite padronizado (contém 3% de gordura), leite semi-desnatado (contém 1,5% de gordura) e leite desnatado (contém no máximo 0,5% de gordura) (PORTO, 2007).

### **3.1.1 Lactose**

A lactose é o componente em maior abundância presente no leite de fêmeas mamíferas, sendo este utilizado, normalmente, para a amamentação de filhotes recém-nascidos, por ser considerada uma importante fonte de energia (JELEN; TOSSAVAINEN, 2003).

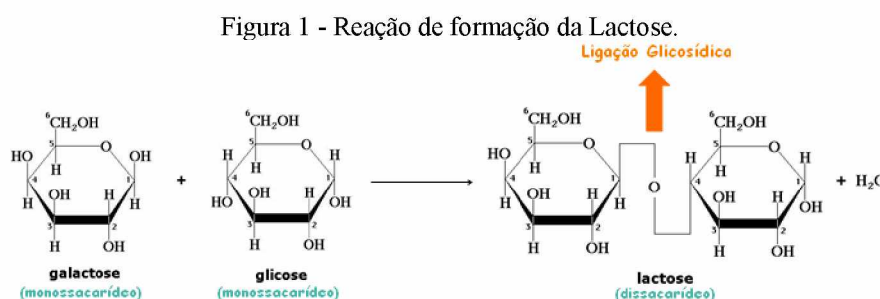
Caracterizada como o principal fator osmótico no leite, a lactose é responsável por aproximadamente 50% desta variável. Apresenta, ainda, papel fundamental na síntese do leite, uma vez que ela atrai uma certa quantidade de água para as células epiteliais mamárias. Por apresentar essa relação de união com a quantidade de água drenada para o leite, a lactose é um

componente que apresenta pouca variação em sua concentração, esta afirmativa pode ser feita levando em consideração leites produzidos por diversas raças leiteiras (SCALEZ; LIMA, 2010).

A lactose é um dissacarídeo composto pela junção de dois monossacarídeos, sendo eles glicose e galactose. Para que ocorra a sua digestão pelo organismo humano é necessário que ocorra a hidrólise ou quebra em seus monossacarídeos de origem. Esta quebra ou hidrólise é realizada pela ação da enzima B-galactosidase ou comumente nomeada, enzima lactase (MCCANCE; WIDDOWSON, 2002).

Em sistemas lácteos é possível encontrar a lactose em duas formas distintas, cristalina e não cristalina. Essas variações afetam diretamente no armazenamento de alimentos contendo este composto, principalmente alimentos contendo baixo teor de água em sua composição.

Na Figura 1 é apresentada a reação de formação da lactose a partir dos monossacarídeos glicose e galactose e sua estrutura final.



Fonte: SOUZA; NEVEZ, 20--.

### 3.1.1.1 Intolerância a Lactose

Dentro da dieta de toda população os carboidratos são os responsáveis pela maior fonte de energia do organismo, sendo estes responsáveis por cerca de 50% do valor total de calorias consumidas em uma dieta normal. Por se tratarem de elementos importantes no metabolismo qualquer forma de intolerância pode acarretar problemas nutricionais e consequente mudança no desenvolvimento físico (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998).

De acordo com a dieta de cada indivíduo pode haver modificações nas quantidades e qualidades de carboidratos consumidos. A lactose é um destes carboidratos bastante consumidos diariamente através, principalmente, da ingestão de leite bovino e seus derivados (QUILICI; MISSIO, 2004).

A intolerância a lactose é caracterizada pela incapacidade primária ou secundária do indivíduo de hidrolisar a lactose em seus monossacarídeos de origem, glicose e galactose,

devido à ausência da enzima lactase ( $\beta$ -galactosidase) na mucosa intestinal. Uma vez não absorvida e através da ação de bactérias presentes no organismo, a lactose é fermentada anaerobicamente, produzindo assim gases e ácidos orgânicos responsáveis pelo desconforto abdominal e diarreia, sendo estes os principais sintomas desta síndrome clínica (SUAREZ; SAVAIANO; LEVITT, 1995).

A intolerância a lactose é classificada atualmente em quatro tipos distintos. O primeiro tipo é a hipolactasia adulta ou deficiência primária a lactose tem como principal característica a falta parcial ou total da lactase no organismo, decorrente de uma modificação do gene responsável pela codificação desta enzima, sendo encontrada no indivíduo desde a infância.

O segundo tipo desta síndrome clínica é a deficiência secundária a lactose, causada por uma alteração na borda em escova do intestino delgado. Esta variação pode se manifestar, também, após a realização de cirurgias gastrointestinais como gastrostomias, colostomias, anastomoses de delgado, ressecções intestinais e ileostomias (GASPARIN; TELES; ARAUJO, 2010).

O terceiro tipo de classificação da intolerância a lactose é designada como intolerância congênita a lactose e é uma variação rara de tal deficiência. É encontrada em recém-nascidos que apresentam os sintomas característicos logo após a primeira ou segunda ingestão do leite materno e é causada pela falta, parcial ou total, da enzima lactase no organismo (GASPARIN; TELES; ARAUJO, 2010).

A quarta e última variação da intolerância a lactose é classificada como intolerância ontogenética a lactose, que é caracterizada como um mau absorvedor de lactose. Esta alteração na atividade da enzima lactase pode ser encontrada em crianças em uma faixa de dois aos cinco anos, ou ainda em adultos, sendo esta variação, em alguns casos, encoberta devido ao pouco consumo de leite ou produtos derivados (GASPARIN; TELES; ARAUJO, 2010).

De acordo com estudos realizados no Brasil, cerca de 70% dos indivíduos testados apresentaram algum tipo de incomodo ao consumir a sobrecarga de lactose utilizada, sendo estes incômodos característicos de pessoas portadoras de intolerância a lactose como dores abdominais, gases e diarreia. Podendo ser encontrada em indivíduos distribuídos em todo o mundo, a intolerância a lactose tem prevalência em alguns grupos etnológicos específicos, sendo estes os orientais, os asiáticos, os negros e os sul-americanos, encontrados dentro destes grupos cerca de 80% de indivíduos portadores desta síndrome clínica (QUILICI; MISSIO, 2004).

Os sintomas da intolerância a lactose serão variados de acordo com cada indivíduo, levando em consideração que cada organismo apresenta um nível de deficiência da enzima lactase, o tipo de alimento consumido e a quantidade de lactose ingerida (HEYMAN, 2006).

Através de alguns procedimentos existentes atualmente é possível identificar a deficiência da enzima lactase no organismo. Entre os procedimentos estão o teste de hidrogênio expirado, o teste da curva glicêmica, testes moleculares e realização da dosagem glicêmica e medidas da quantidade de galactose na urina.

O tratamento pode ser realizado interrompendo o consumo de leite bovino e seus derivados, porém, a exclusão total e definitiva da dieta não é indicada por se tratar de um produto rico em cálcio, fósforo e vitaminas, acarretando desta maneira prejuízo nutricional ao organismo do indivíduo (MARTINS, 2014). Um dos maiores problemas causados pela total remoção do leite da dieta é a deficiência do cálcio. Por ser o componente responsável pela formação óssea e dentária, o cálcio é um dos minerais de grande importância para o organismo, além de sua ação na manutenção de diversas funções, como a contração muscular, a coagulação sanguínea, a secreção de hormônios e a transmissão de impulsos nervosos. Desta forma é imprescindível que os níveis sanguíneos de cálcio estejam em graus específicos e adequados (BARBOSA; ANREAZZI, 2010). Além dos problemas citados devido a ausência do cálcio no organismo, é passível de citação a osteoporose e hipertensão arterial, ambas as doenças ligadas a ausência deste componente.

Variando de indivíduo para indivíduo e de acordo com o período de vida, as necessidades de consumo de cálcio são relatadas por estudos. Crianças de 0 a 12 meses apresentam a necessidade de 210 a 270 mg/dia de cálcio, crianças que se encontram na faixa etária entre 1 a 8 anos necessitam de um consumo diário entre 500 e 800 mg/dia de cálcio. Em uma faixa etária de 9 anos a idades superiores a 50 anos recomenda-se o consumo de 1000 a 1300 mg/dia de cálcio (BALDO, 2008).

Desta maneira, para o tratamento da intolerância a lactose através de dietas com zero quantidade de leite é recomendado consumir-se produtos enriquecidos em cálcio, para se evitar problemas futuros. Fontes alternativas deste composto são encontradas e podem auxiliar no suprimento do cálcio no organismo, sendo elas sardinha enlatada, nabo, aveia, espinafre e bebida de soja fortificada com cálcio são alguns exemplos. Leites com baixo teor de lactose e seus derivados são algumas outras opções encontradas atualmente no mercado (HEYMAN, 2006). Entretanto, o consumo de cálcio através de suplementos e alimentos fortificados pode acarretar níveis de toxicidade ao organismo (MILLER et al., 2001).

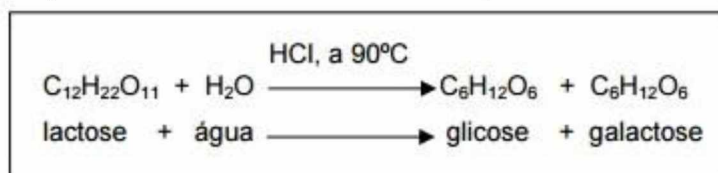
### 3.2 Técnicas para a Redução e/ou Remoção de Lactose

A produção do leite com baixo teor de lactose pode ser realizada utilizando processos físicos, como por exemplo, o processo de separação por membranas, e utilizando – se também processos de hidrólise da lactose, sendo esses realizados de forma enzimática ou química (FAEDO, et al., 2013, p. 46). Esses processos serão discutidos nos itens a seguir.

#### 3.2.1 Processo Químico

O método químico para a hidrólise da lactose é raramente utilizado no setor de alimentos, uma vez que, é passível de erros devido à grande dependência de altas temperaturas e utilização de ácidos fortes durante o processo. Altas concentrações de ácido clorídrico ou ácido sulfúrico são utilizadas neste método, em uma faixa de temperatura variando entre 90 °C a 150 °C. Alguns problemas associados ao seu uso são a desnaturação de proteínas do leite, além de atribuir características indesejadas como coloração e odores, impedindo o seu uso para a produção de alimentos derivados (LONGO, 2006). A Figura 2 apresenta a reação de hidrólise da lactose utilizando-se o método químico.

Figura 2 - Reação de Hidrólise da Lactose pelo Método Químico



Fonte: GOURSAUD, 1985.

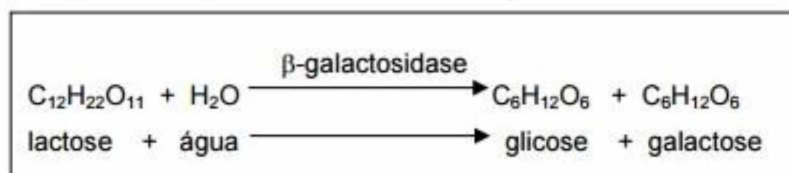
#### 3.2.2 Processo Enzimático

A hidrólise enzimática da lactose ocorre utilizando-se a enzima lactase ( $\beta$ -galactosidase) como catalisadora do processo. Tem como vantagem a utilização de baixas temperaturas de processo, uma faixa variando de 4 °C a 40 °C, e desta forma, a não modificação indesejada do produto final. Devido às baixas temperaturas utilizadas o consumo energético do processo é bastante viável e desejado dentro da indústria de alimentos, de modo geral (FAEDO et al., 2013). Este método de hidrólise sofre interferência de alguns fatores como pH, temperatura, concentração de enzima adotada e o tempo de reação (EVANGELISTA, 1998).

Através deste processo algumas modificações químicas e físicas são geradas como o aumento da solubilidade, do poder adoçante e da digestibilidade dos açúcares, além de realizar modificações na viscosidade, no corpo, na textura e no paladar dos produtos obtidos (VINHAL, 2001).

A reação de hidrólise da lactose utilizando o método enzimático é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Reação de Hidrólise da Lactose pelo Método Enzimático

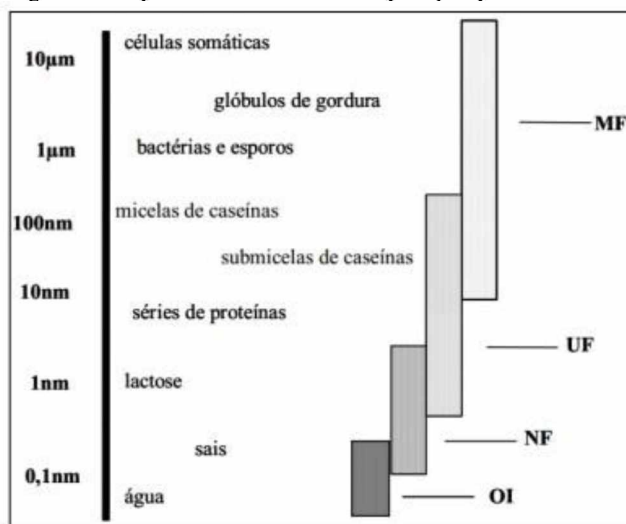


Fonte: GOURSAUD, 1985.

### 3.2.3 Processos Físicos

Os processos físicos adotados para a remoção da lactose do leite são, basicamente, os processos de separação por membranas, sendo os processos de ultrafiltração e nanofiltração os mais utilizados pela indústria de alimentos. Este processo é caracterizado pela não utilização de componentes químicos, sendo realizada a remoção através da rejeição daquelas substâncias que não possuem o tamanho adequado para permear a membrana (FAEDO, et al., 2013, p. 47). Na Figura 4 são apresentados os diferentes tipos de processos de separação de membranas existentes, a sua faixa de atuação e os tipos de componentes separados por cada um.

Figura 4 - Tipos de Processos de Separação por Membranas



Fonte: BRANS et al., 2004.

Um exemplo prático sobre a aplicação de processos de separação por membranas foi empregado por BARRETO et al. (2013), onde para a obtenção de suco do fruto camu-camu houve o uso do processo de microfiltração. Através deste processo foi possível realizar o tratamento do suco obtido sem que houvesse a perda de compostos termossensíveis, uma vez que há a utilização de temperaturas brandas e pressão.

### ***3.2.3.1 Aplicação de Processos de Separação por Membranas (PSM) na Indústria Láctea***

Dentro da economia brasileira o setor lácteo exerce um importante papel, estando entre os quatro mais importantes no setor alimentício. A participação deste setor dentro do faturamento total da indústria de alimentos gira em torno de 10%, o que corresponde a aproximadamente 31 bilhões de reais, segundo dados de 2011 (CARVALHO, 2010). Por ser uma indústria caracteristicamente intensiva em tecnologia mostra-se uma atividade importante para a economia mundial. Sua dinâmica é fundamentada em novas junções e combinações entre o conhecimento já existente e pela realização de relações tecnológicas industriais, onde há troca de tecnologias entre uma indústria e outra (GIANEZINI et al., 2012).

Dentro deste setor três pontos merecem maior visibilidade e atenção, sendo eles intolerância/alergia a proteína do leite ou a lactose, o soro de leite e a água residual provinda desta atividade.

Segundo Faedo et al. (2013), um dos principais fatores para a diminuição do consumo de leite e seus derivados é a intolerância a proteína do leite/lactose. Por possuir alto valor nutricional, é de grande interesse por parte das indústrias do ramo alimentício resgatar estes nutrientes e incorporar em produtos lácteos e não lácteos.

Em relação ao soro de leite, é sabido que o descarte deste co-produto, de forma direta ou indireta, em rios, sem qualquer tipo de tratamento prévio, pode ser responsável pela geração de um grande problema ambiental (BOSCHI, 2006). Outra aplicação bastante empregada é a utilização de processos de separação por membranas para o tratamento de resíduos industriais, realizando nestes efluentes a separação, remoção ou concentração de compostos de interesse. Atualmente o setor de alimentos consome uma grande quantidade de água, tanto para a produção de alimentos, quando para a limpeza de equipamentos e de toda a área industrial, desta maneira, apresenta outro fator com potencial para poluição ambiental (BRIÃO; TAVARES, 2012).

As principais aplicações dos processos de separação por membrana na indústria de alimentos estão na produção de água potável a partir de águas residuais, no processamento de sucos e laticínios, e no tratamento de efluentes (PEPPIN; ELLIOT, 2001).

Em processos de separação por membranas como a ultrafiltração, osmose inversa, microfiltração e nanofiltração, alguns parâmetros são analisados, uma vez que influem de forma direta no fluxo de permeado e também nas etapas de retenção e rejeição de partículas pela membrana. Estes parâmetros são a força iônica, o coeficiente de transferência de massa (K), velocidade tangencial, concentração da alimentação, pressão transmembrana, pH e temperatura (PEREIRA, 2009).

### 3.3 Ultrafiltração (UF)

Desde a sua primeira aplicação, na década de 70, até os dias atuais o processo de separação por membranas de ultrafiltração (UF) tem sido bastante utilizado na indústria alimentícia com enfoque no setor lácteo. Para o processamento do leite integral e/ou desnatado foi estimado um uso total de uma área de membrana equivalente a 40.000 m<sup>2</sup>, o que corresponde a aproximadamente 35% do total. Em sua aplicação para o processamento de soro de leite, é utilizada uma área de membrana total equivalente a 110.000 m<sup>2</sup>, sendo este valor correspondente a 65% da área total de membrana (RAVAZI; MOUSAVI; MORTAZAVI, 2003).

O processo de ultrafiltração (UF) é comumente utilizado quando o objetivo desejado é a separação de macromoléculas. As membranas utilizadas neste processo possuem poros na faixa que vai de 1 a 100 nm. Desta maneira, soluções contendo solutos com massa molar variando entre 10<sup>3</sup> a 10<sup>6</sup> Daltons podem passar por este tipo de processo (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

Para obtenção de altos fluxos de permeado é necessário à aplicação de uma força motriz maior, tendo em vista o tamanho reduzido dos poros deste tipo de membrana, em comparação as membranas utilizadas para o processo de microfiltração (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

Utilizando-se as equações que descrevem a dependência do fluxo permeado e a rejeição nas variáveis do processo é possível determinar com precisão a área da membrana. Alguns estudos têm sido realizados com o intuito de prever o comportamento da ultrafiltração de substâncias coloidais como, por exemplo, o leite. Estes estudos baseiam-se em modelos matemáticos já existentes, como o modelo de transferência de massa (teoria do filme), o modelo de polarização gel, modelo pressão osmótica, modelo de camada de adsorção-limite, modelo de difusão Browniano, modelo de difusão induzidas por cisalhamento, modelo elevador inercial e modelo de transporte de superfície (RAVAZI; MOUSAVI; MORTAZAVI, 2003).

A principal limitação encontrada neste processo é o chamado *fouling* da membrana, sendo definido como a deposição de materiais sobre a superfície da membrana, acarretando desta forma a diminuição do fluxo e consequente diminuição na separação de componentes. Para solucionar esta limitação é necessário realizar lavagens da superfície da membrana, podendo ser esta lavagem de forma química, física ou biológica (KAZEMIMOGHADAM; MOHAMMADI, 2006).

A limpeza transversal pode ser adotada para a realização da limpeza da superfície da membrana de UF, sendo mais eficiente quando adicionada bolhas de ar durante o processo, sendo este processo nomeado de *AirFlush*®. Outra maneira de realizar a remoção do material retido é utilizar o método de retrolavagem, onde será adotado um fluxo oposto ao fluxo da filtração. Juntamente com o método de limpeza utilizando ultrassom em uma frequência de 45kHz, estes métodos não são utilizados, por não apresentarem aplicação em escala industrial (LAUTENSCHLAGER, 2006).

A utilização de componentes químicos para a dissolução ou modificação química dos compostos retidos na superfície é outra maneira adotada para a realização da limpeza da membrana. Neste processo de limpeza é importante o conhecimento sobre a concentração dos químicos utilizados e o tempo de limpeza, sendo ambos os parâmetros importantes para a eficiência do processo. Para a escolha dos químicos utilizados é necessário conhecer minuciosamente a natureza da membrana, prevenindo assim uma possível reação entre a membrana e o composto de limpeza, acarretando sua degradação e possível inutilização. São utilizados agentes ácidos, alcalinos, surfactantes, oxidantes, sequestrantes, enzimas ou combinações entre os agentes (LAUTENSCHLAGER, 2006).

### 3.4 Ultrafiltração do Leite

O leite ultrafiltrado é obtido através de operações onde ocorre a remoção, concentração ou separação de substâncias presentes.

Em 1965, a indústria açucareira introduziu em seu processo as primeiras técnicas de separação molecular por membrana, realizando assim a purificação do açúcar produzido. A partir deste momento a indústria de alimentos deparou-se com uma nova tecnologia que serviria então para a produção de diversos produtos. Para a indústria de alimentos a ultrafiltração (UF) e a osmose inversa são os processos mais empregados e eficientes para a aplicação em processos, sendo a primeira de maior utilização (RIBEIRO, 1996).

O primeiro registro de utilização da ultrafiltração para a concentração do leite é datado de 1969, quando por meio da Patente Francesa nº 2.052.121, MAUBOIS, MOCQUOT e VASSAL visaram tal tecnologia para a produção de queijo. Posteriormente foi denominada de MMV (RIBEIRO, 1996).

Segundo dados da literatura, com a utilização da ultrafiltração do leite é possível se obter um coeficiente de remoção de até 100% da lactose presente, tanto para leite integral quanto para leite desnatado (RIBEIRO, 1989).

Durante o processo de ultrafiltração do leite utilizando-se membranas como meio filtrante, glóbulos de gordura e a fração proteica são retidos na superfície e compõe assim o concentrado, sendo esta a parte de interesse, enquanto os sais minerais, nitrogênio não proteico, a molécula de lactose e diversos outros componentes com tamanhos menores permeiam através da membrana, são eliminados junto a água, sendo então chamados de permeado (RIBEIRO, 1996).

Em casos onde a remoção da lactose não se dá de forma completa um processo conjunto a ultrafiltração pode ser adotado, sendo este a diafiltração, que consiste na adição de água para a diluição do concentrado e posterior recirculação no sistema, sendo concentrado novamente (RIBEIRO, 1989).

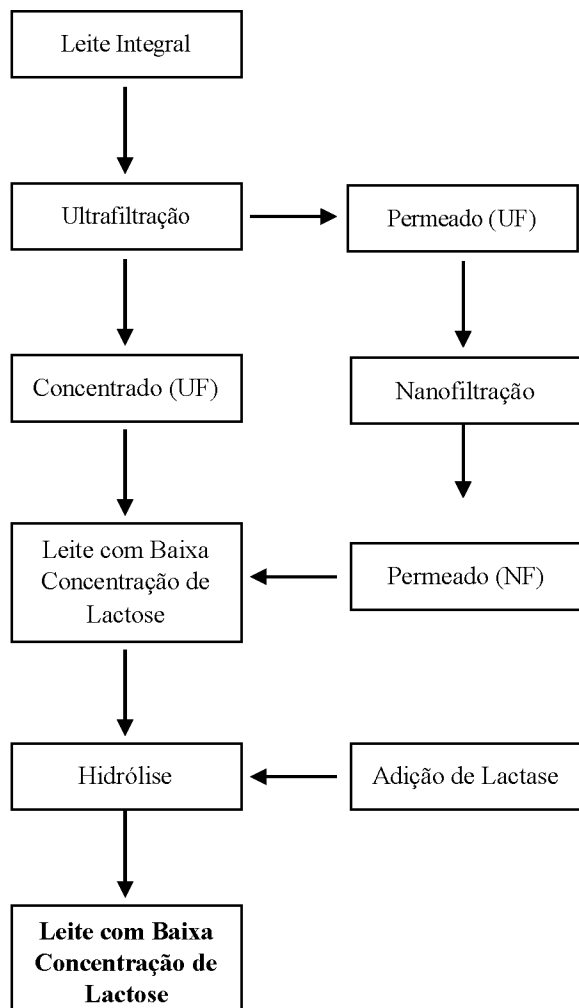
Diversas patentes existentes, atualmente, demonstram e aplicam o processo de separação por membranas, com ênfase na ultrafiltração, para a obtenção de leite com baixo teor de lactose. Alguns exemplos dessas patentes são mostrados a seguir.

Segundo a patente de nº WO2009043356 A1 de 9 de abril de 2009, para a obtenção do leite ultrafiltrado é utilizado um processo que consiste, basicamente, em realizar primeiramente a ultrafiltração do leite original ou leite integral, obtendo-se o primeiro concentrado e o primeiro permeado. A segunda etapa realiza a nanofiltração para a obtenção de um segundo concentrado

e permeado, provindos do primeiro concentrado. O primeiro concentrado é misturado ao segundo permeado, formando desta maneira, uma única mistura. Logo após a etapa de mistura ocorre a adição da enzima lactase, sendo esta responsável pela hidrólise da lactose remanescente (HOLST; LAURITZEN, 2009).

O processo descrito é mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma do Processo Descrito pela Patente de nº WO2009043356 A1



Fonte: HOLST; LAURITZEN, 2009

Através deste processo é possível se obter um produto final com teores de lactose que variam em uma faixa entre 0,01% até 0,50% em peso seco, sendo esta variação explicada pela qualidade inicial do leite antes de ultrafiltrado (HOLST; LAURITZEN, 2009).

Para a produção de leite com baixo teor de lactose, outro processo patentado é apresentado, onde há a combinação de diversos processos de separação por membranas, sendo eles realizados em sequência durante a remoção do dissacarídeo. A ultrafiltração, a nanofiltração e osmose inversa são os Processos de Separação por Membranas utilizados, além

de realizar a recombinação dos componentes separados para a sua aplicação em produtos lácteos sem lactose (TOSSAVAINEN; SAHLSTEIN, 2013).

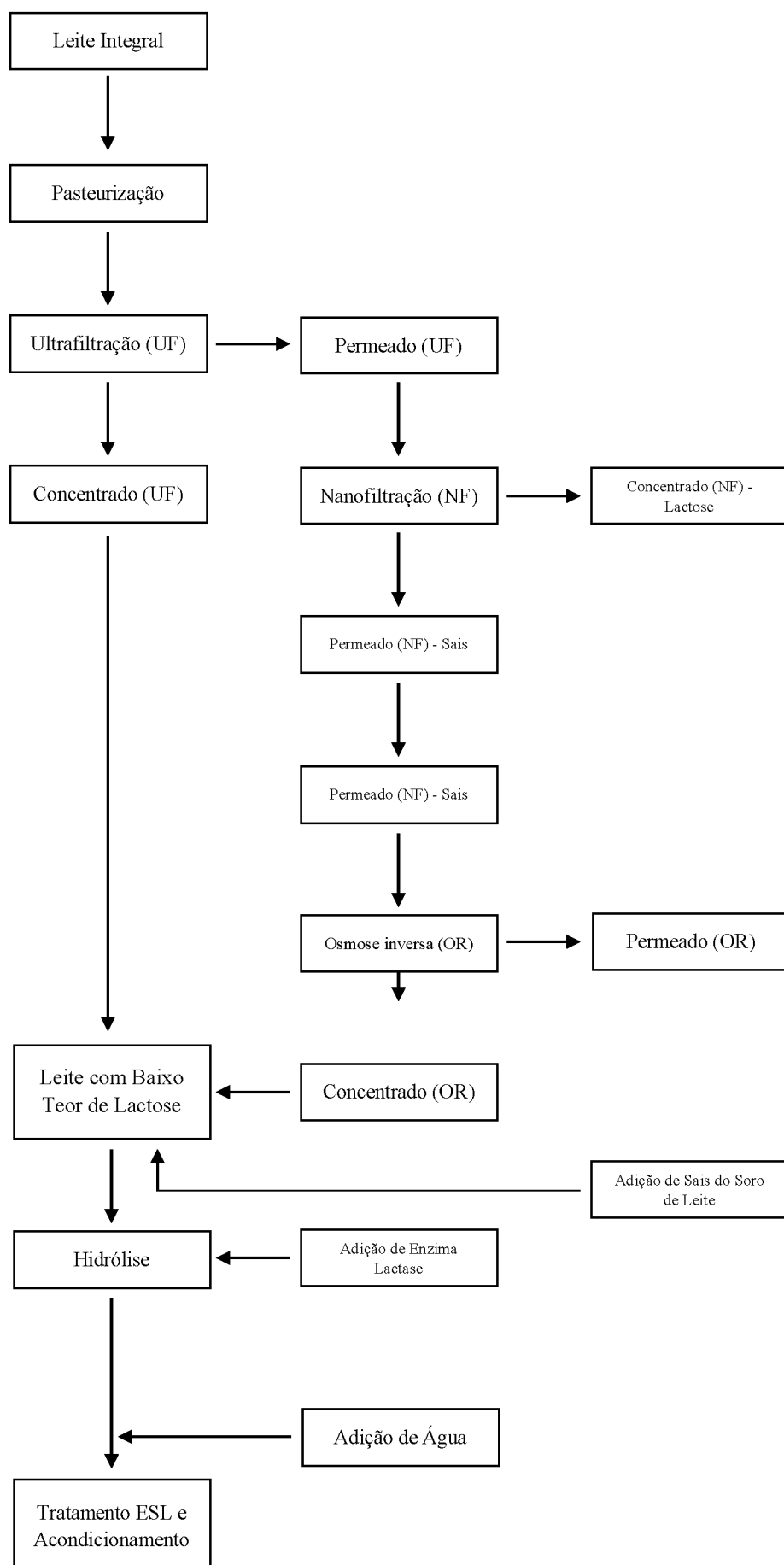
Este processo, descrito na patente de nº US8449938 B2 de 28 de maio de 2013, é realizado da seguinte maneira. O leite padronizado é submetido primeiramente a um processo de pasteurização sendo então levado para o processo de ultrafiltração, sendo separado em concentrado e permeado. O permeado proveniente da ultrafiltração é então submetido a um processo de nanofiltração, realizando assim a remoção da lactose presente nesta solução. O concentrado gerado pelo processo de nanofiltração é descartado, seguindo no processo apenas a solução permeada. Sendo esta submetida a um novo processo de filtração, a osmose inversa, removendo qualquer resquício de lactose que tenha permanecido na solução. O concentrado proveniente do processo de osmose inversa é então misturado ao concentrado obtido a partir da ultrafiltração, sendo este nomeado de leite com baixo teor de lactose. É ainda adicionado nesta mistura sais provenientes do soro de leite.

Além de todos os processos utilizando membranas de filtração para a remoção completa da lactose do leite ocorre ainda uma etapa de hidrólise, onde é adicionado a mistura uma certa quantidade de enzima lactase. Desta maneira, é garantido que toda a lactose presente na matéria-prima inicial é removida (TOSSAVAINEN; SAHLSTEIN, 2013).

Ocorre a adição de água e finalmente um tratamento térmico de *Shelf Life Extendido* (ESL), sendo a temperatura de tratamento inferior à temperatura de tratamento UHT, porém superior a pasteurização. Por fim, é realizado o acondicionamento do produto final (TOSSAVAINEN; SAHLSTEIN, 2013).

No Figura 6, a seguir, é apresentado o processo descrito pela patente de nº US8449938 B2.

Figura 6 - Fluxograma do Processo Descrito pela Patente de nº US8449938 B2



A patente de nº US7611742 B2 de 3 de novembro de 2009 descreve outro processo pelo qual é possível se obter leite com baixo teor de lactose utilizando o processo de ultrafiltração por membranas. Um gradiente de pressão conduz o leite através da membrana e então ocorre a separação dos componentes do leite como uma função do tamanho e estrutura do mesmo. Em processos que utilizam a ultrafiltração, o tamanho dos poros da membrana são relativamente maiores permitindo, desta forma, que os componentes maiores passem juntamente com a água. Este processo de separação e fracionamento combinado utiliza um corte de peso molecular (MWC) igual a 10.000, uma pressão de cerca de 276 kPa, e as temperaturas variando entre 50 °C a cerca de 60 °C, com membranas produzidas a partir de polisulfona (PSU). Neste processo o leite desnatado, lactose e minerais passam através da membrana de separação numa razão de 50%. Por exemplo, o produto retido, ou seja, a parte do leite que não permeia no meio filtrante, pode incluir 100% da gordura, 100% de proteína do leite, 50% de lactose e 50% de minerais livres, estando incluso o cálcio (CALVERT, 2009).

Por meio do processo de ultrafiltração é possível se obter um produto com concentrações de lactose inferiores as convencionais. A concentração de lactose presente no leite ultrafiltrado é 3,9 g/litro, inferior à concentração encontrada no leite integral (FAEDO, et al., 2013).

A Tabela 2, a seguir, apresenta uma comparação entre a composição do leite integral, do leite com teor de lactose reduzido e do leite livre de lactose.

Tabela 2 – Comparação entre composição do leite integral, leite com teor reduzido de lactose e leite livre de lactose.

|              | Leite Integral | Leite com Teor Reduzido de Lactose | Leite Livre de Lactose |
|--------------|----------------|------------------------------------|------------------------|
| Energia      | 45 kcal        | 45 kcal                            | 38 kcal                |
| Proteínas    | 3,3g           | 3,3g                               | 3,3g                   |
| Carboidratos | 3g             | 5g                                 | 3g                     |
| Lactose      | 3g             | 0-1g                               | <0,01g                 |
| Gordura      | 1,5g           | 1,5g                               | 1,5g                   |
| Cálcio       | 120mg          | 120mg                              | 120mg                  |

Fonte: Tetrapak, 20--.

Com a utilização da ultrafiltração como método para a remoção da lactose do leite algumas vantagens são conseguidas, como economia de energia do processo, uma vez que não

há a necessidade de mudança de fase da matéria-prima para que ocorra a remoção. Trata-se de um processo bastante seletivo, facilitando a remoção do composto de interesse e realiza a remoção apenas do que se é desejado. Por ser realizada a temperatura ambiente evita que compostos termolábeis presentes no leite se degradem e confirmem ao produto final sabor e aroma indesejados. Em contramão aos outros processos existentes para a separação e remoção de lactose, os processos de separação por membranas, em destaque a ultrafiltração, apresentam uma grande vantagem por serem basicamente simples em termos de escalonamento e ponto de vista operacional (HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006).

### 3.5 Produção de Sorvete

Os sorvetes, ou como podem também ser chamados gelados comestíveis, tem em sua composição, basicamente, ingredientes lácteos ou não, açúcares, corantes, estabilizantes, emulsificantes e em algumas variações polpa de fruta. São obtidos através do congelamento sob agitação dos ingredientes. Durante o processo de agitação há a incorporação de ar na mistura, produzindo assim uma substância com características sensoriais agradáveis ao consumo (SOUZA et al., 2010, p. 1).

Relata-se na literatura a criação do sorvete aos chineses, datado em aproximadamente três mil anos atrás, que utilizavam frutas, mel e neve para tal processo. Com o passar do tempo este produto sofreu diversas modificações até chegar ao sabor e consistência conhecidos nos dias atuais (MIGUEL, 2010).

No Brasil, o sorvete teve seu primeiro registro entre os anos de 1834 e 1835, quando comerciantes da cidade do Rio de Janeiro compraram gelo de navegantes dos Estados Unidos e realizaram a fabricação do produto utilizando frutas tropicais e características do país. O mercado brasileiro atual é dividido entre produtos industrializados e produtos artesanais (MIGUEL, 2010).

Segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias e do Setor de Sorvetes – ABIS (2014), dos anos de 2003 a 2013 o consumo de gelados comestíveis no Brasil apresentou um aumento de 86,1%, passando de 685 milhões de litros para 1,244 bilhão de litros por ano. Em outros mercados consumidores, como por exemplo, o mercado norte-americano e o mercado neozelandês, o consumo é até quatro vezes maior que o brasileiro, provando a capacidade de expansão do setor.

O conceito de que o sorvete é um produto de consumo exclusivo durante os meses de quentes do ano ainda é mantido no Brasil, sendo a explicação para o consumo deste produto ser menor em relação a outros mercados consumidores. Em temporadas com altas temperaturas como, por exemplo, entre os meses de setembro a março ocorre um aumento do consumo, cerca de 70% da produção anual de sorvetes ocorre neste período (ABIA, 2015).

De acordo com a legislação brasileira (ANVISA, 1999), portaria 379, de 26 de abril de 1999, os sorvetes ou gelados comestíveis podem ser classificados de acordo com sua composição básica, sendo separados em seis categorias distintas:

- I. Sorvetes de creme: tem em sua composição, basicamente, leite, produtos lácteos derivados e ou gorduras comestíveis;
- II. Sorvetes de leite: são elaborados a partir de leite e ou produtos lácteos;

- III. Sorvetes: de forma análoga aos sorvetes de leite, o sorvete é produzido utilizando-se ingredientes como leite e ou produtos lácteos derivados e também outros tipos de matérias primas alimentares, tendo em sua composição teores de proteínas e gorduras provindos de produtos não lácteos;
- IV. *Sherbets*: são produtos análogos aos sorvetes, sendo a sua principal diferença a porção de gordura e proteínas provindas de produtos não lácteos, sendo esta menor;
- V. Gelados de Frutas ou Sorbets: são compostos por polpas, sucos ou pedaços de frutas com o acréscimo de açúcar;
- VI. Gelados: é composto basicamente por açúcares, podendo haver a adição de outros ingredientes como polpas de frutas, pedaços e sucos.

Os sorvetes ou gelados comestíveis podem, ainda, emser classificados de acordo com o processo de fabricação e apresentação do produto, sendo elas sorvetes de massa ou cremosos e picolés (BRASIL, 1999).

Para a fabricação de sorvetes, inicialmente eram utilizados como ingredientes apenas leite, creme, estabilizantes e açúcar. Visando o aroma, corpo, textura, cor, valor nutricional e palatabilidade do produto, além de custo e propriedades de manipulação, outros vários ingredientes foram incorporados (XAVIER, 2009).

A estrutura deste produto é responsável pela percepção de sabor e aroma sentida durante o seu consumo. Trata-se de uma mistura complexa, podendo ser considerada uma mistura heterogênea e ao mesmo tempo emulsão, suspensão, espuma e gel. A aderência desta mistura é conseguida devido o processo de congelamento sofrido (PEREDA et al., 2005). Segundo Soler e Veiga (2001), a estrutura do sorvete é formada por bolhas de ar, glóbulos de gordura, uma fase aquosa não congelada e cristais de gelo.

A estrutura do sorvete pode ser dividida em fase contínua e fase descontínua. A água é caracterizada como a fase contínua deste produto, é nela onde se encontram dissolvidos a grande maioria de ingredientes. A fase descontínua é composta, basicamente, pelo ar e a gordura presentes (GOFF, 1997).

Para a avaliação da qualidade do sorvete são levados em consideração alguns parâmetros como textura, sabor, consistência e corpo do produto. A consistência do produto faz referência a maciez ou dureza. Esta característica pode ser afetada diretamente pela textura da mistura e temperatura do processo. O corpo do sorvete é entendido como o comportamento do produto quando exposto a altas temperaturas e começa a derreter. Sua classificação pode ser em viscoso e esponjoso ou aguado e compacto (SANTOS, 2009).

A escolha dos ingredientes e sua qualidade interferem de maneira significativa no produto final obtido. A sacarose presente é responsável por conferir corpo ao produto, além de influenciar diretamente na formação de cristais de gelo, uma vez que realiza o abaixamento do ponto de congelamento da água. A gordura é responsável por conferir ao produto o sabor, a textura e a consistência do sorvete (CHARLEY; WEAVER, 1998).

### **3.5.1 Composição do Sorvete**

O sorvete apresenta em sua composição, basicamente, 8 a 20% de gordura, 8 a 15% de sólidos não gordurosos do leite, 13 a 20% de açúcar e 0 a 0,7% de emulsificante-estabilizante, podendo variar de acordo com cada região em que é fabricado, uma vez que, no Brasil este produto é caracterizado por apresentar influências regionais devido à dificuldade de locomoção do produto (SOUZA et al., 2010). Dentre os sólidos não gordurosos é possível enfatizar as proteínas provenientes do leite, representando cerca de 34 a 36% do total (MARSHALL; ARBUCKLE, 1996).

Devido ao seu alto teor de gordura e carboidratos o sorvete é considerado uma excelente fonte de energia.

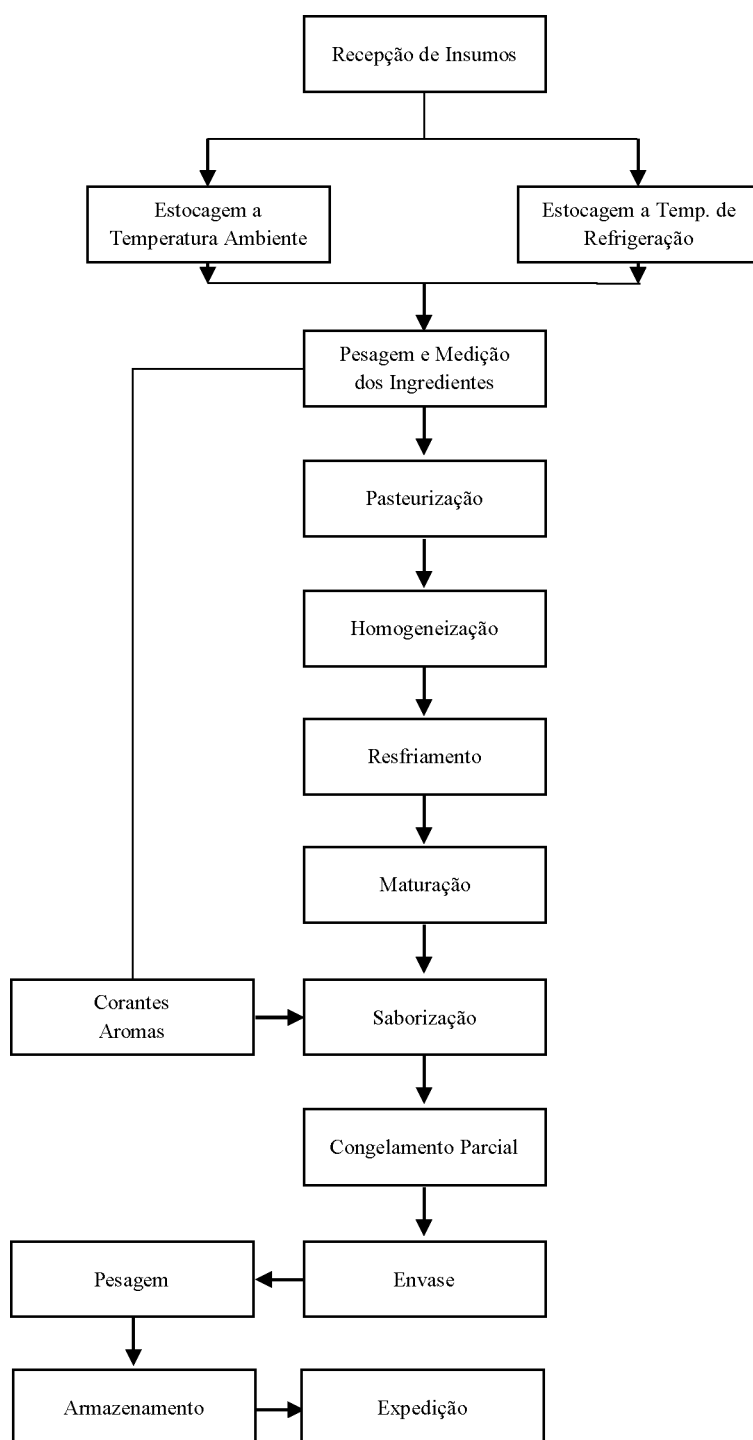
Um obstáculo enfrentado pela indústria produtora de sorvetes é a grande parcela da população que possui restrições quanto alguns compostos presentes no produto. O açúcar é um problema para pessoas portadoras de diabetes e a proteína do leite e a lactose são problemas enfrentados para pessoas portadoras de intolerância a esses compostos. O pequeno consumo destes por pessoas portadoras desses tipos de restrições pode acarretar desconfortos e problemas de saúde.

Desta maneira, diversas inovações têm sido estudadas e aplicadas no processamento de sorvetes, criando produtos com a possibilidade de consumo por toda a população, como por exemplo, sorvetes livres de lactose.

### **3.5.2 Processamento de Sorvetes**

Para garantir um produto final de alta qualidade é essencial utilizar em todo o processo ingredientes de qualidade, além de realizar a manipulação de forma adequada e higiênica (KATO, 2002). As etapas de processamento deste produto são mostradas na Figura 7, a seguir.

Figura 7 - Fluxograma das Etapas do Processo de Fabricação de Sorvetes



Fonte: TOMAIN; ANDRADE 20--.

#### **3.5.2.1 *Recepção de Insumos***

As matérias-primas utilizadas para a fabricação de sorvete são leite “*in natura*” e soro de leite em pó, açúcar cristal, gordura vegetal hidrogenada, xarope de glicose, corantes, aromatizantes e estabilizantes. São recebidos na indústria processadora, também, potes e embalagens utilizadas para o acondicionamento do produto final.

#### **3.5.2.2 *Estocagem de Matérias-Primas e Embalagens***

Para cada material utilizado no processamento para obtenção de sorvete é requerido um tipo de estocagem distinto, levando em consideração a natureza e as características de cada um. O intuito desta etapa é garantir a qualidade após o recebimento até o uso. Por exemplo, o leite “*in natura*” exige estocagem sob refrigeração em tanque isotérmico, onde a temperatura máxima permitida é 4 °C; assim como aromas devem ser armazenados a uma temperatura máxima de 18 °C. Todos os outros insumos devem ser armazenados em distância adequada do chão e paredes, a temperatura ambiente (TOMAIN; ANDRADE, 20--).

#### **3.5.2.3 *Pesagem e Medição dos Ingredientes***

Com a intenção de obter um produto com uma formulação balanceada e para a realização de cálculos referentes ao rendimento da produção é necessário realizar a pesagem adequada de cada ingrediente utilizado.

#### **3.5.2.4 *Preparo da Mistura***

Esta etapa tem como função a garantia de que todos os ingredientes utilizados no processo se encontram dissolvidos ou em suspensão, garantindo que não haja a formação de pequenos grânulos na mistura. É assegurado nesta etapa que a proporção de ingredientes está correta. Para garantir a qualidade do produto é necessário seguir uma ordem de adição de cada matéria-prima, produzindo assim um efeito melhor. (XAVIER, 2009).

### 3.5.2.5 Pasteurização

O processo de pasteurização realizado é definido como o tratamento térmico da mistura, onde altas temperaturas em determinados períodos de tempo são empregadas com o intuito de eliminar possíveis micro-organismos patogênicos. Atualmente, várias formas de realização deste processo e vários modelos de equipamentos são encontrados (Sorvetes & Casquinhas, 20--).

Na Tabela 2, são apresentadas algumas formas de realização da pasteurização.

| Tabela 2 - Tipos de Pasteurização. |                  |                      |                      |
|------------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Sistema                            | Temperatura (°C) | Tempo de Aquecimento | Efeito Germicida (%) |
| Pasteurização baixa ou Lenta       | 62-65            | 30 minutos           | 95,0                 |
| Pasteurização Rápida               | 71-74            | 15 minutos           | 99,5                 |
| Pasteurização Alta                 | 85               | 1 a 2 minutos        | 99,9                 |
| Ultrapasteurização                 | 135-150          | 2 A 8 segundos       | 99,9                 |

Fonte: Sorvetes & Casquinhas, 20--.

### 3.5.2.6 Homogeneização

Após o processo de pasteurização, a mistura passa por um processo de homogeneização. Este processo tem por finalidade diminuir o tamanho dos glóbulos de gordura presentes, obtendo-se uma suspensão permanente e uniforme. Com a utilização deste processo é garantido à permanência da mistura sem que ocorra a separação dos glóbulos de gordura e sua migração para a superfície (CENZANO; MADRID, 1995). Algumas das vantagens alcançadas após a realização da homogeneização são a menor possibilidade de oxidação dos glóbulos de gordura, melhor corpo e textura.

A temperatura e a pressão de operação são dois parâmetros com grande influência na eficiência deste processo, assim como o teor de gordura presente na mistura (OLIVEIRA, 2005).

### **3.5.2.7 Resfriamento**

Após a passagem pelo processo de homogeneização a mistura é rapidamente resfriada, utilizando-se trocadores de calor a placas. A temperatura máxima desejada para o armazenamento até a maturação é de 4 °C. Esta etapa de resfriamento é importante para que a viscosidade desejada seja alcançada além de garantir que não ocorrerá o crescimento indesejado de micro-organismos (ARBUCKLE, 1977).

### **3.5.2.8 Maturação e Saborização**

A etapa de maturação confere a mistura uma melhor absorção de ar nas etapas de batimento e congelamento, além de melhor resistência ao derretimento. A cristalização da gordura e hidratação das proteínas e estabilizantes são fenômenos que ocorrem durante esta etapa e influem de forma direta na qualidade do produto final (OLIVEIRA, 2005).

A temperatura usualmente adotada é 4 °C ou inferior, por um período que varia de 2 horas a no máximo 48 horas. Há, nesta etapa, a adição de ingredientes sensíveis ao calor e que devido ao tratamento térmico sofreriam algum tipo de degradação e/ou modificação sensorial. Ingredientes tais como aromatizantes e corantes (TOMAIN; ANDRADE, 20--).

### **3.5.2.9 Congelamento Parcial**

O congelamento parcial é uma das etapas de maior influência na qualidade do produto final devido incorporação de ar o processo de agitação realizado para a obtenção da textura desejada além de proporcionar um congelamento rápido, responsável pela formação de pequenos cristais de gelo (OLIVEIRA, 2005).

A faixa de temperatura utilizada para o congelamento é de -4°C a -18°C. Quanto menor a temperatura adotada para esta etapa maior será a proporção de cristais de gelo formados. Porém, não é adequado a utilização de temperaturas abaixo da faixa proposta, uma vez que afetaria de forma direta a textura do produto, conferindo uma alta dureza (ARBUCKLE, 1977).

### **3.5.2.10 Envase**

O produto saído da máquina é então acondicionado em potes, responsáveis por determinar a forma e o volume.

#### **3.6.2.11 *Pesagem***

Esta etapa é de grande importância pois garante que o produto está dentro dos padrões exigidos, não havendo desperdício de produto ou lesões ao consumidor por falta de produto (TOMAIN; ANDRADE, 20--).

#### **3.5.2.12 *Armazenamento***

O armazenamento é realizado em câmaras frias, reguladas em uma faixa de temperatura variando entre -20°C e -30°C, por um período mínimo de até 48 horas. Nesta etapa ocorrerá o congelamento completo do produto. É aconselhado a realização do congelamento completo de forma rápida, garantindo, desta maneira, a formação de pequenos cristais de gelo. A quantidade de água transformada em cristais de gelo, devido ao processo de congelamento, é de aproximadamente 90% (OLIVEIRA, 2005; TOMAIN; ANDRADE, 20--).

#### **3.5.2.13 *Expedição***

Com o auxílio de caminhões adequados e dotados de refrigeração o produto final é transportado até os pontos de venda.

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 Produção de Sorvete com Baixo Teor de Lactose

Atualmente, o mercado de sorvetes oferece diversas variedades de produtos com teor reduzido de lactose, voltados para o consumidor portador de deficiências ligadas ao leite e seus derivados, podendo ser estas a intolerância a lactose ou alergia a proteína do leite.

Alguns exemplos de empresas que dispõe em seu catalogo produtos livres de lactose serão listados a seguir:

- i. **Chapman's®** – Esta empresa, de origem canadense, possui em seu catálogo de produtos sorvetes livres de lactose. O processo de obtenção deste produto é realizado utilizando-se a enzima lactase como precursora da reação de hidrólise da lactose presente. Após 24 horas de reação testes são realizados a fim de garantir que há presente no produto apenas a quantidade mínima aceitável de lactose. Através deste processo é relatada a remoção de até 99% do carboidrato.
- ii. **Breyers®** - Esta empresa americana oferece produtos isentos em até 99% de lactose, podendo ser consumidos por portadores de alguma deficiência relacionada ao leite e seus derivados. Para a redução da lactose presente naturalmente, devido ao uso de leite em sua composição, é utilizado a enzima lactase para o processo de hidrólise, adicionada juntamente aos outros componentes do sorvete. A empresa dispõe os produtos em dois sabores distintos, sendo eles, chocolate a baunilha.
- iii. **Lactaid®** – De forma semelhante aos outros exemplos apresentados anteriormente, esta empresa, situada em Washington – Estados Unidos da América, realiza em seus produtos uma reação de hidrólise através da ação enzimática da lactase. Apresenta em seu catálogo os sabores de baunilha, chocolate, chocolate com pedaços de frutas, caramelo, biscoitos & creme e manteiga de amendoim.

Diante o apresentado é possível notar que ambas empresas citadas apresentam fabricas e mercado fora do território brasileiro. É visto a necessidade de indústrias brasileiras realizando a fabricação deste tipo de produtos, levando em consideração que por se tratar de produtos importados apresentam alto valor agregado e portando um nicho de consumidores bastante restrito. Além do alto valor agregado devido à importação é importante salientar que o valor agregado à obtenção da enzima lactase é também elevado.

A introdução de plantas de membrana para realizar a remoção de lactose do leite utilizado no processamento de sorvetes é uma opção que pode garantir menor preço de produção e também a introdução deste tipo de produto no mercado nacional.

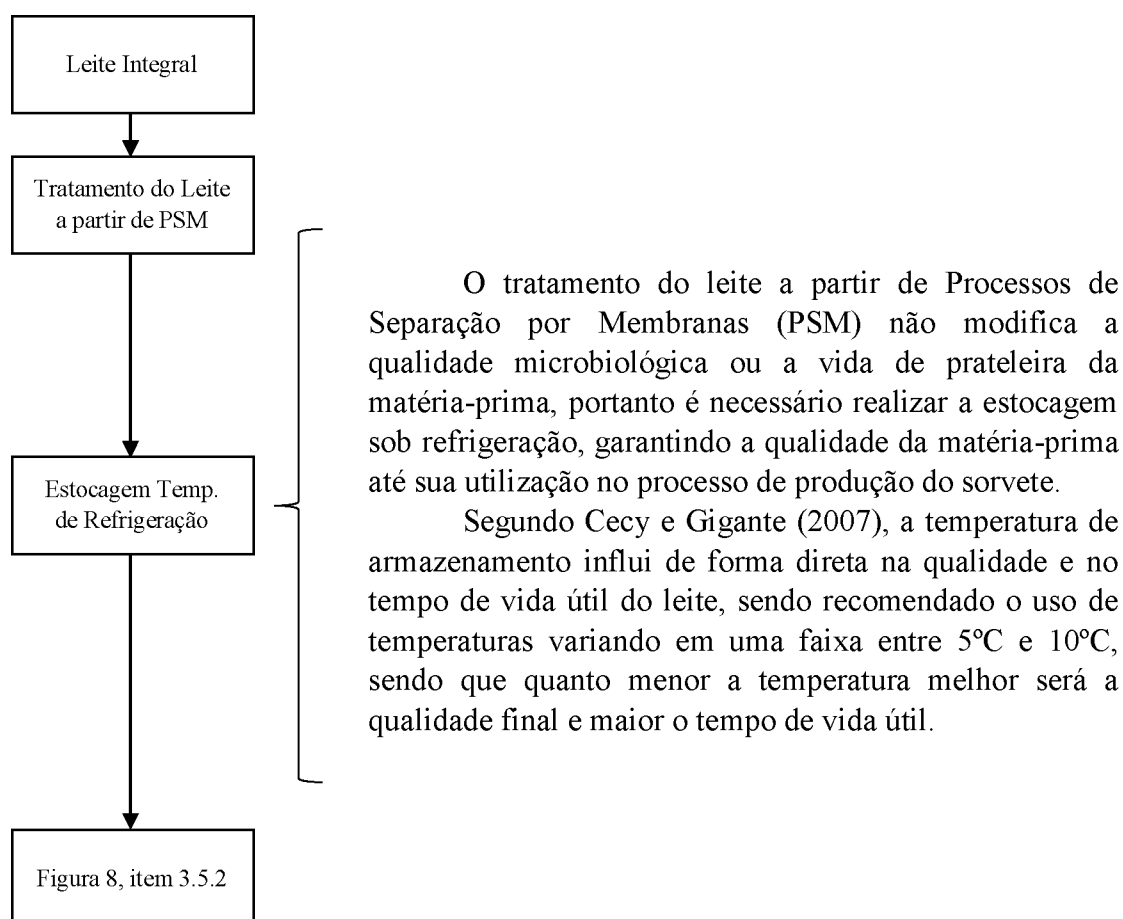
## 5 POSSIBILIDADES DE INTRODUÇÃO DE ETAPAS PARA A REMOÇÃO DE LACTOSE

Com a introdução de uma unidade de planta de membrana dentro da indústria produtora de sorvetes é possível se obter leite com baixo teor de lactose, sendo este utilizado como matéria-prima para a produção do sorvete com baixo teor de lactose.

Esta etapa de tratamento do leite seria realizada anteriormente as etapas correspondentes à produção do sorvete propriamente dito, podendo ser considerada uma etapa a parte.

A Figura 8 mostra de forma generalizada a adição da etapa de tratamento do leite, anteriormente as etapas de produção do sorvete. O processo de produção do sorvete será adotado como mostra a Figura 9, apresentado anteriormente no item 3.5.2.

Figura 8 - Fluxograma da Etapa de Tratamento do Leite Adicionada a Produção de Sorvete.



Fonte: Autoria Própria, 2015.

## **6 DETALHAMENTO DO TRATAMENTO DO LEITE**

### **6.1 PROPOSTA 1: Ultrafiltração associada a Hidrólise Enzimática**

Com a aplicação do processo de ultrafiltração para a remoção da lactose presente no leite é possível, a cada etapa, remover o equivalente a 40% do valor inicial (TETRAPAK, 20--). Com a intenção de aumentar a eficiência de remoção é possível a adoção de um processo de múltiplos estágios, podendo haver diversas configurações.

Baseado na revisão da literatura será realizada uma proposta para uma melhor eficiência na remoção da lactose para a produção do sorvete uma alternativa será adotada, o processo de ultrafiltração com três estágios sem reciclo. Sendo assim, através deste processo será possível a remoção de uma concentração maior da lactose presente. Os parâmetros importantes de serem avaliados neste processo são os mesmos avaliados em um processo com apenas um estágio, não havendo modificação.

Após a passagem pelo processo de ultrafiltração em três estágios, o leite será submetido a um processo de hidrólise enzimática. Segundo Faedo e colaboradores (2013), uma concentração de 80 g de enzima/L de leite será utilizada para a remoção, sendo ao final obtido um produto com aproximadamente 1% de lactose presente em sua composição.

Segundo dados da literatura, através deste processo será possível a remoção de até 99% do conteúdo inicial de lactose do leite. Para a investigação da eficiência do processo serão apresentados os balanços materiais de acordo com as etapas envolvidas.

#### **6.1.1 Balanço Material**

Para o balanço material da proposta 1, o processo foi dividido em diversas etapas, segundo a Figura 10. A primeira etapa é referente à etapa de alimentação, onde será introduzido o leite na planta de processamento por membrana. A etapa 2 é referente ao primeiro estágio do processo de ultrafiltração. A etapa 3 refere-se ao segundo estágio do processo de ultrafiltração, a etapa referente ao terceiro estágio de ultrafiltração e por fim a etapa 5 refere-se ao processo de hidrólise enzimática do leite.

Na alimentação, foi adotado para o leite uma concentração de lactose que varia de 45 a 50 gramas por litro (ORDÓÑEZ, 2005). Considerando que em um processo de ultrafiltração em um único estágio a remoção é equivalente a 40% (TETRAPAK,20--), no primeiro estágio ocorre uma remoção de 40% da concentração inicial, desta forma, ao sair do primeiro estágio

o leite possui uma concentração de aproximadamente 27 a 30 gramas de lactose por litro. Após sair do primeiro estágio, o retentado segue para ao segundo estágio da planta de membrana, onde passa, novamente, pelo processo de ultrafiltração. Da mesma forma, no segundo estágio ocorre a remoção de 40% da concentração de lactose. Desta maneira, ao sair do segundo estágio de ultrafiltração o leite possui uma concentração de lactose variando entre 16,2 a 18 gramas de lactose por litro. Após a passagem pelo terceiro estágio do processo de ultrafiltração do leite, a concentração de lactose será de 9,72 a 10,8 gramas por litro.

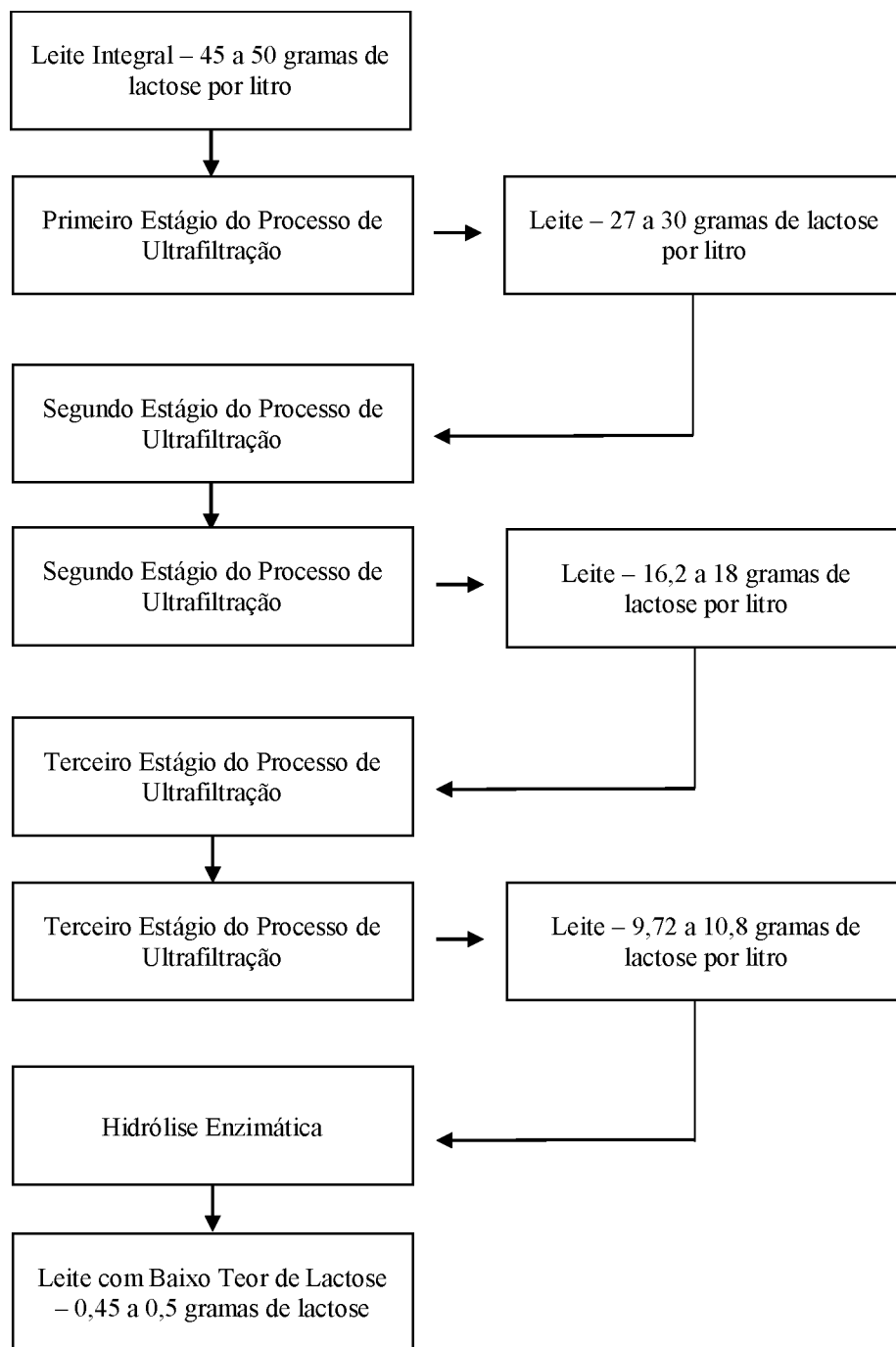
Após sair da planta de membrana são adicionados 80 gramas de enzima lactase por litro de leite, a fim de garantir a hidrólise da concentração de lactose remanescente. Com este processo de adição da enzima o produto final apresenta uma concentração de aproximadamente 1%. Portanto, o leite obtido ao final do processo de hidrólise apresenta uma concentração de aproximadamente 0,45 a 0,5 gramas de lactose por litro.

Como vantagem a utilização deste processo temos a menor quantidade de unidades de membrana empregadas, uma menor concentração da enzima lactase empregada na etapa de hidrólise enzimática, a não utilização do processo de hidrólise enzimática e um menor valor agregado ao processo.

No Apêndice A é apresentada uma tabela com os devidos valores obtidos no balanço de massa da Proposta 1.

Na Figura 9 é apresentado o balanço material do processo de ultrafiltração em conjunto com a hidrólise enzimática.

Figura 9 - Fluxograma do Balanço Material do Processo de Ultrafiltração em conjunto ao Processo de Hidrólise Enzimática.



Fonte: Autoria Própria, 2015

## 6.2 PROPOSTA 2: Ultrafiltração associada a Diafiltração

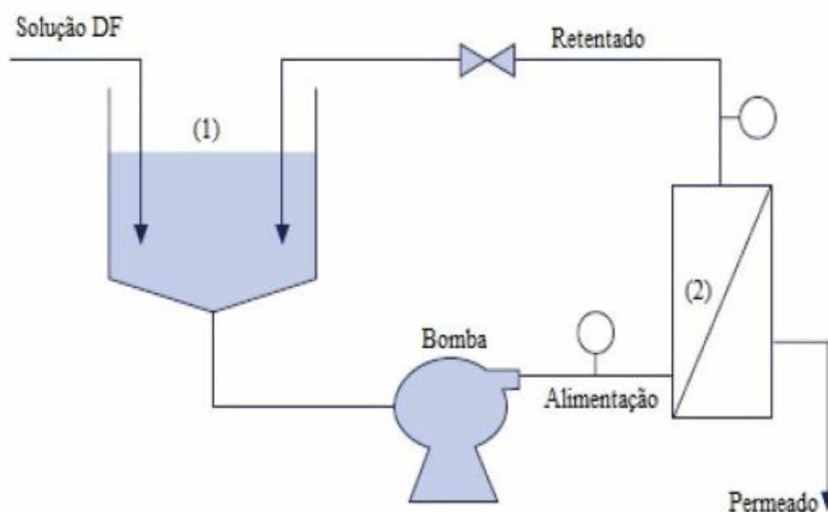
Segundo a Tetrapak (20--), com a utilização apenas do processo de ultrafiltração é possível obter-se um coeficiente de remoção equivalente a 40%. Desta maneira, com a adição do processo de diafiltração é possível remover valores acima de 96% de lactose, tornando o leite passível de consumo para pessoas portadoras de deficiências ligadas aos componentes do leite, uma vez que este processo realiza a purificação dos produtos provindos da ultrafiltração (GIBRIM; ROCHA; RAMOS, 2011).

A adição de forma contínua de uma solução pura ou uma solução tampão é o princípio básico desta técnica de diafiltração. Uma vazão equivalente a vazão de permeado que sai do sistema é a quantidade indicada para a adição das soluções (YEE; WILEY; BAOB, 2007).

O processo de ultrafiltração acoplado ao processo de diafiltração pode ser operado tanto de forma contínua quanto por batelada, sendo, em laticínios, a adoção de um número maior de estágios a forma mais adequada (PEREIRA, 2009). A pressão transmembrana e a temperatura adotadas por Barba et al. (2001) em uma planta de membrana piloto foi de 119 kPa e 25°C, respectivamente.

Na Figura 10 é mostrado o fluxograma do processo de diafiltração em conjunto a ultrafiltração.

Figura 10 - Representação esquemática do Processo de Diafiltração. (1) tanque de alimentação; (2) membrana.



Fonte: PEREIRA, 2009.

Para a avaliação da eficiência deste processo foi realizado um balanço material.

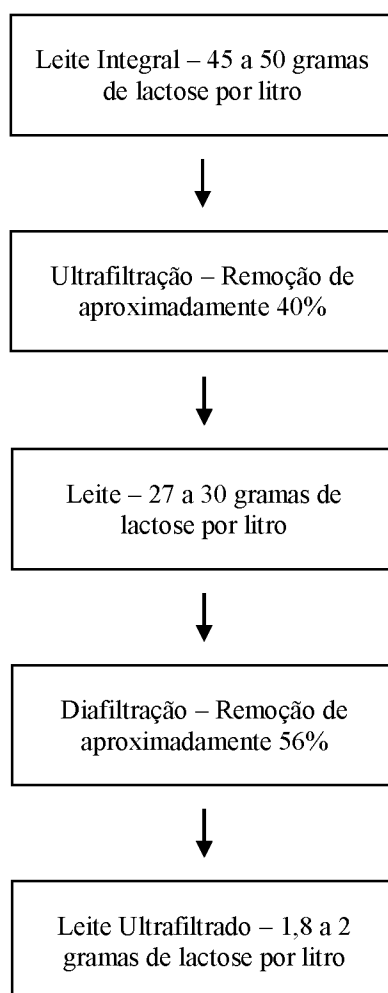
### 6.2.1 Balanço Material

Como apresentado no item 2.1 do presente trabalho, no leite é encontrado cerca de 45 a 50 gramas de lactose por litro. Desta forma com a realização do processo de ultrafiltração com apenas um estágio a concentração de lactose remanescente será equivalente a aproximadamente 27 a 30 gramas por litro, equivalendo a 40% de remoção. Posteriormente, através do processo de diafiltração, a remoção de lactose alcançada atinge um valor aproximado de 1,8 a 2 gramas por litro de leite, o equivalente a 56% de remoção. Através desta alternativa de processo é possível observar pelo balanço material uma remoção de 96% da lactose presente no leite, sendo um resultado bastante satisfatório visto a não utilização da hidrólise enzimática.

No Apêndice B é apresentada uma tabela com os devidos valores obtidos no balanço de massa da Proposta 2.

Na Figura 11 é apresentado o balanço material do processo de ultrafiltração com os devidos valores de lactose obtidos após cada processo realizado.

Figura 11 - Fluxograma do Balanço Material do Processo de Ultrafiltração + Diafiltração.



## 7 CONCLUSÃO

No presente trabalho pode-se observar a importância do consumo de leite e seus derivados para uma dieta equilibrada, levando em consideração a sua composição rica em nutrientes essenciais para o desenvolvimento e saúde do ser humano, independente da faixa etária. Abordou-se ainda a importância do seu consumo, inclusive por pessoas portadoras de deficiências ligadas a lactose presente no leite, sendo esta denominada intolerância a lactose.

Sendo o sorvete um produto de alta demanda no mercado, verifica-se a importância de encontrar diversos processos para a obtenção de sorvetes livres de lactose, voltado para consumidores intolerantes a este carboidrato.

Dos processos investigados neste trabalho para a redução da lactose no leite verificou-se uma grande utilização da hidrólise enzimática, sendo este um fator que inviabiliza o processo em termos de custos de produção, sendo necessário então processos alternativos aos convencionais. Com a introdução do Processo de Separação por Membranas juntamente ao processo de hidrólise enzimática houve a viabilização deste processo, tornando o custo de produção mais baixo.

Baseado nisto, a realização de processos alternativos para a obtenção de sorvetes livres de lactose torna-se um caminho viável para a produção e consumo deste produto. Desta forma, através das propostas sugeridas neste trabalho pode-se concluir que diversas alternativas podem ser adotadas para tal processo, levando-se em consideração para a sua aplicação o gasto gerado e o preço do produto ao final de cada processo. Foi possível perceber através de um simples balanço material que ambos os processos propostos no presente trabalho (processo de Ultrafiltração + Diafiltração e processo de Ultrafiltração + Hidrólise Enzimática) apresentaram um grande potencial de aplicação visando garantir um produto final adequado para o consumo por pessoas intolerantes a lactose.

## SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Para trabalhos futuros é sugerido:

1. A realização de experimentos referentes as propostas apresentadas, sendo desta forma possível verificar os resultados obtidos.
2. Propor a construção de um fluxograma de processos e utilidades para a projeção do sistema estudado.
3. A realização de um levantamento sobre a viabilidade econômica dos processos, levando em consideração as especificações de custos de capital agregados a cada parta da planta de membrana e custo de operação, apresentadas por Baker (2004). A Tabela 3 mostra os custos de capital agregados a cada parte da planta de membrana e o custo operacional.

Tabela 3 - Custos de Capital e Custos Operacionais do Processo de Ultrafiltração

| <b>Custos de Capital</b>   | <b>%</b>          |
|----------------------------|-------------------|
| Bombas                     | 30                |
| Módulo de Membrana         | 20                |
| Alojamento dos Módulos     | 10                |
| Tubos, válvulas, quadros   | 20                |
| Controles/Outros           | 20                |
| <b><i>Total</i></b>        | <b><i>100</i></b> |
| <b>Custos Operacionais</b> | <b>%</b>          |
| Substituição da Membrana   | 30-50             |
| Custos de Limpeza          | 10-30             |
| Energia                    | 20-30             |
| Mão-de-Obra                | 15                |
| <b><i>Total</i></b>        | <b><i>100</i></b> |

Fonte: BAKER, 2004.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIA - Associação Brasileira das Indústrias de Sorvetes. **Produção e consumo de sorvete no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abis.com.br/noticias.asp>> Acesso em 14 de setembro de 2015.
- ABIS – Associação Brasileira das Indústrias e do Setor de Sorvetes. **Em expansão, mercado de sorvetes enfrenta desafios: Produtos premium e adequação ao inverno alavancam alta do doce**. São Paulo, 2014.
- ARBUCKLE, W. S. **Ice cream**. 3 ed. Estados Unidos: AVI Publishing Company, 1977.
- BAKER, R. W. **Membrane Technology and Applications**. 2. ed. England: John Wiley & Sons Ltd, 2004. p. 263.
- BALDO, L. **Suplementação de cálcio na dieta sem lactose**. Sem Lactose. 2008.
- BARBA, D. et al. **Whey protein concentrate production in a pilot scale two-stage diafiltration process**. Separation Science Technology, v. 36, n. 4, 2001. p. 587-603.
- BARBOSA, C. R.; ANDREAZZI, M. A. **Intolerância a lactose e suas consequências no metabolismo do cálcio**. V Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica. CESUMAR – Centro Universitário de Maringá. Maringá, 2010.
- BARRETO, et al. **Clarificação de polpa de camu-camu por microfiltração**. Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v. 16, n. 3, 2013. p. 207-215.
- BRANS, G.; SCHROËN, C. G. P. H.; VAN DERSMAN, R. G. M.; BOOM, R. M. **Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges**, Journal of Food Engineering, v. 243, 2004. p. 263-272.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 379, de 26 de abril de 1999. **Aprova o regulamento técnico referente a gelados comestíveis, preparados, pós para o preparo e bases para gelados comestíveis**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 29 abr. 1999.
- BOSCHI, J. R. **Concentração e Purificação das Proteínas do Soro de Queijo por Ultrafiltração**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- BRIÃO, V. B.; TAVARES, C. R. G. **Effluent generation by the dairy industry: preventive attitudes and opportunities**. Brazilian Journal of Chemical Engineering, São Paulo, v. 24, n. 4, 2007. p. 487-497.
- CALVERT, F. R. **Reduced fat and carbohydrate milk product and process for manufacturing such milk product: Patent nº US 7611742 B2**. Estados Unidos: United States Patent, 2009.
- CARVALHO, G. R. **A Indústria de laticínios no Brasil: passado, presente e futuro**. Circular técnica. Juiz de Fora, MG, 2010.

CECY, M. N.; GIGANTE, M. L. **Efeito da Temperatura de Armazenamento Sobre a Vida de Prateleira do Leite Pasteurizado**. Faculdade de Engenharia de Alimentos – FEA, UNICAMP, Campinas, 2007.

CENZANO, I.; MADRID, A. **Tecnología de la elaboración de los helados**. Madrid, 1995. 376p.

CHARLEY, H.; WEAVER, C. **Foods: a scientific approach**. 3.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998, cap. 15, p. 243-268.

DÜRR, J. W.; FONTANELI, R. S.; MORO, D. V. **Uso do leite para monitorar a nutrição e o metabolismo de vacas leiteiras**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001. p. 23-29.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**, 2 ed. São Paulo: Atheneu, 1998. p. 652.

FAEDO, R. et al. **Obtenção de leite com baixo teor de lactose por processo de separação por membrana associados à hidrólise enzimática**. vol. 3. Passo Fundo, RS: Revista CIATEC – UPF, 2013. p. 44-54.

GASPARIN, F. S. R.; TELES, J. M.; ARAUJO, C. S. **Alergia à proteína do leite de vaca versus intolerância à lactose: as diferenças e semelhanças**. Revista Saúde e Pesquisa, v. 3, n. 1, 2010, p. 107-114.

GIANEZINI, M.; ALVES, A. B.; TECHEMAYER, C. A.; RÉVILLION J. P. P. **Diferenciação de produto e inovação na indústria agroalimentar: a Inserção de alimentos funcionais no brasil**. RACE, Unoesc, v. 11, n. 1, 2012.

GIBRIM, E. G.; ROCHA, J. C. G.; RAMOS, A. M. **A ultrafiltração e sua aplicabilidade na área de alimentos**. Revista Meio Filtrante, 50. ed. Viçosa: [s.n], 2011.

GOFF, D. H. **Colloidal Aspects of Ice Cream – A Review**. Journal of Dairy Science, n. 7, 1997. p. 363-373.

GONZÁLEZ, F. H. D. **Composição Bioquímica do Leite e Hormônios da Lactação**. In: **Uso do leite para monitorar a nutrição e o metabolismo de vacas leiteiras**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. p. 5-22.

GOURSAUD, J. **O leite de vaca: composição e propriedades físico-químicas**. Portugal: Publicações Europa-America Ltda, v.1, 1985. p. 31-56.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. **Processo de Separação por Membranas**. Rio de Janeiro: E-papers, 2006. p. 180.

HEYMAN, M. B. **Lactose Intolerance in Infants, Children, and Adolescents**. American Academy of Pediatrics. v. 18, n. 3, 2006.

HOLST, H. H.; LAURITZEN, K. **Process for producing lactose-free milk: Patent nº WO 2009043356 A1**. [S.l.: s.n], 2009.

- JELLEN, P.; TOSSAVAINEN, O. **Low lactose and lactose free milk and dairy products – prospects, technologies and applications**. Australian Journal of Dairy Technology, v. 58, n. 2, 2003.
- KATO, N. M. **Propriedades tecnológicas de formulações de sorvete contendo concentrado protéico de soro (CPS)**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- KAZEMIMOGHADAM, M.; MOHAMMADI, T. **Chemical cleaning of ultrafiltration membranes in the milk industry**. Desalination, n. 204, 2007. p. 213-218.
- LAUTENSCHLAGER, S. R. **Otimização do Processo de Ultrafiltração no Tratamento Avançado de Efluentes e Águas Superficiais**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- LONGO, G. **Influência da adição de lactase na produção de iogurte**. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia**. 9. ed. São Paulo: Roca, 1998.
- MAPA – Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 51**, de 18 de setembro de 2002.
- MARSHALL, R. T.; ARBUCKLE, W.S. **Ice cream**. 5 ed. Nova Iorc: International Thomson Publ., 1996.
- MARTINS, J. P. **Intolerância a Lactose: Uma Revisão dos Padrões Bioquímicos e Epidemiológicos**. Departamento de Nutrição, Juiz de Fora, MG: UFJF, 2014.
- MCCANCE; WIDDOWSON. **Milk and Milk Products**. The Composition of Foods. 6. ed. The Royal Society of Chemistry, pp.29-123, 2002.
- MIGUEL, José. **Projeto de Implantação de Indústria de Sorvete**. 1 ed. Santa Catarina, PR, 2010. 84 p.
- MILLER, G. D.; JARVIS, J. K.; MCBEAN, L. D. **The importance of meeting calcium needs with foods**. J Am Coll Nutr. v. 20, n. 2, p. 168-185. 2001.
- OLIVEIRA, K. H. **Caracterização Reológica de Diferentes Tipos de Sorvete**. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005.
- ORDÓÑEZ, J. A. et al. **Tecnologia de Alimentos: Alimentos de Origem Animal**. vol. 2. Porto Alegre, RS: Artmed, 2005. 279 p.
- PEPPIN, S. S. L.; ELLIOT, J. A. W. **Non-equilibrium thermodynamics of concentration polarization**. Advances in Colloid and Interface Science, v. 92, n. 1-3. 2001. p. 1-72.
- PEREDA, J. A. O. et al. **Tecnologia de alimentos**, Porto Alegre:Artmed, v. 2, 2005.

PEREIRA, I. O. **Análise e Otimização do Processo de Ultrafiltração do Soro de Leite Para a Produção de Concentrado Proteico**. Bahia: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2009.

PORTO, E. **Tipos de Leite**. LAN/ESALQ/USP, 2007.

QUILICI, F. A.; MISSIO, A. **Intolerância à Lactose**. UniGastro. Campinas, 2004.

RAVAZI, S. M. A.; MOUSAVI, S. M.; MORTAVAZI, S. A. **Dynamic prediction of milk ultrafiltration performance: A neural network approach**. Chemical Engineering Science, n. 58, 2003.

RIBEIRO, E. P. **Aplicação de Ultrafiltração de Leite no Processo de Fabricação de Iogurte**. Campinas: UNICAMP, 1989.

RIBEIRO, E. P. **Aplicação de Ultrafiltração de Leite no Processo de Fabricação de Queijo Prato**. Campinas: UNICAMP, 1996.

SANTOS, G. G. **SORVETE: Processamento, tecnologia e substitutos de sacarose**. Campo Grande: Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, n. 2, v. 8, 2009. p. 95-109.

SCALEZ, D. C. B.; LIMA, R. L. **Fatores que afetam a composição do leite**. Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2010.

SILVA, P. H. F. **Leite: Aspectos de Composição e Propriedades**. Química Nova na Escola, [S.l.], 1997.

SOLER, M. P.; VEIGA, P. G. **Série Publicações Técnicas do Centro de Informação em Alimentos: Sorvetes**. Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, 2001.

SORVETES & CASQUINHA. **Pasteur, pasteurização e pasteurizador**. [S.l.: s.n, 20--].

SOUSA, K. A. F. D; NEVES, V. A. **Experimentos de Bioquímica: Oligossacarídeos**. Unesp, 20--.

SOUZA, J. C. B. et al. **Sorvete: Composição, Processamento e Viabilidade da Adição de Probiótico**. vol. 21. Araraquara, SP: Alim. Nutr., 2010. p. 155-165.

SUAREZ, F. L.; SAVAIANO, D. A.; LEVITT, M. D. **The Treatment of Lactose Intolerance**. Aliment. Pharmacol. Ther. 1995.

TETRAPAK. **Production Concept: Lactose free milk**. [S.l.: s.n, 20--].

TOMAIN, L.F.; ANDRADE, H.V. **Caracterização da Etapa de Homogeneização como um Ponto Crítico de Controle na Fabricação de Gelados Comestíveis**. Faculdades Associadas de Uberaba, Uberaba, 20--.

TOSSAVAINEN, O.; SAHLSTEIN, J. **Lactose-free milk product and processes for producing the same: Patent nº US 8449938 B2**. Estados Unidos: United States Patent, 2013.

VINHAL, E. F. **Hidrólise da lactose no leite por  $\beta$  -galactosidase de *Kluyveromyces fragilis***. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2001.

XAVIER, L. P. S. **Processamento de Sorvete**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2009.

YEE, K.; WILEY, D. E.; BAOB, J. **Whey protein concentrate production by continuous ultrafiltration: Operability under constant operating conditions**. Journal of Membrane Science, v. 290, 2007. p. 125-137.

**APENDICE A – Tabela do Balanço de Massa da Proposta 1: Ultrafiltração associada a Hidrólise Enzimática**

Tabela 4 - Balanço de Massa do Processo de Ultrafiltração associada a Hidrólise Enzimática

| Etapas do Processo<br>de Remoção de<br>Lactose    | Concentração de Lactose        |                                |                                |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                                                   | Entrada                        | Concentração<br>removida       | Saída                          |
| Etapa 1:<br>Alimentação de<br>Leite Integral      | 45 a 50 g<br>lactose/litro     | 0 g lactose/litro              | 45 a 50 g<br>lactose/litro     |
| Etapa 2: Primeiro<br>Estágio de<br>Ultrafiltração | 45 a 50 g<br>lactose/litro     | 18 a 20 g<br>lactose/litro     | 27 a 30 g<br>lactose/litro     |
| Etapa 3: Segundo<br>Estágio de<br>Ultrafiltração  | 27 a 30 g<br>lactose/litro     | 10,8 a 12 g<br>lactose/litro   | 16,2 a 18 g<br>lactose/litro   |
| Etapa 4: Terceiro<br>Estágio de<br>Ultrafiltração | 16,2 a 18 g<br>lactose/litro   | 6,48 a 7,2 g<br>lactose/litro  | 9,72 a 10,8 g<br>lactose/litro |
| Etapa 5: Processo de<br>Hidrólise Enzimática      | 9,72 a 10,8 g<br>lactose/litro | 9,27 a 10,3 g<br>lactose/litro | 0,45 a 0,5 g<br>lactose/litro  |

**APENDICE B – Tabela do Balanço de Massa da Proposta 2: Ultrafiltração associada a Diafiltração**

Tabela 5 - Balanço de Massa do Processo de Ultrafiltração associada a Diafiltração

| Etapas do Processo<br>de Remoção de<br>Lactose | Concentração de Lactose    |                              |                            |
|------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
|                                                | Entrada                    | Concentração<br>removida     | Saída                      |
| Etapa 1:<br>Alimentação de<br>Leite Integral   | 45 a 50 g<br>lactose/litro | 0 g lactose/litro            | 45 a 50 g<br>lactose/litro |
| Etapa 2: Processo de<br>Ultrafiltração         | 45 a 50 g<br>lactose/litro | 18 a 20 g<br>lactose/litro   | 27 a 30 g<br>lactose/litro |
| Etapa 3: Processo de<br>Diafiltração           | 27 a 30 g<br>lactose/litro | 25,2 a 28 g<br>lactose/litro | 1,8 a 2 g lactose/litro    |