

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANDRÉ MOREIRA INTERAMINENCE RODRIGUES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
PROCESSAMENTO DO SORO DE LEITE EM CONCENTRADOS E
ISOLADOS DE PROTEÍNA

ORIENTADORA: PROF^a DR^a KÁTIA NICOLAU MATSUI

NATAL

2022

ANDRÉ MOREIRA INTERAMINENCE RODRIGUES

PROCESSAMENTO DO SORO DE LEITE EM CONCENTRADOS E
ISOLADOS DE PROTEÍNA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Natal, 12/12/2022

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Rodrigues, Andre Moreira Interaminence.

Processamento do soro de leite em concentrados e isolados de proteína / Andre Moreira Interaminence Rodrigues. - 2022.
57 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Alimentos. Natal, RN, 2022.

Orientadora: Profa. Dra. Kátia Nicolau Matsui.

1. Suplemento Proteico - Whey Protein - Monografia. 2. Microfiltração - Monografia. 3. Ultrafiltração - Monografia. 4. Alto Valor Proteico - Monografia. 5. Praticidade - Monografia. I. Matsui, Kátia Nicolau. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 612.39-021.632

Elaborado por Fernanda de Medeiros Ferreira Aquino - CRB-15/301

RESUMO

Conhecido no passado como um dos resíduos da produção de queijo, a partir da década de 80, o soro do leite foi mostrando potencialidades, tornando-se inclusive matéria-prima de um suplemento de alto valor biológico, o *whey protein*. Esse alimento confere praticidade na alimentação, otimiza a ingestão proteica para os grupos de pessoas com algum tipo de deficiência na deglutição e para os praticantes de treinamento resistido. O *whey protein* se tornou produto de alto valor agregado e de expansão contínua de mercado. Neste contexto, o presente trabalho objetivou descrever a produção de *whey protein* concentrado e isolado entendendo o potencial nutricional e a produção em larga escala desse produto. Para isso, foi feito um estudo avaliando cada etapa do processamento, calculando as correntes de entrada e de saída tanto de massa quanto de energia para as principais etapas do processo, também realizando uma estimativa da análise de custo, tratando em especial das matérias-primas, aquisição e depreciação dos equipamentos. Além disso, foram apresentados um esboço da planta de fabricação e sugestões para o tratamento dos resíduos gerados. Tomando como base esses fatores mencionados, considera-se a viabilidade econômica da produção de *whey protein* em função da demanda do produto para ser compatível com os custos de produção.

Palavras-chave: *whey protein*, microfiltração, ultrafiltração, alto valor proteico, praticidade.

ABSTRACT

Known in the past as one of the residues of cheese production, from the 1980s onwards, whey has shown potential, even becoming the raw material for a high biological value supplement, whey protein. This food provides practicality in food, optimizes protein intake for groups of people with some type of swallowing disability and for resistance training practitioners. Whey protein has become a product with high added value and continuous market expansion. In this context, the present work aimed to describe the production of concentrated and isolated whey protein, understanding the nutritional potential and the large-scale production of this product. For this, a study was carried out evaluating each stage of the processing, calculating the input and output currents of both mass and energy for the main stages of the process, also carrying out an estimate of the cost analysis, dealing in particular with the raw materials, acquisition and depreciation of equipment. In addition, a sketch of the manufacturing plant and suggestions for the treatment of waste generated were presented. Based on these mentioned factors, the economic viability of whey protein production is considered as a function of the demand for the product to be compatible with production costs.

Keywords: whey protein, microfiltration, ultrafiltration, high protein value, practicality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma simplificado da produção de <i>whey protein</i>	16
Figura 2 – Sistema de evaporador de triplo efeito	17
Figura 3 – Equipamento de microfiltração por membranas	18
Figura 4 – Sistema de ultrafiltração tangencial	18
Figura 5 – Sistema Spray Dryer Tetra Pak Bag Filter	19
Figura 6 – Tanque Pulmão para mistura.....	20
Figura 7 – Embalagem Stand Up 1kg.....	21
Figura 8 – Layout Simplificado da empresa de processamento do soro de leite.	22
Figura 9 – Fluxograma de evaporação triplo efeito.....	23
Figura 10 – Fluxograma da microfiltração 1	25
Figura 11 – Fluxograma da ultrafiltração 1	27
Figura 12 – Fluxograma simplificado do tanque misturador.....	28
Figura 13 – Fluxograma simplificado da produção de WPC	29
Figura 14 – Fluxograma simplificado do Spray Dryer.....	31
Figura 15 – Esquema de produção do WPI	32
Figura 16 – Fluxograma da microfiltração 2	32
Figura 17 – Fluxograma da ultrafiltração 3	34
Figura 18 – Esquema simplificado do tanque de mistura 2.....	35
Figura 19 – Fluxograma da ultrafiltração 4	36
Figura 20 - Fluxograma simplificado do Spray Dryer para o WPI	38
Figura 21 – Fluxograma da estação de tratamento de resíduos da produção de <i>whey protein</i>	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição físico-química do soro de leite proveniente do queijo “Tipo Coalho”	11
Tabela 2 – Principais proteínas presentes no soro de leite bovino, percentuais (%) e benefícios	13
Tabela 3 – Composição da matéria-prima do soro de leite e suas frações mássicas e vazões para cada componente	23
Tabela 4 – Resultado das frações e vazões mássicas por componente do soro após a evaporação em primeiro efeito	24
Tabela 5 – Resultado das frações e vazões mássicas por componente do soro após a evaporação em segundo efeito	24
Tabela 6 - Resultado das frações e vazões mássicas por componente do soro após a evaporação em terceiro efeito	25
Tabela 7 – Resultado das frações mássicas e vazões mássicas por componente do soro microfiltrado	26
Tabela 8 – Resultado das frações mássicas e vazões por componente para o processo de ultrafiltração	28
Tabela 9 – Resultados do balanço de massa para o tanque pulmão	29
Tabela 10 – Resultados dos balanços de massa por componente para a ultrafiltração 2	30
Tabela 11 – Resultado do balanço de massa no Spray dryer par ao WPC	31
Tabela 12 – Balanços de massa para a segunda microfiltração do WPI	33
Tabela 13 – Resultado do balanço de massa para o sistema de ultrafiltração para o WPI	35
Tabela 14 – Balanço de massa para o tanque pulmão 2	36
Tabela 15 – Balanços de massa para o sistema de ultrafiltração na linha de produção WPI	37
Tabela 16 – Balanço de massa para o Spray dryer na linha de produção do WPI	38
Tabela 17 – Parâmetros iniciais para o balanço de energia no evaporador	39
Tabela 18 - Resultado do balanço de massa do evaporador	40
Tabela 19 – Elevação do ponto de ebulição para os três efeitos do evaporador	40
Tabela 20 – Variações de temperaturas totais em cada efeito	41

Tabela 21 – Calor específico e entalpia das correntes líquidas	42
Tabela 22 – Entalpia e calor latente das correntes de vapor superaquecido, saturado e líquido saturado	42
Tabela 23 – Valores reais das correntes do evaporador triplo efeito	43
Tabela 24 – Área e calor trocado nos três efeitos	44
Tabela 25 – <i>Custo energético mensal dos aparelhos eletrônicos</i>	46
Tabela 26 – Custos com a folha de pagamento	48
Tabela 27 – Valor investido inicial	49
Tabela 28 – Custo Fixo Mensal	49
Tabela 29 – Comparativo de Lucratividade	49
Tabela 30 – Resíduos gerados por kg/h	51

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1.	Soro de leite.....	11
2.2.	Composição do soro de leite.....	12
2.3.	Benefícios do <i>whey protein</i> e a sarcopenia.....	13
2.4.	Microfiltração.....	14
3.	DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	15
3.1.	Descrição das etapas.....	16
3.1.1.	Recepção do soro de leite.....	16
3.1.2.	Evaporação.....	16
3.1.3.	Microfiltração.....	17
3.1.4.	Ultrafiltração.....	18
3.1.5.	Diafiltração.....	19
3.1.6.	Secagem.....	19
3.1.7.	Misturador.....	20
3.1.8.	Embalagem.....	20
3.1.9.	Estocagem e Expedição.....	21
4.	Layout Simplificado.....	21
5.	BALANÇOS DE MASSA E DE ENERGIA.....	22
5.1.	Balanço de Massa.....	22
5.1.1.	Evaporação.....	23
5.1.2.	Microfiltração.....	25
5.1.3.	Ultrafiltração.....	26
5.1.4.	Tanque Pulmão.....	28
5.1.5.	Produção do <i>Whey Protein</i> Concentrado.....	29
5.1.6.	Produção do <i>Whey Protein</i> Isolado.....	31

5.2.	Balanço de Energia	38
6.	ANÁLISE ECONÔMICA.....	44
6.1.	Aquisição do Terreno.....	45
6.2.	Aquisição dos Equipamentos.....	45
6.3.	Custo da Matéria Prima	46
6.4.	Custos com a Folha de Pagamento	47
6.5.	Resumo dos custos.....	48
7.	TRATAMENTO DE RESÍDUOS.....	50
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, numerosas pesquisas demonstram as qualidades nutricionais e valor biológico das proteínas do soro do leite, conhecidas como *whey protein*. Este produto é um suplemento alimentar de alto valor agregado, que auxilia na manutenção e hipertrofia muscular, além de possuírem capacidades antioxidantes e redução de doenças cardíacas aumentando os níveis de colesterol HDL (colesterol bom).

Nos últimos anos, observou-se uma maior demanda por suplementos tanto para praticantes de musculação, quanto para pessoas necessitadas de um suplemento que forneça macronutrientes de rápida absorção e fácil digestibilidade (SGARBIERI, 2005). Estudos mostram que muitos idosos sofrem de sarcopenia, que é a perda de massa óssea e magra ao longo do envelhecimento, e que os suplementos surgem para auxiliar na nutrição desse público.

De forma análoga, uma das maiores dificuldades para o paciente bariátrico é consumir a quantidade adequada de proteína. Após a cirurgia bariátrica ocorre uma redução na capacidade gástrica e, conseqüentemente, menor ingestão de alimentos. Neste cenário é indicado o *whey protein* para suprir essa necessidade nutricional.

Durante a produção do queijo, ocorre a separação das caseínas e da gordura, formando um resíduo que é o soro do leite (lactossoro), com a evolução tecnológica, este passou a ser utilizado como matéria-prima de outros produtos devido a sua composição e poder nutricional. O *whey protein* é um suplemento alimentar em pó, que consiste em basicamente concentrar as proteínas do soro do leite através de processos filtrantes e evaporadores (STUPPIELLO; BUSTO, 2015). O presente trabalho objetiva descrever a cadeia produtiva do *whey protein* e valorizar os aspectos benéficos desse suplemento, assim como abordar a viabilidade econômica a partir dos parâmetros analisados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa etapa será introduzido o assunto relacionado a definições do soro de leite, assim como sua composição físico-química e nutricional além da motivação deste presente trabalho que é descrever o processo de um resíduo industrial e valorizar os benefícios do consumo. E também aprofundar no que diz respeito da microfiltração e as abordagens literárias.

2.1. Soro de leite.

O soro de leite, é um líquido residual da indústria de laticínios obtido a partir da coagulação do leite, destinado à fabricação de queijos e caseína (BRASIL, 1996). Representa a porção aquosa do leite de onde são extraídas as proteínas do soro (ANDRADE; MARTINS, 2002; EGITO et al., 2007).

O soro representa cerca de 90% do volume total de leite que entra no processo de fabricação do queijo, variando conforme o tipo de queijo processado, e contém cerca de 50% m/m dos nutrientes do leite (ALMEIDA et al., 2001), tais como proteínas, lactose, minerais e vitaminas (ANDRADE; MARTINS, 2002; MAGANHA, 2006). A composição básica de um soro de leite obtido na produção de queijo “tipo coalho” é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição físico-química do soro de leite proveniente do queijo “Tipo Coalho”

Componentes Físico-Químicos	Resultado Médio (Desvio Padrão)
pH	6,34 ± 0,54
Acidez em graus Dornic (°D)	11,00 ± 1,16
Gordura (%)	0,33 ± 0,06
Lactose (%)	4,25 ± 0,05
Extrato seco total (%)	6,43 ± 0,08
Sais minerais (%)	0,60 ± 0,01
Proteína (%)	1,25 ± 0,06
Extrato seco desengordurado (%)	6,10 ± 0,11
Umidade (%)	93,57 ± 0,08

Fonte: Barbosa et al. (2010).

O soro de leite é considerado um efluente residual e, por seu alto teor de matéria orgânica faz com que as bactérias e microrganismos presentes na água utilizem uma alta quantidade de oxigênio dissolvido para a degradação dessa matéria. Segundo a legislação ambiental, art. 54, § 2º, inciso V, da Lei n. 9.605/98, é crime causar poluição por lançamento de resíduos, em níveis que possam resultar danos à saúde humana e provocar mortandade de animais ou a destruição significativa da flora.

Existem, portanto, duas alternativas. A primeira é o descarte, realizando um tratamento de efluentes nas queijarias. A segunda, é a utilização deste soro como matéria-prima para outros produtos, aproveitando sua fonte de nutrientes. Sendo assim, tem-se a opção de produzir biscoitos, sorvetes e sobremesas geladas, ricota, bebidas lácteas fermentadas também, como foco deste trabalho, os concentrados de proteína de soro de leite (CPS) ou WPC (*Whey Protein Concentrates*) e isolados de proteína de soro de leite (IPS) ou WPI (*Whey Protein Isolate*).

Devido ao aumento dos preços dos alimentos e conseqüentemente a redução no consumo de leite e seus derivados, as indústrias de laticínios criaram novos produtos a partir do soro de leite que são semelhantes ao leite e leite condensado, como bebida láctea e mistura láctea condensada de leite respectivamente. Este fato ocasionou um engano entre os consumidores que foram atraídos pelo baixo preço e induzidos ao erro devido as embalagens serem semelhantes aos produtos que levam leite em sua composição (PAIVA, 2022).

2.2. Composição do soro de leite

A composição do soro varia de maneira substancial, dependendo do tipo de queijo produzido, dos processos tecnológicos empregados e do tipo de leite utilizado na produção de queijo. A maior parte da água contida no leite faz parte do soro, onde se encontra compostos como a lactose, proteínas solúveis, sais minerais e gordura, sendo que 70% dos sólidos totais deste soro são constituídos por lactose e 20% pelas proteínas do soro (RÉVILLION et al., 2000; OLIVEIRA, 2009; ZIEGLER & SGARBIERI, 2009).

As proteínas solúveis do soro possuem peptídeos bioativos contendo alto teor de aminoácidos essenciais, especialmente os de cadeia ramificada, tais como leucina, isoleucina e valina, que estão relacionados com fatores de crescimento, reconstrução e reparação muscular (HARAGUCHI et al., 2006; RENHE, 2008; SOUSA et al., 2012).

A composição média de aminoácidos presentes no soro de leite (mg aa/g proteína) é: triptofano (1,3), cisteína (1,7), glicina (1,7), histidina (1,7), arginina (2,4), fenilalanina (3,0), metionina (3,1), glutamina (3,4), tirosina (3,4), asparagina (3,8), serina (3,9), prolina (4,2), treonina (4,6), isoleucina (4,7), valina (4,7), alanina (4,9), lisina (9,5), ácido aspártico (10,7), leucina (11,8) e ácido glutâmico (15,4) (HARAGUCHI et al., 2006). Na Tabela 2 estão apresentadas as principais proteínas presentes no soro de leite bovino, seus percentuais e benefícios.

Tabela 2 – Principais proteínas presentes no soro de leite bovino, percentuais (%) e benefícios

Componentes do soro de leite	% (m/m) de proteína do soro de leite	Benefícios
β – lactoglobulina	50-55	Fonte de aminoácidos indispensáveis
α – lactalbumina	20-25	Fonte de aminoácidos de cadeia ramificada
Soroalbumina (BSA)	5-10	Fonte de aminoácidos indispensáveis
Imunoglobulina	10-15	Imunomoduladoras
Lactoferrina	1-2	Antioxidante, antibacteriana, antiviral, antifúngica
Lactoperoxidase	0,5	Antibacteriana

Fonte: Marshall (2004).

Os produtos comerciais de proteína de soro de leite variam de 35% a 97% de composição proteica. Níveis entre 35 e 90% referem-se como os concentrados de proteína de soro de leite e níveis maiores que 90% são os isolados de proteína de soro de leite (IPS) (HONG; KROCHTA, 2006).

2.3. Benefícios do *whey protein* e a sarcopenia

A literatura relata que é cada vez mais comum o uso de suplementos proteicos associados com a atividade física como forma de atingir de maneira mais conveniente a quantidade de proteínas diárias recomendada para aumento de massa muscular (GODOI et. al. 2009).

Estudos demonstram que existem efeitos benéficos no que diz respeito ao uso do *whey protein* sobre o sistema imune e sobre o processo de redução da gordura corporal, além de amenizar a fadiga muscular (GODOI et. al. 2009 APUD SGARBIERI, 2009; HARAGUCHI; ABREU; DE PAULA 2006).

O envelhecimento é um período marcado por alterações fisiológicas como o declínio do tecido muscular, que quando acompanhado de outras disfunções, tais como, perda na forma muscular ou desempenho físico, é denominado sarcopenia. Os idosos também podem se beneficiar da suplementação de *whey protein*, a fim de prevenir ou tratar a sarcopenia (SILVA et al., 2006; BATSIS et al., 2013).

Em razão da redução alimentar observada largamente nos idosos, por diversos fatores, é de grande importância a suplementação de proteínas, para que as necessidades proteicas do idoso sejam atingidas. Partindo deste pressuposto, o *whey protein* torna-se opção de fonte proteica de excelente composição nutricional – elevada concentração de aminoácidos essenciais – e rápida digestibilidade. O estímulo à síntese proteica muscular é observado inclusive em indivíduos sedentários, porém, sua capacidade anabólica pode ser significativamente elevada se combinada ao exercício resistido (treinamento de força).

2.4. Microfiltração

A microfiltração ocorre utilizando membranas com cerca de 1 μm , cuja finalidade é remover o excesso de gordura, bactérias e esporos (BOSCHI, 2006). A tecnologia de microfiltração (MF) ocorre de forma não térmica e estende a vida útil do produto significativamente. A utilização da MF com membranas de poro de pelo menos 1,4 μm permite a redução do número de microrganismos totais e uma remoção completa de células somáticas do soro de leite (SABOYA & MAUBOIS, 2000; TE GIFFEL & VAN DER HORST, 2004). Essa tecnologia isolada promove a redução entre 4 a 5 ciclos logarítmicos na contagem total de microrganismos (GOFF e GRIFFITHS, 2006).

O processo de microfiltração também é eficiente na remoção de esporos. Sendo relatado uma redução de 5 ciclos logarítmicos por mL de *B. cereus* e *Clostridium* sp de leite desnatado com membrana cerâmica com poro de 1 μm (GUERRA et al., 1997). Por outro lado, este tipo de processamento pode induzir a germinação dos esporos devido à temperatura utilizada (35-50°C) ou por danos causados na estrutura dos esporos (TOMASULA et al., 2011).

Com o intuito de prevenir a germinação de esporos termofílicos durante o processo de microfiltração, FRISTICH e MORARU, (2008) foi definido os parâmetros para realização de microfiltração a frio (6°C). Nessa condição de temperatura, a remoção de células vegetativas bacterianas, esporos e células somáticas é eficaz, mantendo ao mesmo tempo uma composição proteica inicial próxima da inicial.

A remoção de esporos e células somáticas é particularmente importante porque eles não são destruídos pela pasteurização (FRISTICH e MORARU, 2008). Além disso, os esporos podem germinar no produto, o que torna vantajoso o processamento por microfiltração para aumento de vida útil do produto por consequência da remoção dos esporos e células somáticas (ELWELL e BARBANO, 2006).

No processamento do soro de leite em concentrado de proteína, será utilizado a membrana com diâmetro de poro de 1 μm pois, em diâmetros maiores, a caseína não é filtrada (TOMASULA et al., 2011). Este diâmetro de membrana se torna interessante por agir ativamente na remoção de microrganismos e de nutrientes indesejados no *whey protein*.

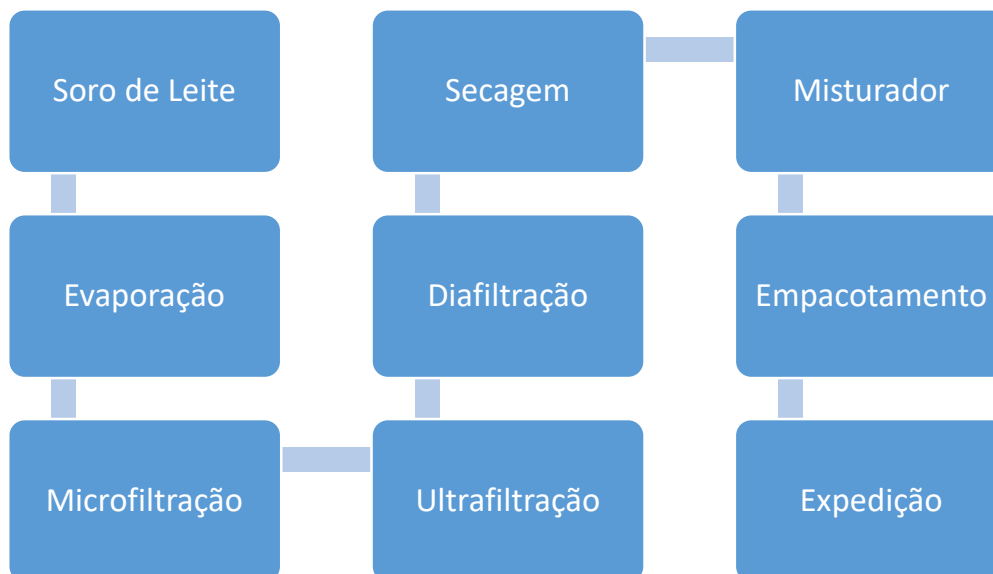
Os sistemas de micro e ultrafiltração podem ser de dois tipos quando se levam em conta a direção e o fluxo de fluido. No primeiro tipo é o sistema *dead end*, onde o fluido passa pela membrana em uma única direção, podendo ocorrer entupimentos frequentes. O segundo sistema é o *cross flow* ou sistema tangencial, onde o produto passa pela membrana em duas direções: uma que flui paralela à membrana arrastando os sólidos retidos, e a outra, que passa através dela. Nesse caso, o fluxo paralelo age como um limpador ajudando a remover partículas que poderiam entupir os poros da membrana (FAGNANI, 2016).

3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O soro de leite pode ser obtido em laboratório ou em indústrias de processamento de leite por meio de três operações: pela coagulação enzimática, resultando na coagulação das caseínas, que é matéria-prima na produção de queijos; pode ser obtido também pela precipitação ácida no pH (4,6) isoeletrico das caseínas, resultando no soro ácido e caseína isoeletrica; e por último, por meio da separação física das micelas de caseína por microfiltração em membranas, obtendo-se um concentrado de micelas e as proteínas do soro (Maubois et al., 2001; Zinsly et al., 2001).

A concentração do soro requer um processo industrial com determinado grau de complexidade, o que demanda um investimento considerável. Assim, é necessário que haja um volume mínimo de matéria-prima que justifique o investimento. O processamento segue, adaptado, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma simplificado da produção de *whey protein*



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

3.1. Descrição das etapas

3.1.1. Recepção do soro de leite

Grande parte do soro de leite gerado no Brasil tem origem nas operações de pequenas e médias queijarias, nas quais se torna difícil o investimento em tecnologia para processar este coproduto. O ideal é a instalação de unidades centrais de processamento de soro de leite que recebam o soro produzido por essas queijarias regionais.

O soro de leite deve ser recebido em condições de conservação previstas em legislação, em temperatura máxima de 4°C e submetidos à inspeção técnica em laboratório para verificar se o lote apresenta características indesejáveis que podem prejudicar a qualidade do produto final.

No laboratório são realizadas as análises físico-químicas de pH, temperatura e sólidos totais, medindo assim a composição do soro de leite sendo aproximadamente composto por 70% de lactose, 20% proteínas e o restante dos sólidos totais em sais minerais e traços de gordura do leite (é nessa etapa que é verificado se o soro está dentro dos padrões).

3.1.2. Evaporação

O soro será submetido a um processo de evaporação em triplo efeito, representado na figura 2, sendo uma forma de aumentar a economia de um sistema de evaporação, com

objetivo de se concentrar o soro e reduzir a sua atividade de água (a_w) em 50%, o que diminui significativamente a atividade de microrganismos e retarda a sua deterioração. Os evaporadores de múltiplos efeitos são dispostos em série de modo que o vapor de um evaporador é usado como fonte de calor para o próximo que está operando sob uma pressão e temperatura mais baixas (PRAKASHAN, 2008). O tempo de evaporação varia de acordo com a relação entre água e os componentes sólidos presentes no soro de leite. Porém a temperatura de evaporação não pode ter muita variação para não degradar os componentes sólidos (BOSCHI, 2006).

Figura 2 – Sistema de evaporador de triplo efeito



Fonte: Tropical Food Machinery.

3.1.3. Microfiltração

O processo de microfiltração consiste em um sistema de membranas de cerâmicas com dois filtros, representado na figura 3, cuja finalidade é remover o grande excesso de glóbulos de gordura, bactérias e esporos (BOSCHI, 2006). A fração retida na microfiltração é denominada retentado enquanto o que ultrapassou é denominado permeado, que segue para a etapa de ultrafiltração.

Figura 3 – Equipamento de microfiltração por membranas



Fonte: REDASPA (Food Processing Plants).

3.1.4. Ultrafiltração

O permeado será direcionado para ultrafiltração por mecanismo de fluxo tangencial, representado na figura 4, que tem poros de membrana com 0,01 micrômetros de diâmetro, na qual será feita a separação e concentração das proteínas do soro de leite. Nessa etapa a maior parte da lactose, sais minerais e resíduos são permeados, e a partir disso, a proteína concentrada do soro de leite se divide em duas correntes de produção, a WPI e WPC.

Figura 4 – Sistema de ultrafiltração tangencial



Fonte: WGM, 2018.

3.1.5. Diafiltração

Para o WPI, deve-se realizar a diafiltração para remover significativamente a lactose, com objetivo de concentrar ainda mais a proteína do leite. A diafiltração consiste na adição de água ao retentado da ultrafiltração e refeito a operação de ultrafiltração, essa diluição em água concede a solução de proteína isolada do soro de leite a concentração de cerca de 90%.

3.1.6. Secagem

Os concentrados proteicos são secos por meio de *spray drying*, no qual as partículas entrarão numa espécie de soro cremoso e sairão na forma final, secas e em pó. O *Spray Dryer*, como mostra a figura 5, utiliza a secagem por atomização para remover grandes quantidades de água das soluções de concentrados e isolados. Primeiramente o WPI é processado no *Spray Dryer* para evitar contaminações principalmente de lactose e gorduras no produto mais concentrado e após todo seu processamento, o equipamento estará disponível para a secagem do WPC. As soluções de WPI e WPC serão transformadas em pó, reduzindo drasticamente a atividade de água (aw) e aumentando a vida útil dos produtos (cerca de 6 a 12 meses), além de facilitar o armazenamento e transporte e agregando valor ao produto final (RAMOS et al., 2016).

Figura 5 – Sistema Spray Dryer Tetra Pak Bag Filter



Fonte: Tetra Pak.

3.1.7. Misturador

De forma separada, os concentrados proteicos sólidos serão adicionados à formulação, por meio de um tanque pulmão, serão adicionadas substâncias adoçantes, emulsificantes e aromatizantes, para conferir sabor e melhorar suas características sensoriais e de dissolução em líquidos no consumo. O equipamento utilizado é mostrado na figura 6.

Figura 6 – Tanque Pulmão para mistura



Fonte: STK Makina.

3.1.8. Embalagem

O produto em pó é embalado em embalagens plastificadas *stand up*, exemplificadas na figura 7, de 1kg, com barreiras internas metalizadas para preservar o produto e contando com tecnologias facilitadoras como o *easy open*, suporte para mão e zíper resselável. Com espaço anterior para as informações sobre o conteúdo e detalhando os aminoácidos e outras informações necessárias de acordo com a legislação de rotulagem.

Figura 7 – Embalagem Stand Up 1kg



Fonte: Lillyplas.

3.1.9. Estocagem e Expedição

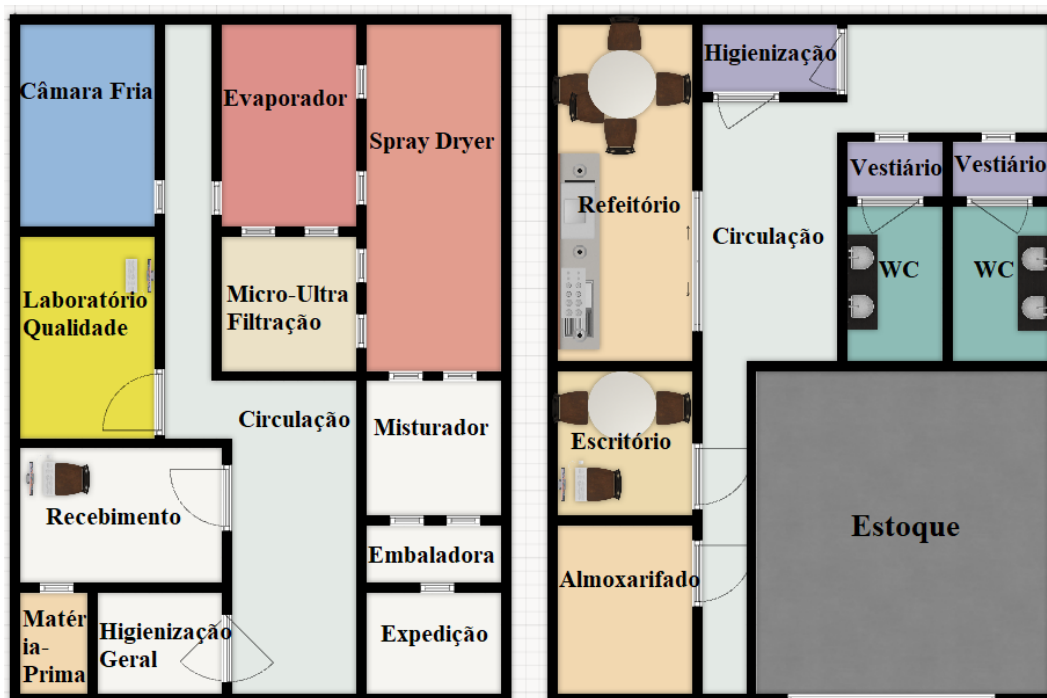
Os sacos contendo os concentrados e isolados de proteína do soro de leite são guardados em embalagem secundária de papelão e armazenados em temperatura ambiente e sem exposição ao sol. Deve ser feito um controle de estoque para evitar excesso de produtos em estoque ou a falta, podendo ser utilizados ferramentas de controle de estoque para auxiliar, como o PEPS (Primeiro que entra, primeiro que sai) e também a curva ABC, que considera fatores como giro, faturamento e lucratividade dos produtos.

Devido à baixa atividade de água, o produto pode ser transportado sem refrigeração, tomando os cuidados para não danificar ou violar as embalagens.

4. LAYOUT SIMPLIFICADO DA EMPRESA DE PROCESSAMENTO DO SORO DE LEITE

Na figura 8 está apresentado o Layout simplificado da empresa de processamento do soro de leite em concentrados e isolados de proteína de soro de leite. O objetivo do layout é fornecer informações aproximadas de como se pode dispor uma linha de produção para o *whey protein*. Neste caso, a planta é separada em dois galpões, o primeiro com a linha de produção em sequência lógica das etapas para evitar cruzamento de equipamentos e possíveis contaminações cruzadas e disposto ambientes quentes evitando o contato direto com a câmara fria. Enquanto que o segundo galpão cumpre o papel administrativo, pessoal e de estoque da fábrica, dispondo de refeitórios, vestiários e banheiros, escritórios, estoques e matérias primas.

Figura 8 – Layout Simplificado da empresa de processamento do soro de leite



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

5. BALANÇOS DE MASSA E DE ENERGIA

5.1. Balanço de Massa

Para os cálculos do balanço de massa, deve ser respeitada a lei da conservação da massa (TADINI et al, 2016), levando em consideração os seguintes termos:

$$Entrada - Saída + Geração - Consumo = Acúmulo$$

Porém, devido as características inerentes ao processo, não há nem geração nem consumo de matéria, assim, esses termos devem ser desconsiderados. Além disso, também não há acúmulo, uma vez que toda a matéria que está entrando também está saindo (TADINI et al, 2016). Assim, o balanço fica:

$$Entrada = Saída$$

Para descrever os principais componentes do soro e realizar os balanços corretamente utilizou-se a composição do soro de leite sugerida por ORDÓÑEZ (2005), com as respectivas frações mássicas e apresentadas na Tabela 3. Além disso, usando a densidade do soro de leite de 1,085 kg/L determinada por DESCONSI, IZÁRIO e SALAZAR (2014), e partindo de uma base de cálculo de vazão volumétrica igual a 10.000 L/h de soro, resultou-se em uma vazão mássica de 10.850 kg/h.

Tabela 3 – Composição da matéria-prima do soro de leite e suas frações mássicas e vazões para cada componente

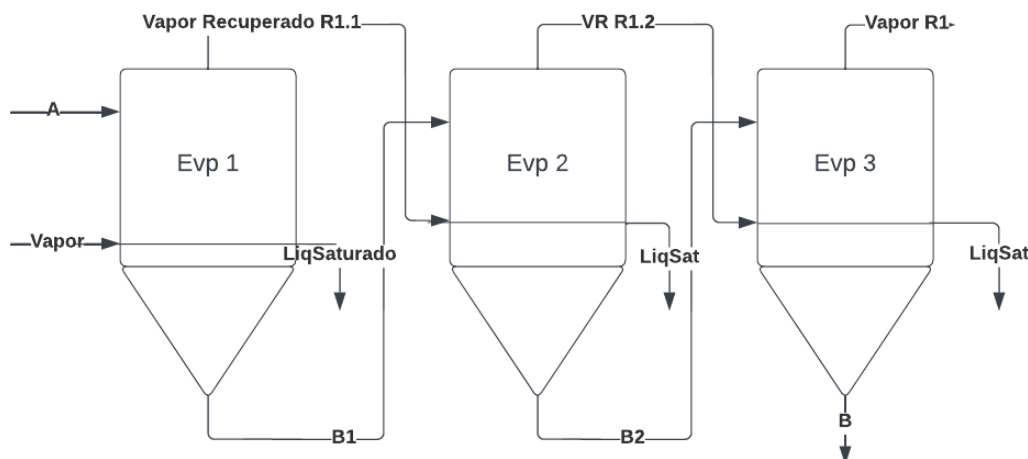
Componentes	Fração Mássica (x_i)	Vazões mássicas (kg/h)
Soma total	1	10.850,00
Água (a)	0,93	10.090,50
Gordura (g)	0,002	21,7
Proteína (p)	0,008	86,8
Lactose (l)	0,049	531,65
Cinzas (c)	0,011	119,35

Fonte: Adaptado de ORDÓÑEZ et al., 2005.

5.1.1. Evaporação

Saindo do tanque de homogeneização, o soro segue para a operação unitária de evaporação que é o primeiro processo onde o soro é submetido a uma transformação, no qual, a quantidade de água removida é suficiente para que na corrente de saída (corrente B) apresente uma concentração de 50% de sólidos e 50% de água, concentrando o soro sem retirar nenhuma quantidade de sólidos totais (MINKS, 2012). A esquematização desse equipamento pode ser observada na Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma de evaporação triplo efeito



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

A equação (1) representa o balanço de massa global para o evaporador, e os balanços de massa para cada componente (x_i) são representados pelas equações de (2) a (7)

$$\text{Global: } A = B + R1 \quad (1)$$

Componentes:

$$\text{Água: } x_a A = x_a B + x_a R1 \quad (2)$$

$$\text{Proteína: } x_p A = x_p B + x_p R1 \quad (3)$$

$$\text{Gordura: } x_g A = x_g B + x_g R1 \quad (4)$$

$$\text{Lactose: } x_l A = x_l B + x_l R1 \quad (5)$$

$$\text{Cinzas: } x_c A = x_c B + x_c R1 \quad (6)$$

$$\text{Sólidos totais: } x_s A = x_s B + x_s R1 \quad (7)$$

Os resultados obtidos para o balanço de massa para o evaporador de triplo efeito estão apresentados na Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6 respectivamente para cada efeito, em que B é o soro concentrado e a corrente R1.1, R1.2 e R1 é a água evaporada no processo.

Tabela 4 – Resultado das frações e vazões mássicas por componente do soro após a evaporação em primeiro efeito

Corrente	A		B1		R1.1	
	x	F (Kg/h)	x	F (Kg/h)	x	F (Kg/h)
Água	0,930	10090,50	0,877	5425,00	1	4665,5
Gordura	0,002	21,70	0,003	21,50	0	0
Proteína	0,008	86,80	0,014	86,75	0	0
Lactose	0,049	531,65	0,086	531,65	0	0
Cinzas	0,011	119,35	0,019	120,00	0	0
Total	1	10850	1	6184,90	1	4665,5

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022)

Tabela 5 – Resultado das frações e vazões mássicas por componente do soro após a evaporação em segundo efeito

Corrente	B1		B2		R1.2	
	x	F (Kg/h)	x	F (Kg/h)	x	F (Kg/h)
Água	0,877	5425,00	0,741	2170,00	1	3255
Gordura	0,003	21,50	0,007	21,40	0	0
Proteína	0,014	86,75	0,030	86,63	0	0
Lactose	0,086	531,65	0,181	531,65	0	0
Cinzas	0,019	120,00	0,041	120,00	0	0
Total	1	6184,9	1	2929,68	1	3255

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022)

Tabela 6 - Resultado das frações e vazões mássicas por componente do soro após a evaporação em terceiro efeito

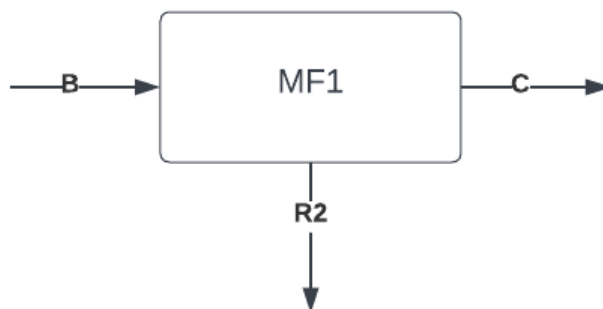
Corrente	B2		B		R1	
	x	F (Kg/h)	x	F (Kg/h)	x	F (Kg/h)
Água	0,741	2170,00	0,50	759,50	1	1410,50
Gordura	0,007	21,40	0,014	21,27	0	0
Proteína	0,030	86,63	0,057	86,58	0	0
Lactose	0,181	531,65	0,350	531,65	0	0
Cinzas	0,041	120,00	0,079	120,00	0	0
Total	1	2929,68	1	1519,00	1	1410,5

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022)

5.1.2. Microfiltração

Nessa etapa ocorre a passagem do soro de leite concentrado do evaporador para o processo de microfiltração, com o objetivo de concentrar ainda mais o soro e realizar a remoção de gorduras e microrganismos (BALDASSO et al., 2011). Na microfiltração, a corrente de alimentação B é dividida em duas correntes de saída, a primeira corrente R2 representa as gorduras e microrganismos e a segunda corrente C o produto de interesse constituído de proteínas, lactose e outros compostos do soro. A esquematização desse processo pode ser observada na Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma da microfiltração 1



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Na tabela 7, estão as concentrações das correntes de entrada e saída da microfiltração. Os balanços de massa global e por componentes estão dispostos nas equações (8) a (14).

$$\text{Global: } B = C + R2 \quad (8)$$

Componentes:

$$\text{Água: } x_a B = x_a C + x_a R2 \quad (9)$$

$$\text{Proteína: } x_p B = x_p C + x_p R2 \quad (10)$$

$$\text{Gordura: } x_g B = x_g C + x_g R2 \quad (11)$$

$$\text{Lactose: } x_l B = x_l C + x_l R2 \quad (12)$$

$$\text{Cinzas: } x_c B = x_c C + x_c R2 \quad (13)$$

$$\text{Sólidos totais: } x_s B = x_s C + x_s R2 \quad (14)$$

Para a etapa de microfiltração, a quantidade de gordura retida pela membrana é de aproximadamente 85%, destinada para a corrente R2, enquanto a corrente C segue para a próxima etapa. (OLIVEIRA et al., 2018), como apresentado na Tabela 7.

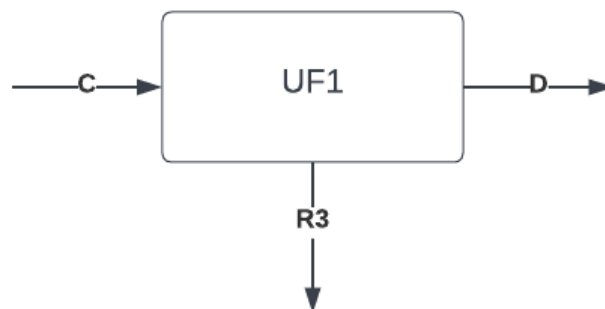
Tabela 7 – Resultado das frações mássicas e vazões mássicas por componente do soro microfiltrado

Corrente	B		C		R ₂	
	x	(kg/h)	x	(kg/h)	x	(kg/h)
Água	0,500	759,50	0,500	759,50	0	0,00
Gordura	0,014	21,27	0,002	3,19	1	18,08
Proteína	0,057	86,58	0,060	86,58	0	0
Lactose	0,350	531,65	0,368	531,65	0	0
Cinzas	0,079	120,00	0,083	120,00	0	0
Total	1	1519,00	1	1500,92	1,00	18,08

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

5.1.3. Ultrafiltração

Na etapa de ultrafiltração ocorre a remoção de parte da lactose e cinzas, na membrana desta etapa, os poros são maiores que o tamanho das moléculas de lactose, cinzas e água, permitindo a passagem pelo permeado em corrente R3, enquanto a maior parte das proteínas são retidas em corrente D (retentado) (ORDÓÑEZ et al., 2005). Segue fluxograma da ultrafiltração na figura 11.

Figura 11 – Fluxograma da ultrafiltração 1

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

O balanço de massa global e dos componentes estão representados pelas equações (15) a (21).

$$\text{Global: } C = D + R3 \quad (15)$$

Componentes:

$$\text{Água: } x_a C = x_a D + x_a R3 \quad (16)$$

$$\text{Proteína: } x_p C = x_p D + x_p R3 \quad (17)$$

$$\text{Gordura: } x_g C = x_g D + x_g R3 \quad (18)$$

$$\text{Lactose: } x_l C = x_l D + x_l R3 \quad (19)$$

$$\text{Cinzas: } x_c C = x_c D + x_c R3 \quad (20)$$

$$\text{Sólidos totais: } x_s C = x_s D + x_s R3 \quad (21)$$

Observa-se pela Tabela 8 que este processo retira 90% de lactose, 90% das cinzas, 83% de água e também, 15% de proteína. A corrente do retentado (D) será direcionada a um tanque pulmão para diluição em água, para que a eficiência das membranas subsequentes seja melhorada.

Tabela 8 – Resultado das frações mássicas e vazões por componente para o processo de ultrafiltração

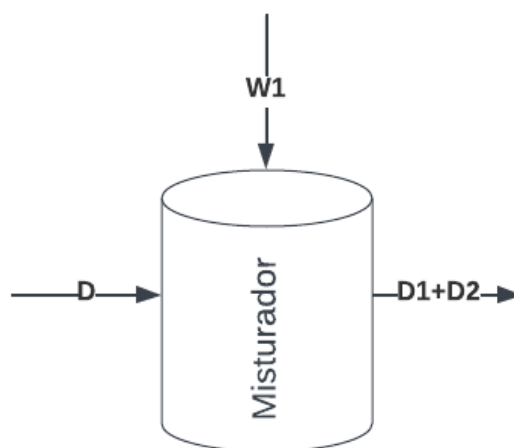
Corrente	C		D		R ₃	
	x	(kg/h)	x	(kg/h)	x	(kg/h)
Água	0,500	759,50	0,476	129,12	0,513	630,39
Gordura	0,002	3,19	0,012	3,19	0,000	0
Proteína	0,060	86,58	0,272	73,60	0,011	12,99
Lactose	0,368	531,65	0,196	53,17	0,389	478,49
Cinzas	0,083	120,00	0,044	12,00	0,088	108,00
Total	1	1500,92	1	271,07	1	1229,86

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

5.1.4. Tanque Pulmão

O tanque pulmão tem a função de misturar a corrente D com uma nova corrente de água (W_1), como mostra o fluxograma na figura 12, de massa igual a corrente de resíduo anterior, isto é, R₃. Após essa etapa, a corrente D será dividida em duas linhas de produção D₁ e D₂, sendo a primeira destinado a produção de *Whey Protein* Concentrado representando 70% da vazão mássica e a segunda linha será a de *Whey Protein* Isolado em 30% da vazão do tanque pulmão.

Figura 12 – Fluxograma simplificado do tanque misturador



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

A equação do balanço de massa global e por componente estão representadas pelas equações (22) a (25).

$$\text{Global: } D + W1 = D1 + D2 \quad (22)$$

Componentes:

$$D1 = (D + W1) * 0,7 \quad (23)$$

$$D2 = (D + W1) * 0,3 \quad (24)$$

$$W1 = R3 \quad (25)$$

Apesar das quantidades de massa diferentes terem sido destinadas para D1 e D2, a fração mássica permaneceu a mesma (Tabela 9), pois as correntes apenas se dividiram em duas linhas de produção.

Tabela 9 – Resultados do balanço de massa para o tanque pulmão

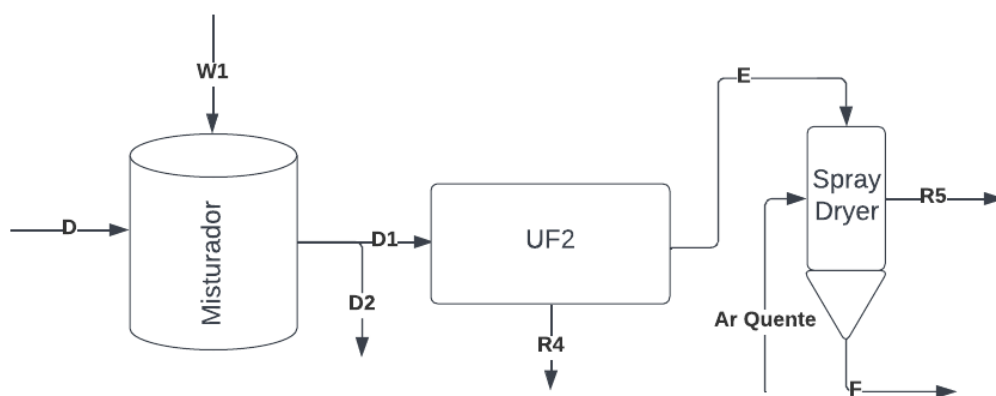
Corrente	D		W1		D1		D2	
	x	(kg/h)	x	(kg/h)	x	(kg/h)	x	(kg/h)
Água	0,476	129,12	1	1229,86	0,905	951,28	0,905	407,69
Gordura	0,012	3,19	0	0	0,002	2,23	0,002	0,96
Proteína	0,272	73,60	0	0	0,049	51,52	0,049	22,08
Lactose	0,196	53,17	0	0	0,035	37,22	0,035	15,95
Cinzas	0,044	12,00	0	0	0,008	8,40	0,008	3,60
Total	1	271,07	1	1229,86	1	1050,65	1	450,28

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

5.1.5. Produção do *Whey Protein Concentrado*

Esta etapa é semelhante a primeira ultrafiltração, e tem como objetivo retirar moléculas de lactose e cinzas que permaneceram na corrente D. O fluxograma simplificado para o WPC encontra-se representado pela Figura 13.

Figura 13 – Fluxograma simplificado da produção de WPC



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

A fração mássica de sólidos após a ultrafiltração 2 (corrente E), deve ser próxima de 0,55 (ORDÓÑEZ et al., 2005). O balanço de massa para o sistema de ultrafiltração 2 está representado pelas equações (26) a (32)

$$\text{Global: } D1 = E + R4 \quad (26)$$

Componentes:

$$\text{Água: } x_a D1 = x_a E + x_a R4 \quad (27)$$

$$\text{Proteína: } x_p D1 = x_p E + x_p R4 \quad (28)$$

$$\text{Gordura: } x_g D1 = x_g E + x_g R4 \quad (29)$$

$$\text{Lactose: } x_l D1 = x_l E + x_l R4 \quad (30)$$

$$\text{Cinzas: } x_c D1 = x_c E + x_c R4 \quad (31)$$

$$\text{Sólidos totais: } x_s D1 = x_s E + x_s R4 \quad (32)$$

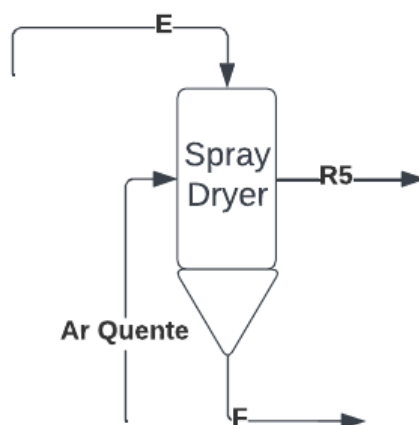
A partir da Tabela 10 é observado que a membrana retira 95% da água, 80% da lactose, 80% das cinzas e, também, 15% das proteínas. O concentrado segue para o secador do tipo *spray dryer* ou atomizador (OLIVEIRA et al 2018).

Tabela 10 – Resultados dos balanços de massa por componente para a ultrafiltração 2

Corrente	D1		E		R4	
	x	(kg/h)	x	(kg/h)	x	(kg/h)
Água	0,905	951,28	0,463	47,56	0,953	903,72
Gordura	0,002	2,23	0,022	2,23	0,000	0,00
Proteína	0,049	51,52	0,426	43,79	0,008	7,73
Lactose	0,035	37,22	0,072	7,44	0,031	29,77
Cinzas	0,008	8,40	0,016	1,68	0,007	6,72
Total	1	1050,65	1,000	102,71	1	947,94

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

O *Spray dryer* é responsável pela transformação do concentrado de proteínas em pó. O atomizador é alimentado pela corrente E, como mostra a figura 14, e essa corrente deve conter uma quantidade de sólidos igual ou superior a 50% em massa para que o processo seja mais eficiente (MINKS, 2012). Além disso, a corrente de saída do produto (corrente F) deve conter 0,3% de água em massa, além de entre 35% a 80% de proteína (ÇELIK, 2015).

Figura 14 – Fluxograma simplificado do Spray Dryer

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Após a secagem em *Spray dryer* a quantidade de água do produto final é baixa, como observado na tabela 11 a seguir, aproximadamente 0,03% em massa e aproximadamente 79,2% em proteínas. O produto final em pó é misturado com os insumos para conferir sabor, aroma e melhorar a dissolução em líquido e, por fim, embalado e estocado.

Tabela 11 – Resultado do balanço de massa no *Spray dryer* par ao WPC

Corrente	E		F		R ₅	
	x	(kg/h)	x	(kg/h)	x	(kg/h)
Água	0,463	47,56	0,003	0,14	1	51,20
Gordura	0,022	2,23	0,040	2,23	0	0
Proteína	0,426	43,79	0,792	43,79	0	0
Lactose	0,072	7,44	0,135	7,44	0	0
Cinzas	0,016	1,68	0,030	1,68	0	0
Total	1	102,71	1	51,50	1	51,20

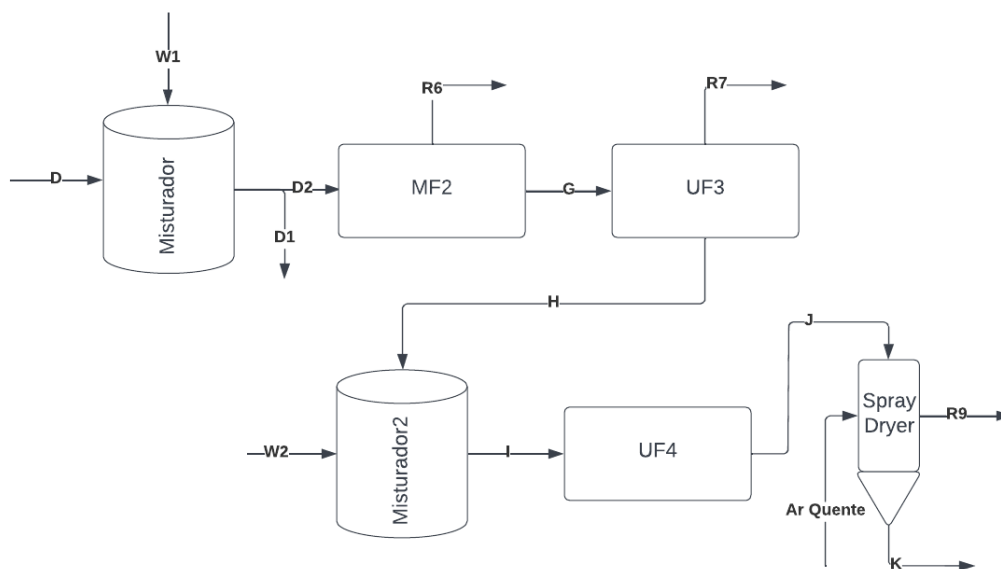
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

5.1.6. Produção do *Whey Protein* Isolado

O *Whey Protein* Isolado deve ter maior concentração de proteínas e menor teor de gordura e lactose do que o *Whey Protein* Concentrado. Para que isso ocorra, é necessário mais uma etapa de microfiltração e duas etapas de ultrafiltração.

Para o balanço de massa do WPI, será considerado a corrente D_2 do tanque pulmão, que tem 30% da vazão mássica do tanque. Segue na Figura 15 o esquema simplificado da produção da proteína isolada.

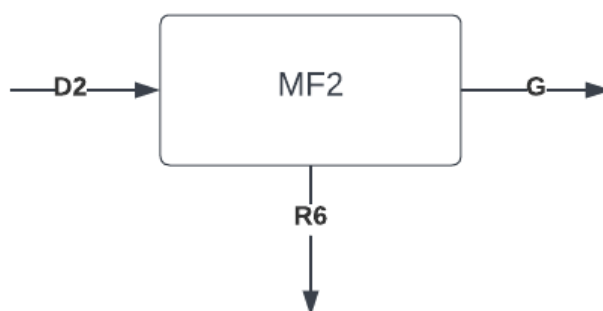
Figura 15 – Esquema de produção do WPI



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Na segunda microfiltração, o objetivo é retirar a gordura residual, uma vez que o produto WPI possui uma porcentagem menor deste componente. Segue o fluxograma da segunda microfiltração na Figura 16.

Figura 16 – Fluxograma da microfiltração 2



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

O balanço de massa global e por componente para esta etapa estão representados pelas equações (33) a (39)

$$\text{Global: } D_2 = G + R_6 \quad (33)$$

Componentes:

$$\text{Água: } x_a D_2 = x_a G + x_a R_6 \quad (34)$$

$$\text{Proteína: } x_p D_2 = x_p G + x_p R_6 \quad (35)$$

$$\text{Gordura: } x_g D_2 = x_g G + x_g R_6 \quad (36)$$

$$\text{Lactose: } x_l D_2 = x_l G + x_l R_6 \quad (37)$$

$$\text{Cinzas: } x_c D_2 = x_c G + x_c R_6 \quad (38)$$

$$\text{Sólidos totais: } x_s D_2 = x_s G + x_s R_6 \quad (39)$$

Os resultados para o balanço de massa estão apresentados na Tabela 12 a seguir.

Tabela 12 – Balanços de massa para a segunda microfiltração do WPI

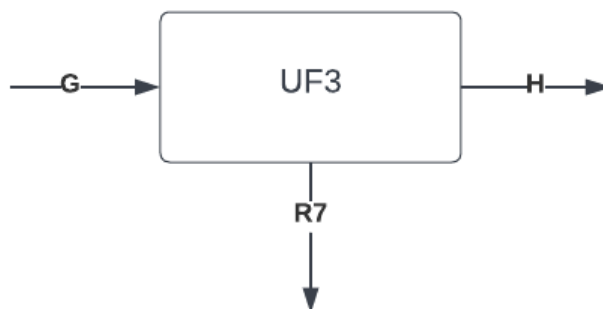
Corrente	D ₂		G		R ₆	
	x	(kg/h)	x	(kg/h)	x	(kg/h)
Água	0,905	407,69	0,907	407,69	0	0
Gordura	0,002	0,96	0,000	0,14	1	0,81
Proteína	0,049	22,08	0,049	22,08	0	0
Lactose	0,035	15,95	0,035	15,95	0	0
Cinzas	0,008	3,60	0,008	3,60	0	0
Total	1	450,2772	1,000	449,46	1	0,81

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Semelhante à primeira microfiltração, foi removida 85% da gordura. A corrente G do permeado segue para o sistema de ultrafiltração.

Nas etapas seguintes, o objetivo é reduzir a concentração de lactose e as cinzas que permanecem no produto. A corrente G da etapa anterior irá alimentar a terceira ultrafiltração como apresentado na figura 17 a seguir.

Figura 17 – Fluxograma da ultrafiltração 3



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

O balanço de massa para essa ultrafiltração será representado pelas equações global e por componente (40) a (46).

$$\text{Global: } G = H + R_7 \quad (40)$$

Componentes:

$$\text{Água: } x_a G = x_a H + x_a R_7 \quad (41)$$

$$\text{Proteína: } x_p G = x_p H + x_p R_7 \quad (42)$$

$$\text{Gordura: } x_g G = x_g H + x_g R_7 \quad (43)$$

$$\text{Lactose: } x_l G = x_l H + x_l R_7 \quad (44)$$

$$\text{Cinzas: } x_c G = x_c H + x_c R_7 \quad (45)$$

$$\text{Sólidos totais: } x_s G = x_s H + x_s R_7 \quad (46)$$

Na tabela 13, observa-se os resultados dos balanços de massa, de forma semelhante as outras ultrafiltrações, remove-se 80% de lactose, 80% das cinzas, 95% de água e 15% de proteínas (OLIVEIRA et al 2018).

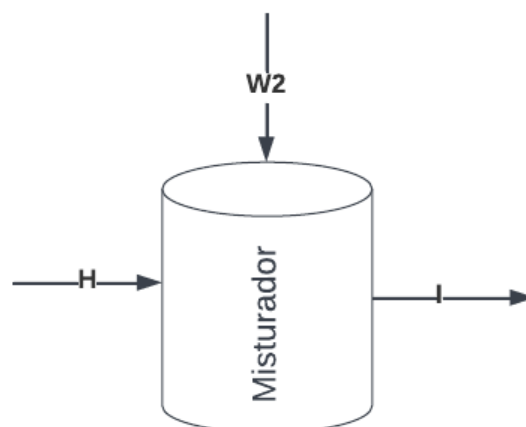
Tabela 13 – Resultado do balanço de massa para o sistema de ultrafiltração para o WPI

Corrente	G		H		R ₇	
	x	(kg/h)	x	(kg/h)	x	(kg/h)
Água	0,907	407,69	0,472	20,38	0,953	387,31
Gordura	0,000	0,14	0,003	0,14	0,000	0,00
Proteína	0,049	22,08	0,434	18,77	0,008	3,31
Lactose	0,035	15,95	0,074	3,19	0,031	12,76
Cinzas	0,008	3,60	0,017	0,72	0,007	2,88
Total	1	449,4637	1	43,20	1	406,26

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Devido a corrente de saída do produto possuir uma porcentagem de sólidos totais de aproximadamente 53%, é necessário realizar a diluição da corrente em água antes de entrar na membrana, para que a eficiência da próxima etapa seja melhorada.

A corrente H segue para o tanque pulmão que será alimentado por uma corrente de água de vazão mássica igual a corrente R₇, como apresentado na figura 18.

Figura 18 – Esquema simplificado do tanque de mistura 2

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

O balanço de massa do tanque pulmão está representado pela equação (54).

$$H + W2 = I \quad (47)$$

Em que,

$$W_2 = R_7$$

O resultado do balanço de massa do tanque está contido na tabela 14.

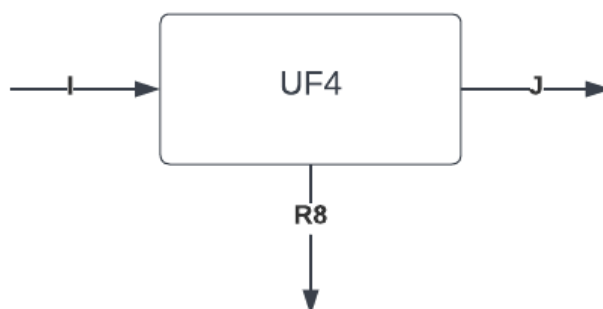
Tabela 14 – Balanço de massa para o tanque pulmão 2

Corrente	H		W ₂		I	
	x	(Kg/h)	x	(kg/h)	x	(kg/h)
Água	0,472	20,38	1	406,26	0,9492	426,64
Gordura	0,003	0,14	0	0	0,0003	0,14
Proteína	0,434	18,77	0	0	0,0418	18,77
Lactose	0,074	3,19	0	0	0,0071	3,19
Cinzas	0,017	0,72	0	0	0,0016	0,72
Total	1	43,20	1	406,26	1	449,46

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Como explicado anteriormente, o objetivo da próxima etapa é retirar a lactose e cinzas residuais. Na figura 19, segue o esquema simplificado da ultrafiltração.

Figura 19 – Fluxograma da ultrafiltração 4



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

O balanço de massa global e por componente estão apresentados a seguir pelas equações (48) a (54).

$$\text{Global: } I = J + R_8 \quad (48)$$

Componentes:

$$\text{Água: } x_a I = x_a J + x_a R_8 \quad (49)$$

$$\text{Proteína: } x_p I = x_p J + x_p R_8 \quad (50)$$

$$\text{Gordura: } x_g I = x_g J + x_g R_8 \quad (51)$$

$$\text{Lactose: } x_l I = x_l J + x_l R_8 \quad (52)$$

$$\text{Cinzas: } x_c I = x_c J + x_c R_8 \quad (53)$$

$$\text{Sólidos totais: } x_s I = x_s J + x_s R_8 \quad (54)$$

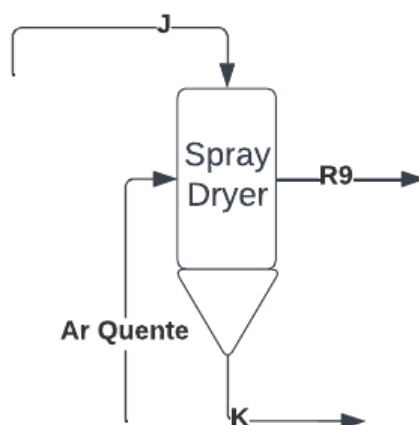
Referente a esta ultrafiltração, os resultados dos balanços de massa para o *Whey Protein* Isolado estão apresentados na tabela 15.

Tabela 15 – Balanços de massa para o sistema de ultrafiltração na linha de produção WPI

Corrente	I		J		R ₈	
	x	(kg/h)	x	(kg/h)	x	(kg/h)
Água	0,949	426,64	0,558	21,33	0,986	405,31
Gordura	0,000	0,14	0,004	0,14	0,000	0,00
Proteína	0,042	18,77	0,418	15,95	0,007	2,82
Lactose	0,007	3,19	0,017	0,64	0,006	2,55
Cinzas	0,002	0,72	0,004	0,14	0,001	0,58
Total	1	449,46	1	38,21	1	411,26

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Como observado na tabela e semelhante aos processos de ultrafiltração anteriores, a membrana retira 80% de lactose, 80% das cinzas, 95% da água e 15% das proteínas. A corrente J segue para o atomizador e neste caso, o *Whey Protein* Isolado deve possuir em torno de 4% de água e 90% ou mais de proteínas. O esquema do *Spray dryer* segue na figura 20.

Figura 20 - Fluxograma simplificado do Spray Dryer para o WPI

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Finalizando o processamento do WPI, tem-se os resultados para o balanço de massa no atomizador na tabela 16. A corrente de saída tem concentração de proteínas de 94,2% dentro do regimento da legislação para o *whey protein* isolado.

Tabela 16 – Balanço de massa para o Spray dryer na linha de produção do WPI

Corrente	J		K		R ₉	
	x	(kg/h)	x	(kg/h)	x	(kg/h)
Água	0,558	21,33	0,004	0,06	1	21,27
Gordura	0,004	0,14	0,008	0,14	0	0
Proteína	0,418	15,95	0,942	15,95	0	0
Lactose	0,017	0,64	0,038	0,64	0	0
Cinzas	0,004	0,14	0,008	0,14	0	0
Total	1	38,21	1	16,934	1	21,27

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

A corrente K do produto segue para o tanque de mistura para adição de adoçantes e outros aditivos que vão conferir sabor, aroma e dissolução do *Whey Protein* Isolado. E por fim, o produto em pó é embalado e segue para expedição.

5.2. Balanço de Energia

Para o processo produtivo do *Whey Protein*, a transferência de energia contemplada nesse trabalho é a troca de calor que ocorre na etapa de evaporação. A proteína é termossensível, então o estudo deste balanço nessa etapa é de extrema importância. Já as membranas utilizam um processo puramente físico.

Foi selecionado para este processo um evaporador de película descendente de triplo efeito, devido ao curto tempo de processamento e também pela temperatura baixa que pode operar.

Os dados utilizados para realizar o balanço de energia estão na Tabela 17, de acordo com a literatura.

Tabela 17 – Parâmetros iniciais para o balanço de energia no evaporador

Parâmetros	Valor
Taxa de alimentação	10.850 kg/h
Temperatura de alimentação do soro	55 °C
Temperatura de alimentação do vapor	180 °C
Temperatura de saída da solução no 3º efeito	30 °C
Teor de sólidos totais inicial	0,07
Teor de sólidos totais final	0,3
Coeficiente global de troca de calor (U_1)	3123 W/m ² °C
Coeficiente global de troca de calor (U_2)	1987 W/m ² °C
Coeficiente global de troca de calor (U_3)	1136 W/m ² °C

Fonte: Oliveira et al, (2018); PROST et al. (2006), ORDÓNEZ et al. (2005).

De acordo com o método de cálculo aprendido na disciplina de Operações Unitárias II, a primeira etapa consiste em encontrar o balanço de massa global para os evaporadores para determinar a quantidade de vapor total (V) produzido, assumindo $V_1 = V_2 = V_3 = V$. Em seguida é realizado o balanço global para cada efeito para obter L_1 , L_2 e L_3 . Onde L é a quantidade de líquido concentrado e F é a alimentação como mostrado na Figura 9.

$$F = V + L \quad (55)$$

$$F = L_3 + (V_1 + V_2 + V_3) \quad (56)$$

O valor de L_3 foi obtido pela equação (56) através do balanço de massa, sendo possível determinar o valor do vapor (V). Com o valor de V, pode-se realizar os balanços para cada efeito.

Primeiro efeito:

$$F = V_1 + L_1 \quad (57)$$

$$F * x_f = L_1 * x_{L1} \quad (58)$$

Segundo efeito:

$$L_1 = L_2 + V_2 \quad (59)$$

$$L_1 * x_{L1} = L_2 * x_{L2} \quad (60)$$

Terceiro efeito:

$$L_2 = L_3 + V_3 \quad (61)$$

$$L_2 * x_{L2} = L_3 * x_{L3} \quad (62)$$

Na Tabela 18 estão apresentadas as correntes do balanço de massa para o evaporador.

Tabela 18 - Resultado do balanço de massa do evaporador

Vazões (kg/h)	
F	10850,00
L1	7739,67
L2	4629,33
L3	1519,00
V	3110,33

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

A partir da equação (63), será calculado a elevação do ponto de ebulição (EPE), relacionada com a concentração de sólidos em cada efeito (TADINI et al, 2016).

$$EPE = 1,78 * x + 6,22 * (x^2) \quad (63)$$

Os valores de EPE para cada um dos efeitos estão apresentados na Tabela 19. Em sequência será calculado a variação de temperatura efetiva pela Equação 78.

Tabela 19 – Elevação do ponto de ebulição para os três efeitos do evaporador

Elevação do Ponto de Ebulição		
EPE1	0,155	°C
EPE2	1,039	°C
EPE3	2,445	°C
Total	3,639	°C

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

$$\Sigma \Delta T_{efetivo} = \Sigma \Delta T_{aparente} - \Sigma EPE \quad (64)$$

$$\Sigma \Delta T_{aparente} = TS - Tv3 \quad (65)$$

O valor obtido para o $\Sigma\Delta T$ efetivo foi de 146,14 °C. A partir desse valor pode-se calcular o $\Sigma\Delta T_{aparente}$, que foi 149,28 °C e a variação de temperatura em cada um dos três efeitos, pelas equações seguintes (66), (67) e (68).

(66)

$$\Delta T_1 = \frac{\Delta T * \frac{1}{U_1}}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}}$$

(67)

$$\Delta T_2 = \frac{\Delta T * \frac{1}{U_2}}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}}$$

(68)

$$\Delta T_3 = \frac{\Delta T * \frac{1}{U_3}}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}}$$

Os valores para as temperaturas e as variações para os três efeitos estão na Tabela 20.

Tabela 20 – Variações de temperaturas totais em cada efeito

Temperaturas	Valor (°C)
$\Sigma\Delta T_{aparente}$	149,28
$\Sigma\Delta T_{efetivo}$	146,14
ΔT_1	27,47
ΔT_2	43,17
ΔT_3	75,51

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Na próxima etapa, será calculado o calor específico (C_p) de cada uma das correntes pela equação (69) e a partir do produto entre C_p e a temperatura correspondente determinam-se os valores de entalpia específica para as correntes de alimento (hL), apresentadas na Tabela 21.

$$C_p = 4,19 * X_w + [(1,37 + 0,014 * T) * (1 - X_w)] \quad (69)$$

$$hL = Cp * T \quad (70)$$

Tabela 21 – Calor específico e entalpia das correntes líquidas

Corrente	T (°C)	Cp (kJ/kg °C)	hL (kJ/kg)
F	55	4,04265	222,35
L ₁	152,63345	4,10769	643,58
L ₂	109,47723	3,95986	431,69
L ₃	30	2,975	125,79

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Por conta da contribuição do EPE, os vapores gerados apresentam-se como vapores superaquecidos (Hsa), na equação 85), porém quando seguem para o evaporador seguinte, para ser aproveitado como fonte de calor, retorna para a condição de vapor saturado (Hvs) (GEANKOPLIS, 2003).

$$Hsa = Hvs + 1,884 \text{ (EPE)} \quad (71)$$

Os valores de entalpia específica de vapor saturado, líquido saturado e calor latente (λ), para o fluido água são encontrados em tabelas (GEANKOPLIS, 2003). O calor latente (λ) é a diferença entre a entalpia específica do vapor saturado e do líquido saturado na mesma temperatura. Os resultados estão expressos na Tabela 22.

Tabela 22 – Entalpia e calor latente das correntes de vapor superaquecido, saturado e líquido saturado

Corrente	T (°C)	Hvs (kJ/kg)	λ (kJ/kg)
Vs	180	2778,2	2014,98
V ₁	152,39889	2750,26	2107,67
V ₂	109,01778	2750,26	2235,94
V ₃	33,13902	2561,7	2423,37

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Nessa próxima etapa, será calculado os balanços energéticos nos três efeitos do evaporador, para obter os valores de todas as correntes.

Balanco de energia no terceiro efeito:

$$L_2 * hl_2 + V_2 * \lambda_2 = V_3 * H_{V3} + L_3 * hl_3 \quad (72)$$

$$V_2 = L_1 - L_2 \text{ e } V_3 = L_2 - L_3 \quad (73)$$

Balanco de energia no segundo efeito:

$$L_1 * hl_1 + V_1 * \lambda_1 = V_2 * H_{v2} + L_2 * hl_2 \quad (74)$$

$$V_1 = F - L_1 \text{ e } V_2 = L_1 - L_2 \quad (75)$$

Balço de energia no primeiro efeito:

$$F * hf + V_S * \lambda_S = V_1 * H_{v1} + L_1 * hl_2 \quad (76)$$

$$V_1 = F - L_1 \quad (77)$$

Na Tabela 23, está apresentado os valores resultantes das correntes calculadas através do balanço de energia para o evaporador de triplo efeito.

Tabela 23 – Valores reais das correntes do evaporador triplo efeito

Valores das correntes (kg/h)	
F	10850
L ₁	8247,94
L ₂	5104,53
L ₃	1519
VS	4992,86
V ₁	2602,06
V ₂	3143,41
V ₃	3585,53

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Para dimensionar o evaporador, é necessário calcular o calor trocado em cada efeito e a área necessária para o processo. Estes parâmetros são importantes para melhor acondicionar o equipamento, apesar disso, é ideal considerar áreas iguais para os evaporadores, devido a produção padronizada desse equipamento. Para esses cálculos, será utilizada as equações (78) a (81):

$$q = \lambda * V \quad (78)$$

$$1^\circ \text{ Efeito: } q_1 = U_1 * A_1 * (T_s - T_1) \quad (79)$$

$$2^\circ \text{ Efeito: } q_2 = U_2 * A_2 * (T_1 - T_2) \quad (80)$$

$$3^\circ \text{ Efeito: } q_3 = U_3 * A_3 * (T_2 - T_3) \quad (81)$$

Tabela 24 – Área e calor trocado nos três efeitos

Efeito	Área (m ²)	Calor Trocado (kW)
1°	6,0928	10060519
2°	5,2208	5484287
3°	11,7024	7028471

Fonte: AUTORIA PROPRIA (2022).

$$\text{Capacidade: } V_1 + V_2 + V_3 \quad (82)$$

$$\text{Economia: } \frac{V_1+V_2+V_3}{V_s} \quad (83)$$

Após os cálculos, obteve-se um valor de capacidade de 9331,00 kg/h e valor de economia de 1,86 kg de vapor gerado para cada kg de vapor consumido.

6. ANÁLISE ECONÔMICA

Para viabilizar o projeto é necessário levantar todos os custos que envolvem a produção do *Whey Protein* Concentrado e *Whey Protein* Isolado, isto é, custos para aquisição do terreno da fábrica, construção da fábrica, aquisição de matéria-prima, insumos, compra e manutenção dos equipamentos, salários dos funcionários, custos de operações sendo elas o custo energético para manter o maquinário, entre outros.

O projeto financeiro tem por objetivo contabilizar o faturamento e comparar com os custos, indicando o nível de atratividade do negócio. Levantando o investimento necessário, os custos fixos para manter a fábrica ativa, além dos custos de insumos, podemos verificar também o nível de competitividade em relação aos concorrentes no mercado.

Na análise, serão desconsiderados diversos parâmetros, como por exemplo, a construção civil, custos com tratamento de efluentes, inflação, além de outras taxas. O foco será em apresentar os custos de terreno, compra de equipamentos, custos energéticos dos equipamentos, custos com matéria prima, folha de pagamento e comparar o faturamento das vendas em cenários otimista e pessimista com investimentos seguros de renda fixa.

6.1. Aquisição do Terreno

A área do terreno foi definida comparando uma empresa do ramo de laticínios da cidade de Natal, que possui aproximadamente 27000 m², considerando um melhor aproveitamento de espaço para reduzir o tamanho do terreno e que a empresa deste trabalho tem produção inferior em volume e maquinário, foi estimado um espaço de aproximadamente 8000 m². De acordo com o IBGE, em dados de setembro de 2022, o custo médio do m² no Brasil é de R\$ 1669,19 sendo que no Estado do Rio Grande do Norte, o valor do m² está abaixo da média nacional, sendo cotado em R\$ 1.481 Isto implica no valor final para a aquisição do terreno em R\$ 11.848.000,00. Devido ao nível de complexidade da construção civil, e não sendo o objetivo do trabalho presente, serão desconsiderados os custos de estrutura e construção da fábrica.

6.2. Aquisição dos Equipamentos

A tabela 24 apresenta valores dos equipamentos para a linha de produção de ambos os produtos, WPC e WPI. A pesquisa dos equipamentos levou em consideração capacidade suficiente para atender e suprir possível aumento de produção diária.

Tabela 24 - Custo de compra dos equipamentos

Equipamento	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Tanque de Armazenamento	1	R\$ 138.840,00	R\$ 138.840,00
Evaporador	1	R\$ 2.665.000,00	R\$ 2.665.000,00
Torre de Filtração	1	R\$ 40.000,00	R\$ 40.000,00
Membrana de MF e UF	1	R\$ 663.937,32	R\$ 663.937,32
Tanque Pulmão	2	R\$ 6.300,00	R\$ 12.600,00
<i>Spray Dryer</i>	2	R\$ 208.936,00	R\$ 417.872,00
Misturador	1	R\$ 18.091,39	R\$ 18.091,39
Envasador	1	R\$ 40.000,00	R\$ 40.000,00
Câmara Fria	1	R\$ 44.900,00	R\$ 44.900,00
			R\$
		Total	4.041.240,71

Fonte: AUTORIA PROPRIA (2022).

O custo energético dos equipamentos é calculado pelo produto da potência (kW) pelas horas de funcionamento mensais e esse valor multiplicado pela tarifa energética da região. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a tarifa do kWh em outubro de 2022 é aproximadamente R\$0,65. A tabela a seguir apresentará o custo mensal de energia elétrica para a fábrica de *Whey Protein* no Estado do Rio Grande do Norte.

Tabela 25 – Custo energético mensal dos aparelhos eletrônicos

Equipamento	Quantidade	Potência (kW)	Tempo de Funcionamento/Mês	Consumo Mensal (kW)	Custo Mensal (R\$)
Evaporador	1	-	154		R\$ -
Torre de Filtração	1	-	132		R\$ -
Membrana de MF e UF	1	-	110		R\$ -
Spray Dryer	2	150	88	13200	8.580,00
Misturador	1	3,5	66	231	150,15
Envasador	1	0,7	154	107,8	70,07
Câmara Fria	1	5	720	3600	2.340,00
				Total	R\$ 11.140,22

Fonte: AUTORIA PROPRIA (2022).

6.3.Custo da Matéria Prima

De acordo com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI/SC, o custo do soro é de 10% do valor pago ao produto rural pelo litro de leite integral. Nos primeiros meses do ano de 2022 os preços pagos ao produtor rural estavam atingindo níveis recordes, em média R\$ 3,00, porém em setembro o produtor recebeu, em média, R\$ 2,79 pelo litro do leite, segundo a Scot Consultoria, que fez a pesquisa em 18 estados brasileiros. Considerando o valor mais recente do litro de leite integral, o custo do litro de soro de leite está cotado a R\$ 0,279.

A partir dos balanços de massa realizados, mensalmente, são utilizados 2071916 litros de soro, o que gera um custo mensal de R\$ 578.064,56. Em média, são consumidos 150 litros de soro para produzir 1 kg de *Whey Protein*. Isso significa que por mês a expectativa de produção é de 13,812 t de proteína em pó.

A quantidade de insumos e aditivos utilizados na produção é de aproximadamente 1 kg de insumo para 24 kg de produto final (Dos Santos et al., 2016). Como a expectativa de produção mensal é de aproximadamente 13812 kg, a relação de kg de insumo por kg de produto é de 576 kg de insumos mensais, sendo em maior parte os flavorizantes. Em

pesquisa de mercado, o kg de aromatizante e saborizante em pó sabor chocolate custa R\$ 160,00, podendo ser reduzido em maiores quantidades de compra. Mensalmente serão gastos R\$ 92.085,16 com insumos e aditivos e a produção de 1kg de *Whey Protein* terá custo em matéria prima de R\$ 48,41.

6.4.Custos com a Folha de Pagamento

Considerando o regime de impostos no qual a empresa está enquadrada que é o Lucro Presumido, temos o cálculo final de encargos em torno dos 60%. Considerando INSS (20%), FGTS (8%), Sistema S (3,3%), Inca (0,2%), Salário Educação (2,5%), RAT (2%) além de Férias (12,67%) e 13º Salário (10,86%). Os custos com a folha de pagamento estão calculados na tabela 26 a seguir.

Tabela 26 – Custos com a folha de pagamento

Função	Quantidade	Salário bruto [R\$]	Salário + Impostos [R\$]	Total [R\$]
Almoxarife	5	2192,00	3507,20	17536,00
Auxiliar de Laboratório	3	1212,00	1939,20	5817,60
Auxiliar de Serviços Gerais	5	1212,00	1939,20	9696,00
Diretor Geral	1	9055,92	14489,47	14489,47
Gerente Comercial	1	6043,00	9668,80	9668,80
Gerente de Produção	1	6043,00	9668,80	9668,80
Gerente de Qualidade	1	6043,00	9668,80	9668,80
Marketing	2	2088,00	3340,80	6681,60
Motorista	5	2245,00	3592,00	17960,00
Operador de Máquina	10	2315,00	3704,00	37040,00
Promotor de vendas	2	2275,00	3640,00	7280,00
Recepcionista	2	1615,00	2584,00	5168,00
Recursos Humanos Responsável	2	2190,00	3504,00	7008,00
Técnico	1	9055,92	14489,47	14489,47
Supervisor de Produção	2	4115,00	6584,00	13168,00
Técnico de Informática	2	1665,00	2664,00	5328,00
Técnico de Laboratório	1	1907,00	3051,20	3051,20
Técnico de Segurança	1	3500,00	5600,00	5600,00
TOTAL [R\$]				199319,74

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

6.5. Resumo dos custos

Nesta etapa será resumido os custos totais (custo fixo e investimento inicial) em relação ao valor de venda do produto, para estimar o retorno do investimento e comprovar viabilidade. Primeiramente os custos iniciais estão na tabela 27, que englobam o valor de compra do terreno e dos equipamentos, e em seguida na tabela 28 o valor da folha de pagamento, matéria prima utilizada e o custo energético mensal.

Tabela 27 – Valor investido inicial

Investimento Inicial	Valor [R\$]
Terreno	R\$ 11.848.000,00
Equipamentos	R\$ 4.041.240,71
TOTAL [R\$]	R\$ 15.889.240,71

Fonte: AUTORIA PROPRIA (2022).

Tabela 28 – Custo Fixo Mensal

Custo Fixo Mensal		
Salário	R\$	199.319,74
Matéria-Prima	R\$	668.638,92
Equipamentos	R\$	11.140,22
TOTAL	R\$	879.098,88

Fonte: AUTORIA PROPRIA (2022).

Analisando o mercado de proteína do soro em pó, temos aproximadamente quatro empresas dominantes, sendo o valor médio de venda de 1kg de proteína do soro de R\$ 140,00. A partir desse valor, para atrair mercado e ter uma nova marca competitiva, será definido o valor médio de venda do produto para o consumidor final a R\$ 115,00.

A partir de dois cenários, um otimista e outro pessimista, se pode avaliar a rentabilidade e comparar com outros investimentos como o da renda fixa. No cenário otimista, estimou a venda da totalidade de produção, enquanto no cenário pessimista apenas metade da produção é vendida e será comparado com a renda fixa Selic a 14% de juros anual na tabela 29, que mostra o lucro final de cada ano de produção durante cinco anos.

Tabela 29 – Comparativo de Lucratividade

Lucro Ano	Otimista 100%	Pessimista 50%	Taxa Selic a 14%
1°	R\$ -7.377.867,32	R\$ -16.908.147,32	R\$ 2.224.493,70
2°	R\$ 1.133.506,07	R\$ -17.927.053,93	R\$ 4.760.416,52
3°	R\$ 9.644.879,47	R\$ -18.945.960,53	R\$ 7.651.368,53
4°	R\$ 18.156.252,9	R\$ -19.964.867,14	R\$ 10.947.053,82
5°	R\$ 26.667.626,2	R\$ -20.983.773,75	R\$ 14.704.135,06

Fonte: AUTORIA PROPRIA (2022).

Analisando a tabela 29, conclui-se que o cenário otimista é superior em lucratividade a renda fixa, com *payback* em dezenove meses, em contrapartida o cenário pessimista, com vendas de 50% da produção, traz prejuízos.

7. TRATAMENTO DE RESÍDUOS

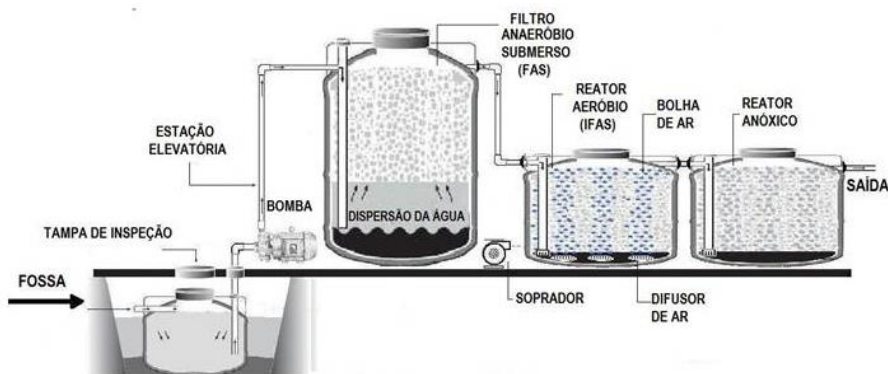
O tratamento de resíduos da indústria tem finalidade de fornecer ao meio ambiente melhores condições de descarte e adequar junto às normas da legislação vigente, reduzindo o volume dos resíduos e diminuindo ou removendo características nocivas aos meios como odores e materiais contaminantes. Na indústria de alimentos, os tratamentos mais utilizados são os processos aeróbios e anaeróbios, que utilizam agentes biológicos para degradar a matéria orgânica gerada nos processos.

Segundo a resolução 357/05 do CONAMA (2005), no Artigo 16, as condições de lançamento devem respeitar os seguintes parâmetros:

- ser virtualmente ausentes os materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais;
- ser virtualmente ausentes os óleos e graxas;
- ser virtualmente ausentes substâncias que comuniquem gosto ou odor;
- não haver corantes de fontes antrópicas;
- ser virtualmente ausentes os resíduos sólidos objetáveis;
- possuir DBO de até 10 mg.L-1 em 20 °C, turbidez de até 100 UNT e cor verdadeira de até 75 mg.Pt.L-1 ;
- apresentar OD maior que 4 mg.L-1 O₂ e pH entre 6,0 a 9,0.

Para este caso, será utilizado tanques com meio anaeróbio e aeróbio, representados na figura 20, para reduzir a carga orgânica dos efluentes que são provenientes das parcelas de proteína, lactose, cinzas e gorduras removidas durante os processos de produção.

Figura 21 – Fluxograma da estação de tratamento de resíduos da produção de *whey protein*



Fonte: NaturalTec (2022).

Os resíduos de todo processo produtivo estão resumidos na tabela 30, em que a água será utilizada para realizar o processo de tratamento de efluentes e também na limpeza geral das dependências da empresa.

Tabela 30 – Resíduos gerados por kg/h

Resíduos	Água (kg/h)	Gordura (kg/h)	Carboidrato (kg/h)	Cinzas (kg/h)
	12153,06	19,03	526,76	118,9

Fonte: AUTORIA PROPRIA (2022).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mercado de proteínas em pó derivados do leite alavancou na última década, e apesar do alto investimento inicial e desconsiderando diversos fatores externos, este trabalho obteve êxito em mostrar uma análise econômica e retorno financeiro, dependendo de condições otimistas de mercado, a partir do segundo ano de produção. Considerando o modelo de fábrica, que utiliza um resíduo da indústria de laticínios, o processo se mostra bastante sustentável e sem muitos outros resíduos gerados poluentes e agregando valor a uma matéria-prima que é muito visada nos anos atuais.

Referente aos balanços de massa, foi possível esboçar todo o processo e estimar a produção por hora, assim como os resíduos gerados em todas as etapas, enquanto a análise de balanço energético, foi feito os cálculos necessários para analisar as trocas térmicas dos processos de evaporação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, K. E.; BONASSI, I. A.; ROÇA, R.O., Características físicas e químicas de bebidas lácteas fermentadas com soro de queijo minas frescal. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas. 2001.

ANDRADE, R.L.P.; MARTINS, J.F.P. Influência da adição da fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) sobre a viscosidade do permeado de soro de queijo. *Ciências e Tecnologia de Alimentos*, v.22, n.3, p. 249-253, 2002.

BALDASSO, C. Fracionamento dos Compostos de Soro de Leite através da Tecnologia de Separação por Membrana (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Porto Alegre, 2011.

BALDASSO, C.; BARROS, T. C.; TESSARO, I.C. Concentração e purificação de proteínas de soro de leite por ultrafiltração. *Dessalinização*, Elsevier B.V. v. 278, p 381-386, junho de 2011.

BARBOSA, K. B. F. et al. Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. *Revista de Nutrição*, v. 23, n. 4, p. 629-643, 2010.

Batsis, J. A. *et al.* (2013). Variação na Prevalência de Sarcopenia e Obesidade Sarcopênica em Idosos Associada a Diferentes Definições de Pesquisa: Dados de Absorciometria de Raios-X de Dupla Energia do National Health and Nutrition Examination Survey 1999–2004. *Journal of the American Geriatrics Society*, 61(6), 974-980.

BOSCHI, J. R. Concentração e Purificação das Proteínas do Soro de Queijo por Ultrafiltração. 119 p. Dissertação de mestrado (Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

BRASIL Decreto nº 1.812, 08/02/1996. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. 08 de fevereiro de 1996.

CABRAL, S. R. Otimização da ultrafiltração em modo de diafiltração para redução do teor de lactose em concentrados proteicos. Dez/2015. 100 p. Dissertação de mestrado – Técnico Lisboa. 2015.

ÇELİK, K. Whey cada aspecto. Editado por Prof. Dr. Kemal Çelik. İstanbul Caddesi, İstanbul Çarşısı. Nu.: 48/48-49 iskitler, Altındağ-ANKARA. Whey Handbook For The Dairy Sector, 2015.

DESCONSI, A. C.; IZARIO, H. J. F.; SALAZAR, R. F. S. Avaliação físico-química e microbiológica do soro de leite concentrado obtido por osmose inversa. Taubaté, SP. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/xBzdSVjCF9QXJZXcY7F7wMQ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 1 de novembro de 2022.

EGITO, A. S.; BENEVIDES, S. D.; LAGUNA, L. E.; SANTOS, K.O. O. Processamento de ricota a partir do soro de queijo de cabra. Embrapa-Comunicado Técnico,82, Sobral, Ceará, 2007. Disponível em:<http://www.cnpc.embrapa.br/admin/pdf/003100121520.cot82.pdf>. Acesso em: 1 de novembro de 2022.

ELWELL, M. W.; BARBANO, D. M. Uso de microfiltração para melhorar a qualidade do leite fluido. Journal of Dairy Science, Lancaster, v. 89, p. E20-E30, 2006. Suplemento. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72361-X](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72361-X).

FRITSCH, J.; MORARU, C. I. Desenvolvimento e otimização de um processo de microfiltração a frio auxiliado por dióxido de carbono para a remoção física de microorganismos e células somáticas do leite desnatado. Journal of Dairy Science, Champaign, v. 91, n. 10, p. 3744-3760, 2008. PMID:18832196. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2007-0899>.

FAGNANI, R. Da ultrafiltração à osmose reversa. Revista Milk Point. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/colunas/rafael-fagnani/da-ultrafiltracao-a-osmose-reversa-99854n.aspx#>. Acesso em 1 de novembro de 2022.

GOFF, H. D.; GRIFFITHS, M. W. Grandes avanços em leite fresco e produtos lácteos: produtos lácteos fluidos e sobremesas congeladas. Journal of Dairy Science, Lancaster, v. 89, n. 4, p. 1163-1176, 2006. Acesso em 01 de Novembro de 2022. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72185-3](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72185-3).

GUERRA, A.; JONSSON, G.; RASMUSSEN, A.; WAAGNER NIELSEN, E.; EDELSTEN, D. Microfiltração de baixa velocidade de fluxo cruzado de leite desnatado

para remoção de esporos bacterianos. *International Dairy Journal*, Wembley, v. 7, n. 12, p. 849-861, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(98\)00009-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(98)00009-0).

HARAGUCHI F.K.; ABREU W.C.; PAULA H. Proteínas do soro do leite: composição, ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 2013 1852 propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana.

HONG, S-I.; KROCHTA, J.M. Desempenho da barreira de oxigênio de filmes plásticos revestidos com proteína de soro de leite, conforme afetado pela temperatura, umidade relativa, filme base e tipo de proteína. *Journal of Food Engineering*, v. 77, p. 739–745, 2006.

MAGANHA, Martha Faria Bérnils. Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos (Série P + L). Martha Faria Bérnils Maganha - São Paulo: CETESB, 2006.

MARSHALL, K. Aplicações terapêuticas da proteína de soro de leite. *Alternative Medicine Review*, v. 9, n. 2, p. 136-156, 2004.

Maubois, J. L.; Fauquant, J.; Famelart, M. H.; Caussin, F. Microfiltrado de leite, um material de partida conveniente para fracionamento de proteínas de soro de leite e derivados - A importância do soro de leite e seus componentes na alimentação e nutrição. In: 3rd International Whey conference, Munich, Germany, p. 59-72, 2001.

MINKS, A. M. D. Relatório de estágio – ALIBRA Ingredientes LTDA. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, Curso de Engenharia de Produção. Medianeira, 2012.

OLIVEIRA M.N. Tecnologia de produtos lácteos funcionais. Livro: Ed. Atheneu. São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, Gisley da Silva de. et al. MDLGV – Industry Ltd: Processo Produtivo da Whey Protein. 2018. 204 p. Term Paper (Bachelor's Degree in Chemical Engineering) – Parana Federal Technological University. Apucarana, 2018.

ORDÓÑEZ, J. A.; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. H.; CORTECERO, M. D. S. Tecnologia de Alimentos: Alimentos de Origem Animal. v. 2. Porto Alegre, RS: Artmed, 2005.

PAIVA, D. Bebida láctea à base de soro de leite é vendida junto com leite integral e causa confusão entre consumidores; Procon notifica empresa. g1 SP - São Paulo, 2022.

Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2022/07/07/bebida-lactea-a-base-de-soro-de-leite-e-vendida-junto-com-leite-integral-e-cao-confusao-entre-os-consumidores-em-sp.ghtml>. Acesso em 5 de novembro de 2022.

PROST, J. S.; GONZÁLES, M. T.; URBICAIN, M. J. Determinação e correlação dos coeficientes de transferência de calor em um evaporador de filme descendente. *Journal of Food Engineering*, v. 73, p. 320-326, 2006.

RAMOS O.L.; PEREIRA, R.N.; RODRIGUES, R.M.; TEIXEIRA, J.A.; VICENTE, A.A. and Malcata, F.X. Soro de leite e soro de leite em pó: produção e usos. In: Caballero, B., Finglas, P., and Toldrá, F. (eds.) *The Encyclopedia of Food and Health* vol. 5, pp. 498-505. Oxford: Academic Press. Elsevier Ltd, 2016.

RENHE, I.R.T. O papel do leite na nutrição. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, nº363, 63: 36-43, Jul./Ago., 2008.

RÉVILLION, J.P.; BRANDELLI, A.; AYUB M.A.Z. Produção de extratos de leveduras de uso alimentar a partir do soro de queijo: abordagem de elementos técnicos e mercadológicos relevantes. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, vol.20 nº2, Mai/Ago., 2000.

Revista Brasileira de Nutrição, 19(4):479-488, jul./ago., Campinas, 2006.

Saboya, L. V.; Maubois, J. L. Desenvolvimentos atuais da tecnologia de microfiltração na indústria de laticínios. *Lait*, v. 80, p. 541–553, 2000.

SGARBIERI, V.C., Revisão: Propriedades estruturais e físico-químicas das proteínas do leite. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.8, n.1, p. 43-56, jan./mar., 2005.

Silva, T. A. S. *et al.* (2006). Sarcopenia associada ao envelhecimento: aspectos etiológicos e opções terapêuticas. *Rev Bras Reumatol*, 46(6), 391-397.

SOUSA, G.T.; LIRA, F.S.; ROSA J.C.; OLIVEIRA, E.P.; OYAMA, L.M.; SANTOS, R.V.; PIMENTEL, G.D. A proteína de soro dietética diminui vários fatores de risco para doenças metabólicas: a review. *Lipids in Health and Disease*, 201.

STUPPIELLO, B.; BUSTO, I. A. M. Whey Protein: O Suplemento que Ajuda a Ganhar Massa Muscular. 2015. Disponível em: <http://www.minhavidacom.br/alimentacao/tudo-sobre/17634-whey-protein->

osuplemento-que-ajuda-a-ganhar-massa-muscular>. Acesso em: 19 de novembro de 2022.

TADINI, C. C. , TELIS, V. R. N. , MEIRELLES, A. J. A. *Operações Unitárias na Indústria de Alimentos*, v.1, 1ªed, 2016.

TE GIFFEL, M. C.; VAN DER HORST, H. C. Comparação entre bactofugação e microfiltração quanto à eficiência de remoção de células somáticas e bactérias. *Bulletin of International Dairy Federation*, Brussels, v. 389, p. 49-53, 2004.

TERADA, L.C.; GODOI, M.R.; SILVA, T.C.V.; MONTEIRO, T.L. Efeitos metabólicos da suplementação do whey protein em praticantes de exercícios com pesos. *Revista Brasileira de Nutrição Esportiva*. v.3. nº16. p.295-304. Jul./Ago, 2009.

TOMASULA, P. M.; MUKHOPADHYAY, S.; DATTA, N.; PORTOFETT, A.; CALL, J. E.; LUCHANSKY, J. B.; RENYE, J.; TUNICK, M. Microfiltração de fluxo cruzado em escala piloto e pasteurização para remover esporos de *Bacillus anthracis* (Sterne) do leite. *jornal de laticínios*. Science, Lancaster, v. 94, n. 9, p. 4277-4291, 2011. PMID:21854901. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2010-3879>.

ZIEGLER, F.L.F.; SGARBIERI, V.C. Caracterização químico-nutricional de um isolado proteico de soro de leite, um hidrolisado de colágeno bovino e misturas dos dois produtos. *Revista de Nutrição*, Campinas, 22(1):61-70, jan./fev., 2009.

Zinsly, P. F.; Sgarbieri, V. C.; Pereira Dias, N. F. G.; Jacobucci, H. B.; Pacheco, M. T. B.; Baldini, V. L. S. Produção piloto de concentrados de proteínas de leite bovino: composição e valor nutritivo. *Brazil Journal Food Technology*, v. 4, p. 1-8, 2001.

