



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA



LETÍCIA SILVA CAIXETA

ESTUDO DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO PARA AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO
DE BEBIDA LÁCTEA UHT ACHOCOLATADA

PATOS DE MINAS
2019

LETÍCIA SILVA CAIXETA

ESTUDO DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO PARA AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO
DE BEBIDA LÁCTEA UHT ACHOCOLATADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Graduação em Engenharia de
Alimentos da Universidade Federal de
Uberlândia – Campus Patos de Minas como
requisito de avaliação da disciplina de Trabalho
de Conclusão de Curso II.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Corrêa de
Santana

Coorientadores: Prof.^a Dra. Milla Gabriela dos
Santos e Eduardo Gonçalves
Dias

PATOS DE MINAS
2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG,
CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



HOMOLOGAÇÃO 15/2019/FEQUI

LETÍCIA SILVA CAIXETA

Estudo das variáveis de processo para avaliação do rendimento de bebida láctea UHT achocolatada

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - campus Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

Prof. Dr. Ricardo Corrêa de Santana

Orientador(a) - UFU

Prof.ª Dr.ª Líbia Diniz Santos

UFU

Prof.ª Dr.ª Liliane Maciel de Oliveira

UFU

Patos de Minas, 11 de julho de 2019.



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Correa de Santana, Presidente**, em 11/07/2019, às 17:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Líbia Diniz Santos, Membro de Comissão**, em 11/07/2019, às 17:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Liliane Maciel de Oliveira, Membro de Comissão**, em 11/07/2019, às 17:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1330270** e o código CRC **EC613A42**.

Agradecimentos

Deus, obrigada pelo dom da vida.

Meus pais Dácio e Fátima, obrigada por toda educação, exemplo e amor que me deram.

Minha irmã Vanêssa, obrigada por toda ajuda, amizade e companheirismo.

Meu padrinho Gesonias, obrigada por todo apoio.

Demais familiares, especialmente vovó Bela, obrigada pelo carinho.

Meu orientador Prof. Ricardo, obrigada pela disponibilidade em me orientar, pelas correções e melhorias que contribuíram muito para este estudo.

Meus coorientadores Prof.^a Milla e Eduardo Dias, obrigada pela orientação e por todas as contribuições feitas.

Professoras Líbia e Liliane, obrigada por aceitarem o convite para compor a banca examinadora.

Indústria CEMIL, obrigada pela abertura à universidade e idealização do tema deste trabalho.

Lorena Medeiros, obrigada pelo acompanhamento e orientação durante as visitas.

9^a turma de Engenharia de Alimentos, família PET, amigos e demais colegas, obrigada pela amizade e convivência.

Todos os professores que passaram por meu caminho, obrigada por todos os ensinamentos.

Servidores da UFU Campus Patos de Minas (secretaria, biblioteca, laboratórios, Palácio e Pavonianos), obrigada pelo apoio.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO

O aumento da produção leiteira nos últimos anos somado ao crescimento populacional e a ampliação da renda tem aumentado o consumo de produtos lácteos, inclusive de maior valor agregado. Atualmente, o parque industrial de laticínios está em progressivo crescimento e diferenciação, produzindo vários produtos como leites de consumo, queijos, iogurtes, bebidas lácteas, sobremesas etc. No processo de fabricação de queijo há a liberação de lactossoro, que por muito tempo foi considerado um resíduo industrial muito poluente. Porém, com o avanço de estudos na área, atualmente o lactossoro constitui uma importante matéria-prima para diversos processos, como na produção de bebida láctea. O rendimento ou produtividade (produtos/matérias-primas) é um importante indicador de desempenho em produções, a partir do qual pode-se tomar decisões para melhoria dos resultados da empresa. Neste trabalho, foi feito um estudo do processamento de bebida láctea UHT achocolatada produzida por uma indústria de laticínios situada no município de Patos de Minas – MG, no qual foi possível identificar as variáveis de processo para avaliação do rendimento, descrever o processo realizado e propor uma forma de quantificação do rendimento a partir de balanços materiais.

Palavras-chave: Bebida láctea. Rendimento. Produtividade.

ABSTRACT

The increase in dairy production in recent years combined with population growth and income growth has increased the consumption of dairy products, including higher added value. Currently, the dairy industry is progressively growing and differentiating, producing various products such as consumer milk, cheese, yogurt, dairy drinks, desserts, etc. In the cheese making process there is the release of whey, which for a long time has been considered a very polluting industrial waste. However, with the advancement of studies in the area, currently the whey is an important raw material for various processes, such as in the production of milk. The yield or productivity (products/raw materials) is an important indicator of performance in productions, from which one can make decisions to improve the company's results. In this work, a study was carried out on the processing of chocolate milk UHT beverage produced by a dairy industry located in the municipality of Patos de Minas – MG, in which it was possible to identify the process variables for performance evaluation, to describe the process performed and to propose a way of quantifying yield from material balances.

Key words: Milk drink. Yield. Productivity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Objetivo	9
2	REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1	Produção e consumo de lácteos	10
2.2	Soro de leite	12
2.3	Bebida láctea	13
2.3.1	Classificação	14
2.3.2	Composição	15
2.4	Processo de fabricação de bebida láctea não fermentada	15
2.4.1	Bebidas achocolatadas	17
2.5	Avaliação de desempenho em processos	19
2.6	Produtividade	20
2.7	Balanço de massa	21
2.8	Variáveis de processo	22
3	METODOLOGIA	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1	Estudo de caso – Processo de fabricação de bebida láctea UHT achocolatada realizado pela indústria de laticínios	25
4.1.1	Ingredientes	25
4.1.2	Etapas	27
4.2	Variáveis de processo	28
4.2.1	Massa, volume e densidade	28
4.2.2	Teor de gordura	30
4.2.3	Temperatura, densidade e viscosidade	33
4.2.4	Umidade e teor de sólidos	34
4.3	Proposta do cálculo do rendimento do processo	34

5 CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A produtividade é um indicador do desempenho do processo que avalia a eficiência de um sistema, ou seja, mede qual é o nível de uso de recursos (*input*) para a obtenção de resultados ou saídas do sistema (*output*) (PARANHOS FILHO, 2007).

Com os avanços nos sistemas produtivos, atualmente os processos são muito mais eficientes do que décadas atrás. Porém, ainda há espaço para melhorias contínuas e implementação de técnicas de monitoramento da produção. Uma das formas é olhar mais de perto o fundamento dos processos produtivos, que é a transformação de matérias-primas em produtos. O rendimento é uma das formas de avaliação da produtividade, pois é um indicador que pode ser obtido a partir da quantidade produzida de produtos e da quantidade de matérias-primas utilizadas (SOMSEN, 2004).

A avaliação do desempenho de processos é um desafio enfrentado pelas empresas. Dificilmente são encontradas operações que possuam um sistema de avaliação de desempenho bem projetado e implantado, que consiste em uma forma de avaliação das entradas, saídas, eficiência e eficácia dos processos. A eficácia está relacionada com a extensão do alcance dos objetivos da empresa, enquanto a eficiência refere-se à extensão do uso dos recursos da organização (CORRÊA; CORRÊA, 2017).

Neste sentido, na indústria de processamento de leite, o rendimento da produção de bebida láctea UHT achocolatada pode ser determinado a partir das quantidades de matérias-primas utilizadas (*input*) e de produtos produzidos (*output*). O rendimento pode ainda indicar o nível de perdas existentes no processo, ou seja, quanto maior for esse indicador menor é o nível de perdas. Baixos rendimentos indicam má utilização dos recursos empregados. Dessa forma, a quantificação do rendimento pode impulsionar ações corretivas por parte dos gestores de forma a identificar e/ou quantificar as perdas e minimizá-las. Portanto, é importante maximizar a eficiência do processo, pois os custos com a aquisição de matérias-primas constituem um dos principais gastos do negócio (SOMSEN, 2004).

Porém, apesar da relevância da quantificação da produtividade (e identificação de perdas) na busca pela otimização (com um melhor aproveitamento de recursos) do processo industrial, tem-se na literatura uma escassez de estudos que abordem o cálculo do rendimento em processos industriais para monitoramento da produção, mais especificamente, na produção de derivados lácteos.

1.1 Objetivo

O objetivo geral deste estudo foi identificar as variáveis de processo para avaliação do rendimento do processo de produção de bebida láctea UHT achocolatada produzida por uma indústria de laticínios situada no município de Patos de Minas – MG. Como objetivos específicos pretendeu-se:

- descrever o processo produtivo realizado na empresa estudada;
- propor uma forma de cálculo do rendimento do processo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

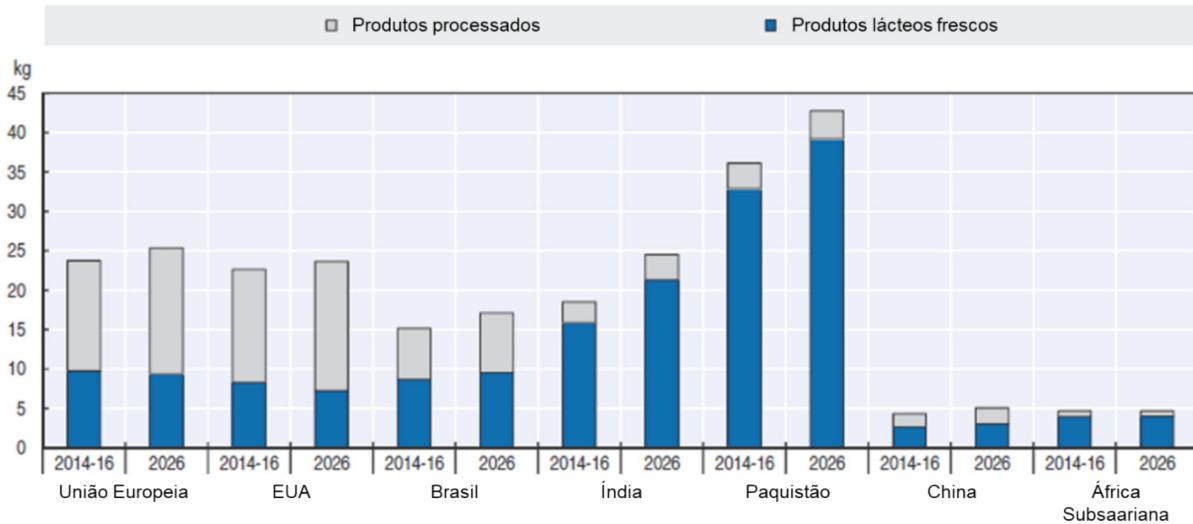
2.1 Produção e consumo de lácteos

Conforme a Instrução Normativa Nº 61 de 29 de dezembro de 2011, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, define-se leite, sem outra especificação, como o produto proveniente da ordenha completa e ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas (BRASIL, 2011). O leite é um alimento excelente para a alimentação humana e ocupa papel de destaque no complexo agroindustrial brasileiro, desde a criação animal até a produção de leite e derivados (OLIVEIRA, 2009).

Segundo relatório da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) de 2018, a produção mundial de leite foi de 811 milhões de toneladas em 2017, 1,4% a mais que em 2016. Na América do Sul, a produção de leite aumentou 2,7% em relação a 2016, para 61,8 milhões de toneladas em 2017. A maior parte dos principais países produtores de leite na América do Sul registrou aumento nos volumes de leite, como Brasil, Colômbia e Peru. No Brasil, a expansão da produção leiteira se deu pelo aumento da produtividade do leite, mas o rebanho leiteiro estabilizou-se em cerca de 40 milhões de cabeças (FAO, 2018). Em 2018 a produção de leite na América do Sul aumentou 1,6%, equivalente a 64,4 milhões de toneladas, resultante do crescimento na produção da Argentina, Brasil, Chile, Uruguai e Colômbia. A produção do Brasil cresceu a uma taxa moderada de 0,8% em 2018, em comparação com 4% em 2017, em parte devido às secas e pela greve dos trabalhadores dos transportes (FAO, 2019).

Com o aumento da renda e da população e com a globalização das dietas, espera-se que mais produtos lácteos sejam consumidos nos países em desenvolvimento. Existem, porém, disparidades regionais expressivas entre os países em desenvolvimento, onde os produtos lácteos frescos continuarão sendo os mais consumidos, contrastando com os países desenvolvidos, onde os consumidores tendem a preferir produtos processados, conforme ilustrado na Figura 1 (OECD/FAO, 2017).

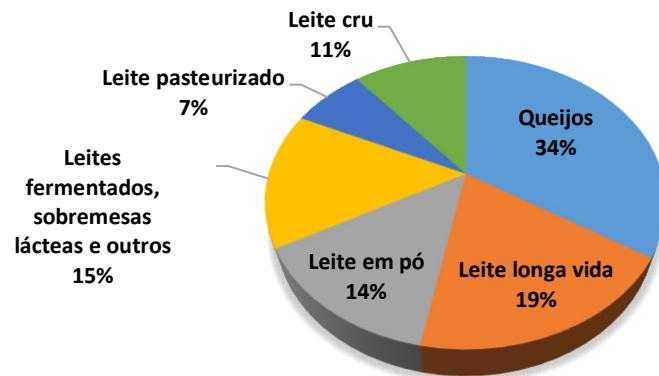
Figura 1 – Consumo per capita de produtos lácteos processados e frescos.



Fonte: Adaptado de OECD/FAO (2017).

O Brasil tem um dos parques industriais mais desenvolvidos na área de laticínios, que transformam hoje em dia quase a metade da produção de leite (cerca de 17 bilhões de litros) em produtos lácteos diversos: queijos, iogurtes, leites fermentados, sobremesas lácteas, doces de leite, creme de leite, entre outros. O restante do leite industrializado no país destina-se à fabricação de leites de consumo (pasteurizado, especiais ou enriquecidos, UHT e em pó). A distribuição do leite industrializado no Brasil é ilustrada na Figura 2. A maioria do leite produzido no país destina-se à fabricação de queijos, seguido do leite longa vida e leite em pó (CRUZ et al., 2017).

Figura 2 – Distribuição percentual do leite industrializado no Brasil.



Fonte: Cruz et al. (2017).

2.2 Soro de leite

A indústria queijeira produz diversos tipos de queijo e durante a sua fabricação há a separação do soro de leite também denominado soro de queijo e lactossoro. A cada 10 L de leite coagulado na elaboração de queijos se estima que sejam produzidos cerca de 6 a 9 L de soro, que varia conforme o tipo de queijo (OLIVEIRA, 2009). O lactossoro é o líquido proveniente da separação das caseínas e da gordura do leite na produção de queijo, sendo por muito tempo considerado um líquido residual ou empregado na alimentação animal. Atualmente, devido aos avanços tecnológicos e aos estudos da sua composição, constitui uma importante matéria-prima na indústria alimentícia e farmacêutica (ORDÓÑEZ PEREDA, 2005).

O lactossoro possui aproximadamente 50% da parte sólida do leite, além da maior parte da lactose, minerais e vitaminas hidrossolúveis (principalmente do grupo B) e ainda 20% das proteínas do leite. Tais proteínas são de excelente qualidade nutricional, pois não possuem deficiência de nenhum aminoácido e são altamente digeríveis. Quando comparadas à caseína, possuem maior teor de aminoácidos essenciais, como triptofano, leucina, isoleucina, treonina e lisina (CRUZ et al., 2017; ORDÓÑEZ PEREDA, 2005). A composição média do lactossoro é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição média do lactossoro.

Componente	Porcentagem
Sólidos totais	5% a 6,9%
Proteínas	0,6% a 0,9%
β-lactoglobulina	0,2% a 0,4% (50% das proteínas do soro)
α-lactoalbumina	0,1% a 0,15% (25% das proteínas do soro)
Imunoglobulinas	0,06% a 0,1%
Albumina sérica	0,01% a 0,04%
Proteose peptona	0,06% a 0,18%
Lactose	3,9% a 5%
Cinzas	0,3% a 0,7%
Gordura	0,1% a 0,35%
Ácido lático	0,1% a 0,8%

Fonte: Oliveira (2009).

Existem dois tipos de lactossoro, dependendo da forma pelo qual foi obtido: o soro ácido, obtido pela coagulação ácida do leite (pH 4,5, aproximadamente) e o soro doce, proveniente da coagulação enzimática do leite (pH 6,4, aproximadamente) (ORDÓÑEZ PEREDA, 2005).

Embora em um primeiro momento o uso do soro tenha sido considerado uma forma de redução de custos com ingredientes, atualmente sabe-se que o uso de produtos de soro promove maior valor agregado aos produtos, devido às melhores características de sabor, textura e parâmetros nutricionais, bem como a redução do problema da poluição ambiental. Dentre as propriedades do soro de leite destacam-se a solubilidade em ampla faixa de pH e as elevadas capacidades de retenção de água e de emulsificação. Desta forma, o custo/benefício favorável na utilização do soro em alimentos é evidente (CRUZ et al., 2017; OLIVEIRA, 2009).

Atualmente, os componentes do soro podem ser modificados, oferecendo inúmeras aplicações para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios, conferindo também propriedades tecno-funcionais aos alimentos como solubilidade, gelificação, viscosidade, emulsificação e formação de espuma (ALVES et al., 2014). O lactossoro tem sido empregado na fabricação de vários produtos como sorvete, balas, produtos cárneos, panificação (ROHLFES et al., 2014), soro em pó, concentrados e isolados proteicos, lactose, bebidas (de frutas, ervas e vegetais, carbonatadas, fermentadas e probióticas) (PANGHAL et al., 2018), ricota (CRUZ et al., 2017) dentre várias outras aplicações.

Os derivados do lactossoro podem ser agrupados conforme o grau e tipo de processamento que foram submetidos nas seguintes categorias: soro doce ou soro ácido em pó; soro com teor reduzido de lactose e soro desmineralizado; concentrados proteicos de soro; isolados proteicos de soro; lactose e frações do soro de leite (OLIVEIRA, 2009).

2.3 Bebida láctea

De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Bebida Láctea (BRASIL, 2005), bebida láctea é definida como o produto resultante da mistura do leite e soro de leite (líquido, concentrado ou em pó) com ou sem adição de produtos ou substâncias alimentícias, gordura vegetal, leites fermentados e outros produtos lácteos. O leite pode ser in natura, pasteurizado, esterilizado, UHT, reconstituído, concentrado, em pó, integral, semidesnatado ou desnatado. A base láctea (leite e soro de leite) representa pelo menos 51% (massa/massa) do total de ingredientes do produto (BRASIL, 2005).

Atualmente, bebida láctea vem ganhando espaço no mercado de produtos lácteos devido às suas características nutricionais e sensoriais, possuindo sabor e textura agradáveis ao consumidor, além de preços mais atrativos. O consumo regular dessas bebidas no país já acontece, sendo o público principal o infantil (de 1 a 11 anos de idade) e composto principalmente por mulheres (56%). O mercado, de forma a atrair novos consumidores, tem lançado inovações nessa área: uso de ingredientes funcionais (prebióticos e probióticos), bebidas com baixo teor de lactose, fortificadas com vitaminas e minerais, com alto teor proteico, com adição de grãos, entre outras (CRUZ et al., 2017).

Para as indústrias de laticínios, a produção de bebidas lácteas é muito viável, pois além de reduzir os problemas ambientais, pode-se aproveitar o soro da produção de queijo, além da possibilidade de uso dos equipamentos disponíveis na própria indústria (CRUZ et al., 2017).

2.3.1 Classificação

De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Bebida Láctea (BRASIL, 2005), pode-se classificar a bebida láctea de acordo com a adição ou não de substâncias alimentícias, de acordo com o tratamento térmico e se houve fermentação. De acordo com a adição ou não de produtos ou substâncias alimentícias é classificada em:

- Bebida láctea com adição: há a adição de produto(s) ou substância(s) alimentícia(s), gordura vegetal, leite(s) fermentado(s) e outros produtos lácteos. A base láctea representa pelo menos 51% massa/massa (m/m) do total de ingredientes.
- Bebida láctea sem adição: não há a adição e a base láctea representa 100% m/m do total de ingredientes do produto.

De acordo com o tratamento térmico é classificada em:

- Bebida láctea pasteurizada: é submetida a uma pasteurização lenta (62°C a 65°C por 30 min) ou a uma pasteurização de curta duração (72°C a 75°C por 15 a 20 s), em equipamentos próprios, sendo resfriada de 2°C a 5°C e, na sequência, envasada.
- Bebida láctea esterilizada: é embalada, submetida a vácuo direto ou indireto e convenientemente esterilizada pelo calor úmido e resfriada imediatamente.
- Bebida láctea UAT ou UHT: é submetida, durante 2 a 4 s, a uma temperatura entre 130°C a 150°C, sendo imediatamente resfriada a uma temperatura inferior a 32°C e, então, envasada sob condições assépticas em embalagens estéreis e hermeticamente fechadas.

De acordo com a realização de processo fermentativo é classificada em:

- Bebida láctea fermentada: é fermentada pela ação de cultivo de microrganismos específicos e/ou adicionada de leite(s) fermentado(s), não sendo submetida a tratamento térmico após a fermentação. A contagem total de bactérias lácticas viáveis deve ser no mínimo, durante todo o prazo de validade, de 10^6 UFC/g, no produto final, para o(s) cultivo(s) láctico(s) específico(s) empregado(s).
- Bebida láctea tratada termicamente após fermentação: é adicionada de cultivo de microrganismos ou de produtos lácteos fermentados e posteriormente submetida a tratamento térmico adequado.

2.3.2 Composição

O Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Bebida Láctea (BRASIL, 2005) define os ingredientes obrigatórios e opcionais para esse produto. Os ingredientes obrigatórios abrangem o leite (in natura, pasteurizado, esterilizado, UHT, reconstituído, concentrado, em pó, concentrado, integral, semidesnatado ou parcialmente desnatado e desnatado), o soro de leite na forma líquida, concentrada ou em pó, e no caso das bebidas lácteas fermentadas inclui-se ainda o cultivo de bactérias lácticas e/ou leite(s) fermentado(s).

Nas bebidas lácteas fermentadas geralmente são utilizados os mesmos microrganismos que são empregados na elaboração de iogurtes: *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus* (CRUZ et al., 2017).

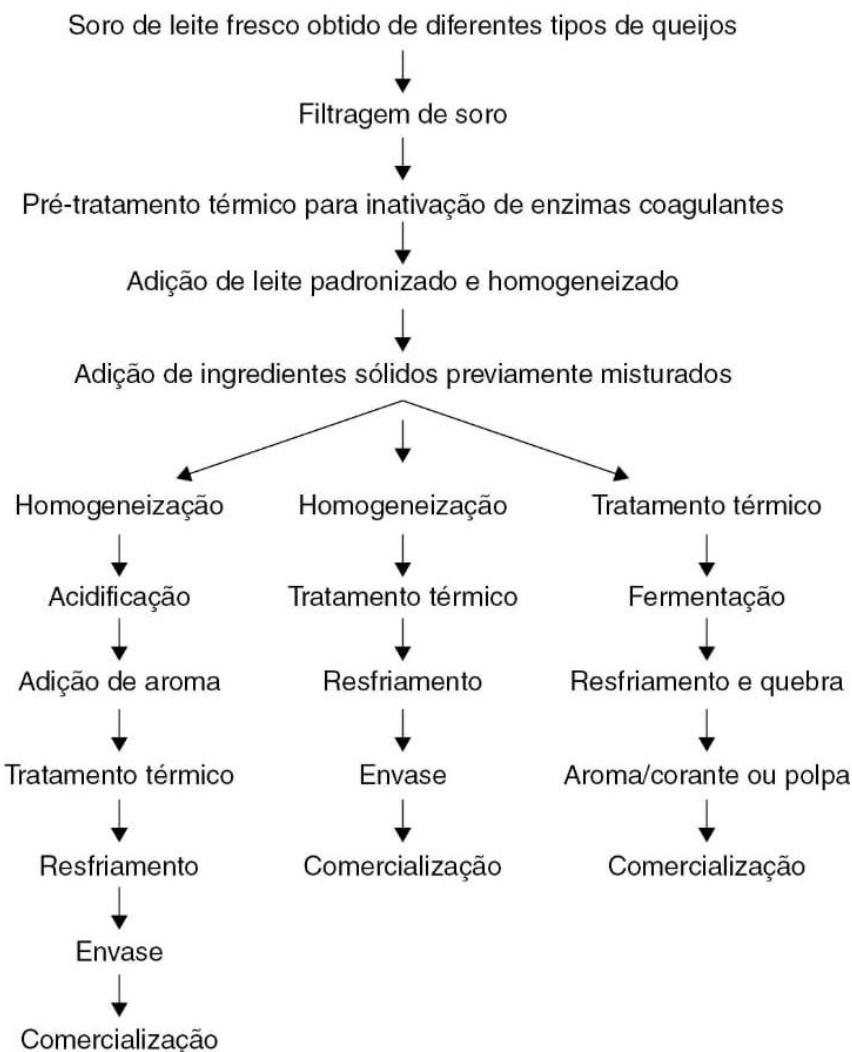
Há uma ampla gama de ingredientes opcionais que podem ser utilizados na elaboração de bebidas lácteas. Dentre os ingredientes opcionais lácteos tem-se creme, sólidos lácteos, manteiga, gordura anidra de leite, caseinatos alimentícios, proteínas lácteas, leitelho, entre outros. Dentre os ingredientes opcionais não lácteos tem-se açúcares e/ou glicídios, maltodextrina, edulcorantes, frutas, preparados de frutas, mel, cereais, vegetais, gorduras vegetais, chocolate, frutas secas, café, especiarias, aromatizantes naturais e inócuos e/ou sabores, amidos (modificados ou não), gelatina ou outros ingredientes alimentícios (BRASIL, 2005).

2.4 Processo de fabricação de bebida láctea não fermentada

O processo de fabricação geral de bebida láctea envolve as etapas exibidas na Figura 3. Diferentes etapas são utilizadas na produção de bebidas lácteas de diferentes tipos, sejam elas pasteurizadas, tratadas por pasteurização ultrarrápida (UHT) ou fermentadas. Em todos esses

processos o lactossoro necessita passar por uma filtração, de modo a remover eventuais sujidades, além de ser submetido a um pré-tratamento térmico que tem como objetivo inativar enzimas coagulantes do processo de fabricação de queijos. Além do soro, há a adição de leite, que é o outro ingrediente básico das bebidas lácteas (CRUZ et al., 2017), conforme abordado no item 2.3.2.

Figura 3 - Processo de fabricação geral de bebida láctea acidificada, pasteurizada e fermentada.



Fonte: Cruz et al. (2017).

No caso das bebidas lácteas fermentadas, após o processo fermentativo é realizado o resfriamento de produto e a quebra do coágulo. Pode-se ainda adicionar polpas, sucos de frutas, aromas e corantes (CRUZ et al., 2017).

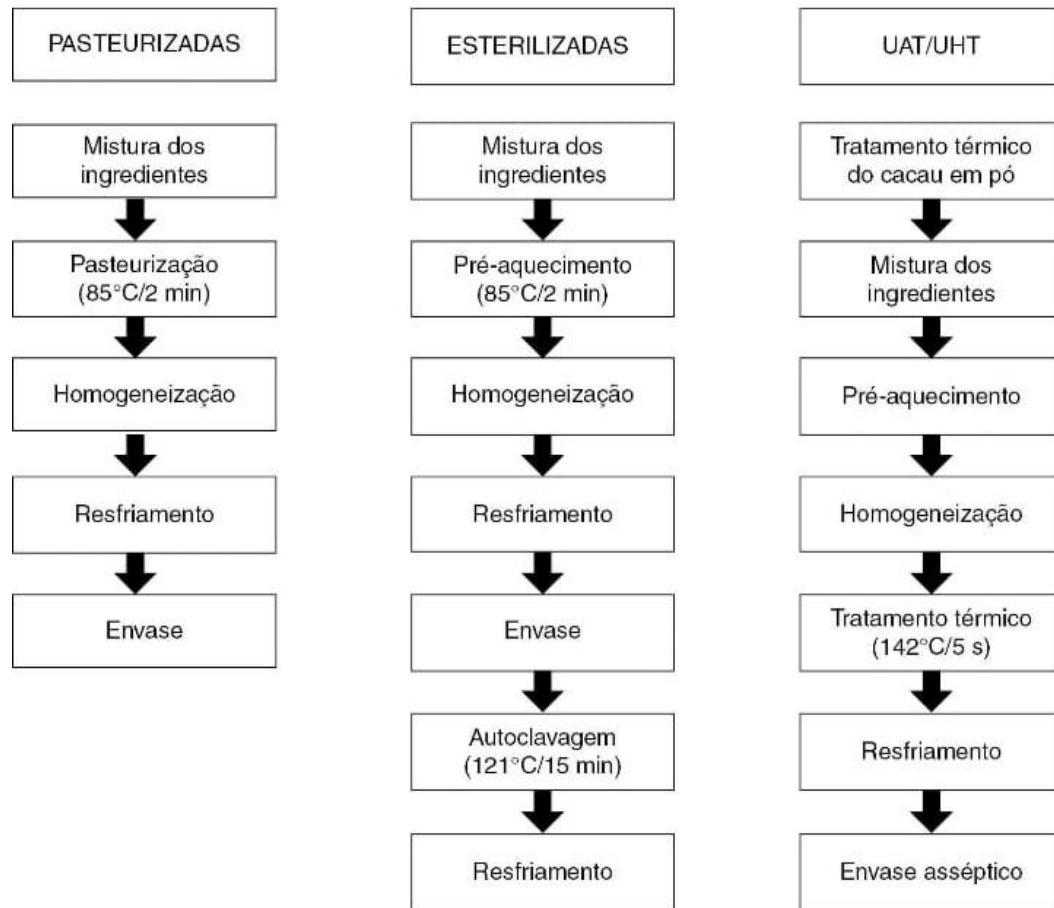
O processo de fabricação de bebidas lácteas não fermentadas abrange operações unitárias como clarificação, separação (desnate), mistura, homogeneização, pasteurização e

esterilização. As bebidas lácteas podem ser feitas com leite integral, parcial ou completamente desnatados e adicionados novamente de quantidade adequada de gordura para se alcançar a padronização de gordura desejada no produto. Para se padronizar os sólidos não gordurosos, geralmente, se adiciona leite em pó desnatado ou proteínas concentradas de soro. A homogeneização reduz o tamanho dos glóbulos de gordura e de outros componentes da bebida, sendo muito importante na estabilidade do produto (OLIVEIRA, 2009).

2.4.1 Bebidas achocolatadas

As bebidas achocolatadas são o produto principal do grupo das bebidas lácteas não fermentadas e são muito comuns no mercado brasileiro. As etapas de produção desse tipo de bebida láctea são apresentadas na Figura 4, e variam conforme o tipo de tratamento térmico empregado (CRUZ et al., 2017; OLIVEIRA, 2009).

Figura 4 – Etapas de produção de bebida láctea achocolatada.



Fonte: Cruz et al. (2017).

As bebidas lácteas achocolatadas são feitas, basicamente, com leite, lactosoro, açúcar, cacau em pó e hidrocoloides, que são adicionados para melhorar a consistência e impedir a sedimentação do cacau (OLIVEIRA, 2009). O cacau em pó é acrescentado ao leite juntamente com soro de leite, açúcar, aditivos (espessantes e estabilizantes) e demais ingredientes, que passam por agitação (CRUZ et al., 2017).

A pré-mistura dos ingredientes secos é vantajosa, pois se obtém boa reidratação e melhoria na dispersibilidade das partículas do pó, sendo indicado quando se emprega pequenas quantidades de estabilizantes (OLIVEIRA, 2009).

O tratamento térmico de pasteurização, ultrapasteurização ou esterilização é feito no fim do processamento para garantir a qualidade do produto ao longo do armazenamento. O tempo de vida de prateleira varia conforme o tratamento térmico utilizado, sendo de aproximadamente 2 meses sob refrigeração para as bebidas lácteas pasteurizadas, 6 meses a temperatura ambiente para as ultrapasteurizadas e 12 meses para as esterilizadas (CRUZ et al., 2017).

Os espessantes também podem servir como estabilizantes, pois evitam que as partículas de cacau se depositem. Quando se utilizam também estabilizantes, a qualidade da bebida láctea achocolatada é melhorada: há a manutenção da distribuição homogênea do cacau no produto, estabilizam a gordura do leite, evitando a separação de fases, estabilizam as proteínas do leite, acrescenta-se corpo e textura ao produto, melhora-se a palatabilidade, a cremosidade e a percepção sensorial. Em bebidas lácteas achocolatadas, os estabilizantes mais comuns são: mono e diglicerídeos, carragena, goma guar, carboximetilcelulose, goma gelana e outros (CRUZ et al., 2017; OLIVEIRA, 2009).

A homogeneização é uma etapa mecânica na qual há a redução de tamanho dos glóbulos do leite ao passarem sob pressão por um orifício, diminuindo o diâmetro médio das partículas e, consequentemente, aumentando a área superficial dos glóbulos de gordura. Essa operação unitária é feita para prevenir a formação da camada de creme na embalagem durante o armazenamento, auxiliando na estabilidade da bebida (OLIVEIRA, 2009).

No que diz respeito às embalagens, geralmente, são utilizadas embalagens cartonadas nas bebidas lácteas ultrapasteurizadas, embalagens de vidro para os produtos esterilizados e embalagens cartonadas de tampa plástica (ou embalagens plásticas) para os produtos pasteurizados (CRUZ et al., 2017).

2.5 Avaliação de desempenho em processos

O progresso de países desenvolvidos se deve, em grande parte, pela eficiência de seus sistemas de produção, que transformam seus recursos (matérias-primas, energia e tempo) em produtos através da organização de pessoas e processos, ou seja, o termo país desenvolvido é sinônimo de país industrializado. O sistema de produção é a parte central de uma organização, e por essa razão, é primordial utilizar com eficiência os recursos disponíveis (PARANHOS FILHO, 2007).

Os elementos constituintes do sistema de produção são os insumos, o processo de criação e conversão, os produtos ou serviços e o sistema de controle. Os insumos são os recursos (matérias-primas) que vão ser transformados em produtos, além da mão-de-obra, capital, equipamentos, instalações, conhecimento técnico etc. O processo de conversão transforma as matérias-primas em produtos. O sistema de controle são as atividades que monitoram a programação da produção, os padrões a serem atingidos, o desempenho da utilização de recursos, a qualidade do produto gerado etc. O sistema de produção sofre influência tanto internas quanto externas, que afetam seu desempenho (MOREIRA, 2013).

Em uma indústria, o fluxo de produção compõe um sistema no qual todas as suas partes necessitam estar integradas de modo a atingir os resultados esperados. Desse modo, quando uma dessas partes não está funcionando corretamente, se faz necessária a existência de mecanismos que forneçam um *feedback* (realimentação) entre as partes, corrigindo os desvios e melhorando continuamente os produtos e processos (PARANHOS FILHO, 2007).

Atualmente, a avaliação de desempenho em produções tem despertado o interesse das empresas. Um dos motivos é o acirramento da competitividade, fazendo as empresas buscarem se diferenciar dos concorrentes em qualidade, serviço, personalização de produtos, inovações e alterações no mercado. A competição não se restringe apenas ao preço, mas também ao valor oferecido, desse modo, as empresas necessitam de informações sobre seu desempenho em relação a diferentes fatores, não apenas no custo (CORRÊA; CORRÊA, 2017).

O nível de desempenho de uma operação é função dos seus níveis de eficiência e eficácia. Eficácia é a extensão de alcance dos objetivos (satisfação das necessidades de clientes e outros grupos). Eficiência é a medida da utilização de recursos pela empresa para promover certo nível de satisfação dos clientes e outros grupos. A Figura 5 ilustra a diferenciação entre esses termos. Portanto, a medição do desempenho é o processo de quantificação da eficiência e da eficácia. A avaliação do desempenho integra o ciclo de planejamento e controle, essencial na gestão da produção. As métricas adotadas para avaliação da eficiência e eficácia podem ser

de custo, qualidade, flexibilidade, velocidade e confiabilidade. As medições de desempenho fornecem dados para comparação com determinados padrões, servindo para sustentar a tomada de decisões de controle do processo (CORRÊA; CORRÊA, 2017).

Figura 5 – Diferença entre eficiência e eficácia.



Fonte: Corrêa e Corrêa (2017).

Alguns exemplos de métricas para avaliação do desempenho são: produtividade, custos de operação, índice de refugos, qualidade relativa percebida do produto, número de reclamações, redução percentual de produtos defeituosos, faixa (variedade) de produtos, tempos de ciclo da operação, tempo de processamento de pedidos, percentual de entregas no prazo etc. (CORRÊA; CORRÊA, 2017).

2.6 Produtividade

De acordo com Paranhos Filho (2007), produtividade é a relação entre as entradas do sistema de produção (*input*) e as saídas ou produtos fabricados no processo (*output*), ou seja, é a relação entre os recursos utilizados e os resultados alcançados, conforme a Equação (1):

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \quad (1)$$

Nos processos industriais busca-se uma elevada produtividade, otimizando a utilização dos recursos (*inputs*) de forma a maximizar a produção (*outputs*) (PARANHOS FILHO, 2007).

Ao se aumentar a produtividade, os custos de produção são menores, uma vez que cada unidade de produto será feita com menor quantidade de insumos. Isso faz com que a competitividade da empresa aumente, proporcionando aumentar, também, sua participação no

mercado e os lucros. Com o aumento dos lucros, a empresa pode investir mais no seu próprio crescimento, aumentando ainda mais sua competitividade (MOREIRA, 2013), havendo a possibilidade de alcançar a liderança no mercado na qual ela atua (PARANHOS FILHO, 2007).

Quaisquer recursos podem ser utilizados como denominador do índice de produtividade (*input*), como energia, mão-de-obra, material utilizado etc. Neste trabalho a produtividade analisada será a de quantidade de matérias-primas utilizadas (*input*) em relação à produção de bebida láctea UHT achocolatada (*output*), ou seja, qual o rendimento do processo.

O monitoramento da produtividade é utilizado como ferramenta de gestão, pois pode-se detectar problemas e verificar o efeito de mudanças tomadas, ou seja, a produtividade serve como um termômetro. A produtividade pode também servir como ferramenta motivacional na rotina do trabalho, bem como para comparar o desempenho das unidades que compõem a empresa (MOREIRA, 2013).

2.7 Balanço de massa

A lei da conservação da massa estabelece que a massa não pode ser criada nem destruída. Dessa forma, o balanço de massa ou balanço material em um sistema é dado, de forma geral, pela Equação (2):

$$\text{ENTRADA} + \text{GERAÇÃO} - \text{SAÍDA} - \text{CONSUMO} = \text{ACÚMULO} \quad (2)$$

em que ‘ENTRADA’ é a massa que entra através das fronteiras do sistema, ‘GERAÇÃO’ é a massa produzida dentro do sistema, ‘SAÍDA’ é a massa que sai através das fronteiras do sistema, ‘CONSUMO’ é o que é consumido dentro do sistema e ‘ACÚMULO’ é a massa que se acumula dentro do sistema (FELDER; ROUSSEAU; BULLARD, 2018).

Em processos em que as espécies não são reativas, os termos ‘GERAÇÃO’ e ‘CONSUMO’ da Equação (2) são nulos. Assim, a Equação (2) se torna a Equação (3):

$$\text{ENTRADA} - \text{ACÚMULO} = \text{SAÍDA} \quad (3)$$

O acúmulo de materiais dentro de equipamentos e tubulações em processos industriais conduz a uma redução da produtividade, uma vez que diminui a quantidade de produtos na saída do processo. Dessa forma, o termo *output* do cálculo da produtividade em processos sem reação se dá pela Equação (3), ou seja, a quantidade produzida será a diferença entre a quantidade de matérias-primas utilizadas e as perdas do processo, representada pelo acúmulo.

2.8 Variáveis de processo

A análise de processos químicos tem como finalidade obter quantidades e propriedades das entradas e saídas do sistema, que compõem as variáveis de processo. Podem compor as variáveis de processo a massa, o volume, a densidade, a temperatura, o teor (proporção ou fração) de determinado componente, a viscosidade, a umidade, o teor de sólidos etc. Entender e conhecer as relações entre tais variáveis é primordial na análise desses processos (BADINO JÚNIOR; CRUZ, 2010).

Nos processos industriais, é comum quantificar os materiais líquidos na forma de volume e os materiais sólidos em massa. A massa específica de uma substância (ou densidade no caso de misturas) é a massa por unidade de volume da substância (Equação (4)). Portanto, a densidade pode ser usada para converter massa em volume e vice-versa (FELDER; ROUSSEAU; BULLARD, 2018).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

Na Equação (4), ρ é a massa específica ou densidade, m é a massa e V é o volume. A determinação da densidade dos componentes pode ser feita de duas formas: utilizando-se densímetro, que é o método oficial segundo o MAPA (BRASIL, 2017), e por picnometria, que é o método utilizado para determinar sólidos no leite (método AOAC 925.22) (NIELSEN, 2010).

O teor de determinado componente pode ser expresso pela sua fração mássica (x), que é a relação entre a massa do componente e a massa total da mistura (BADINO JÚNIOR; CRUZ, 2010).

A temperatura é a medida da energia cinética média das moléculas de determinada substância. Como não se pode medir diretamente essa energia cinética, a temperatura é medida indiretamente com a medição de propriedades de uma substância que variam de forma conhecida com a temperatura, como resistência elétrica, tensão de união de metais e volume de massa fixa de fluido (FELDER; ROUSSEAU; BULLARD, 2018).

A temperatura é uma variável de processo importante no processamento de alimentos e bebidas, uma vez que a densidade de materiais sólidos e líquidos é função apenas da temperatura (BADINO JÚNIOR; CRUZ, 2010). A densidade de líquidos diminui de forma aproximadamente linear do ponto triplo para o ponto de ebulação normal e depois de forma não linear até a densidade crítica (ou volume crítico). Para sólidos, a densidade geralmente diminui

com a temperatura de forma linear. No caso de gases, a densidade varia não apenas com a temperatura, mas também com a pressão (PERRY; GREEN; MALONEY, 1997).

Viscosidade é uma propriedade de fluidos que indica maior ou menor dificuldade no escoamento. É a propriedade que permite equilibrar de forma dinâmica as forças tangenciais externas com o movimento dos fluidos. A viscosidade é diferente para cada fluido e, em um mesmo fluido, varia sobretudo com a temperatura. Para os fluidos na forma líquida, geralmente se observa a diminuição dessa propriedade com o aumento da temperatura. Para fluidos na forma de gás, a viscosidade aumenta com o aumento da temperatura (BRUNETTI, 2008).

A umidade representa o teor de água presente em determinado material. A água pode estar de três formas em sistemas alimentícios: livre, adsorvida e ligada (NIELSEN, 2010). A água livre é aquela situada entre os poros e em espaços intergranulares dos alimentos. A água adsorvida é aquela presente na superfície de macromoléculas como amido, pectina, celulose e proteínas. Já a água ligada está quimicamente ligada com outros componentes (CELESTINO, 2010).

3 METODOLOGIA

O presente estudo é uma pesquisa científica de caráter teórico, no qual se realizou um levantamento bibliográfico na literatura específica, selecionando-se publicações com relevância para o estudo.

Para melhor compreensão do processo de produção de bebida láctea foram feitas visitas e entrevistas na indústria de laticínios situada no município de Patos de Minas – MG, procurando-se conhecer cada etapa do processo e identificar as variáveis que influenciam o rendimento de matérias-primas.

Para propor uma forma de quantificar o rendimento do processo, foram feitos balanços materiais, selecionando-se as variáveis de processo que permitem quantificar as entradas e saídas do processo.

Dessa forma, neste estudo procurou-se fazer uma interconexão entre a pesquisa bibliográfica e o processo industrial, de forma a alcançar os objetivos propostos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo de caso – Processo de fabricação de bebida láctea UHT achocolatada realizado pela indústria de laticínios

4.1.1 Ingredientes

Para a fabricação da bebida láctea, a indústria de laticínios utiliza como ingredientes: soro de leite e/ou soro de leite reconstituído, leite integral e/ou leite em pó reconstituído, açúcar, cacau em pó, sal, mistura de estabilizantes (celulose microcristalina, goma guar, carboximetilcelulose sódica e carragena), aromatizante e estabilizantes citrato de sódio e fosfato dissódico.

O soro de leite é o ingrediente principal da bebida láctea, podendo estar tanto na forma líquida quanto em pó. Quando em pó, o soro é reconstituído com água em quantidade recomendada pelo fornecedor.

O leite integral, o segundo ingrediente mais utilizado no processo, também pode estar tanto na forma líquida quanto em pó, e, da mesma forma que o soro, quando em pó, deve ser reconstituído conforme instruções do fabricante. O leite na forma líquida é obtido de produtores rurais da região e é transportado para o laticínio por meio de caminhões refrigerados, que mantêm a temperatura do leite cru abaixo do limite permitido por legislação até a recepção da matéria-prima na indústria.

Na recepção, são coletadas amostras para a realização de testes que detectam fraudes nessa matéria-prima e seu teor de gordura. Uma vez que não sejam detectadas desconformidades, o leite cru refrigerado é descarregado, seguindo para tanques de armazenamento. O leite, então, passa por uma desnatadeira, com retirada de toda a gordura, realizando, na sequência, a padronização de gordura para um valor em torno de 3,1% m/m. Depois, o leite é pasteurizado e subsequentemente, é distribuído para as linhas de processamentos dos diversos produtos produzidos pela indústria – leite UHT (integral, semidesnatado e desnatado), leites especiais (integral, fonte de ferro e vitaminas A, C e D; semidesnatado, rico em cálcio e fonte de vitamina D) , linha sem lactose (leite UHT, leite condensado e bebida láctea UHT), leite em pó integral, creme de leite, leite condensado e bebidas lácteas UHT.

O açúcar (sacarose) é adicionado para adoçar a bebida, o cacau em pó para conferir sabor e o sal para realçar o sabor, conferindo características sensoriais desejáveis.

A celulose microcristalina (CM) tem sido utilizada em diversas áreas como indústria de alimentos, medicina, indústria farmacêutica, indústria de cosméticos e de polímeros. Na indústria alimentícia é aplicada como emulsificante, estabilizante, antiaglomerante e para substituição de gordura. Na indústria de bebidas atua como agente gelificante, estabilizante, antiaglomerante e agente de suspensão. A amplificação da sua utilização se deve à crescente necessidade de alternativas aos materiais não renováveis. Além disso, a CM possui várias características atrativas para a indústria: é um material renovável, biodegradável, não tóxico, tem boas propriedades mecânicas, elevada área superficial, valor econômico e biocompatibilidade (TRACHE et al., 2016).

Em bebidas, a CM, quando dispersa apropriadamente, forma uma rede de gel capaz de manter em suspensão os sólidos e aumentar significativamente a viscosidades desses produtos. No caso de bebidas achocolatadas, a CM confere cremosidade a esses produtos e mantém uma suspensão uniforme de cacau, cálcio e proteínas até mesmo em temperatura ambiente (KRAWCZYK; VENABLES; TUASON, 2009).

A goma guar tem sido muito utilizada como aditivo no processamento de alimentos devido à sua capacidade de formar ligações de hidrogênio com a água, sendo empregado como estabilizante e espessante (MUDGIL; BARAK; KHATKAR, 2014).

A carboximetilcelulose sódica (ou goma de celulose) é um derivado da celulose encontrado na forma de pó claro a branco, apresentando característica de ser inodoro, insípido e muito higroscópico. Tem sido utilizada mesclada com outros hidrocoloides, podendo conter ainda surfactantes, emulsificantes, conservantes e flavorizantes, que promovem um efeito sinérgico desses aditivos. Essas misturas são utilizadas frequentemente em indústrias de laticínios e panificação (IMESON, 2009).

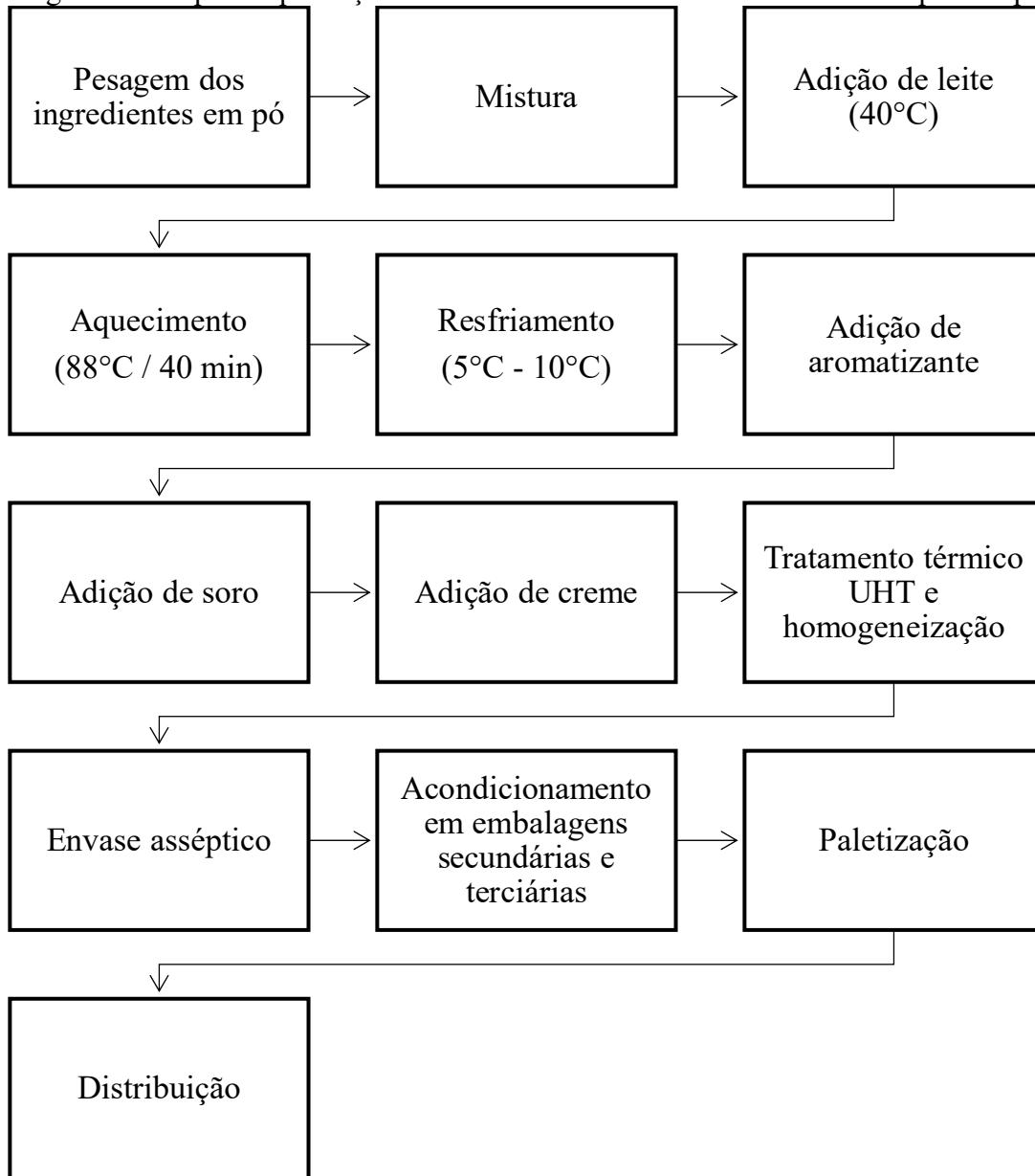
A carragenina pode ser de três tipos, isto é, *kappa*, *lambda* e *iota*. Os tipos *kappa* e *iota* formam géis termicamente reversíveis, com texturas que podem ir de firmes e quebradiças a suaves e elásticas. O tipo *lambda* não possui propriedades gelificantes. A *kappa* carragenina pode interagir sinergicamente com outras gomas, por exemplo, a interação de *kappa* carragenina com *kappa* caseína é muito empregada em produtos lácteos como estabilizante (IMESON, 2009).

Os sais citrato de sódio e fosfato dissódico são amplamente utilizados em produtos lácteos processados para conferir textura uniforme e lisa. Esses aditivos alimentares são também denominados sais emulsificantes pelas propriedades de dispersão da gordura (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

4.1.2 Etapas

As etapas de produção de bebida láctea UHT achocolatada feito pela indústria de laticínios na qual foi realizado este estudo são apresentadas na Figura 6. Apenas as etapas de pesagem dos ingredientes e a transferência desses para o tanque de mistura são feitas por manipuladores, sendo as demais automatizadas.

Figura 6 – Etapas de produção da bebida láctea UHT achocolatada feitas pela empresa.



Fonte: A autora.

O processo se inicia com a pesagem dos ingredientes sólidos, conforme a formulação desenvolvida pela empresa. Essa etapa é feita por operadores utilizando balanças digitais. Os

ingredientes pesados são armazenados em sacos plásticos colocados em paletes até a próxima etapa.

Os ingredientes pesados (açúcar, cacau em pó, sal e estabilizantes) são transferidos para um tanque de mistura, no qual há o acréscimo de leite a 40°C previamente padronizado e pasteurizado, conforme descrito no item 4.1.1.

O líquido resultante do processo de mistura é aquecido a 88°C por 40 min. Depois, é resfriado a uma faixa de temperatura de 5°C a 10°C. Após o resfriamento, há a adição do aromatizante e do soro. A adição de creme é feita para conferir à bebida láctea o padrão de gordura requerido pela empresa (1,5%).

Em seguida, a bebida láctea passa por uma ultrapasteurização e homogeneização para garantir a estabilidade do produto durante o armazenamento. Na sequência, o produto é envasado de forma asséptica em embalagens cartonadas, seguindo para o acondicionamento em embalagens secundárias de papelão e em embalagens terciárias de plástico. Por fim, as caixas são paletizadas e encaminhadas para caminhões que distribuem os produtos em estabelecimentos comerciais.

4.2 Variáveis de processo

No processamento de bebida láctea, as principais variáveis (e/ou propriedades físicas) são massa, volume, densidade, teor de gordura, temperatura, viscosidade, umidade e teor de sólidos, cujo entendimento e relações entre elas são descritas na sequência.

4.2.1 Massa, volume e densidade

Na Figura 7 é ilustrado um esquema no qual o volume de controle é o processo como um todo, as entradas são de matérias-primas e a saída é de produto (bebida láctea UHT achocolatada). As entradas do lado esquerdo do esquema são de matérias-primas sólidas e as entradas do lado direito são de matérias-primas líquidas.

Figura 7 – Entradas e saídas do processo de produção de bebida láctea UHT achocolatada.



Fonte: A autora.

Dessa forma, o *input* do cálculo da produtividade (Equação (1)) de matérias-primas é dado pela soma da massa de todos os ingredientes, representado na Equação (5):

$$\begin{aligned} \text{input} = & m_{LP} + m_{SP} + m_{AC} + m_{CP} + m_S + m_{ME} + m_{CS} + m_{FD} + m_A + m_{LL} \\ & + m_{SL} + m_C + m_{AR} \end{aligned} \quad (5)$$

em que ‘LP’ é o subscrito para leite em pó, ‘SP’ para soro em pó, ‘AC’ para açúcar, ‘CP’ para cacau em pó, ‘S’ para sal, ‘ME’ para mistura de estabilizantes, ‘CS’ para citrato de sódio, ‘FD’ para fosfato dissódico, ‘A’ para água, ‘LL’ para leite líquido, ‘C’ para creme e ‘AR’ para aromatizante. Mas, pela Equação (4), $m = V \cdot \rho$, então, fazendo a substituição para os ingredientes líquidos, uma vez que em processos industriais é comum quantificar os materiais líquidos na forma de volume e os materiais sólidos em massa, a Equação (5) se torna a Equação (6):

$$\begin{aligned} \text{input} = & m_{LP} + m_{SP} + m_{AC} + m_{CP} + m_S + m_{ME} + m_{CS} + m_{FD} + (V \cdot \rho)_A \\ & + (V \cdot \rho)_{LL} + (V \cdot \rho)_{SL} + (V \cdot \rho)_C + (V \cdot \rho)_{AR} \end{aligned} \quad (6)$$

A produção de bebida láctea achocolatada é medida em volume. Desse modo, a produção (*output*) em massa desse produto é dada pela Equação (7):

$$\text{output} = n \cdot V_U \cdot \rho_P = (V \cdot \rho)_P \quad (7)$$

em que n é o número de unidades produzidas, V_U é o volume de bebida em cada embalagem (1 L ou 200 mL) (ou volume unitário) e ρ_P é a densidade da bebida láctea (produto).

Um resumo das entradas e saídas do processo é apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Resumo do balanço material do processo.



Fonte: A autora.

4.2.2 Teor de gordura

O teor de gordura é uma variável a ser considerada, pois impacta diretamente no rendimento, uma vez que há a adição de creme de leite no processo para se atingir o teor de gordura desejado.

Para o cálculo do volume de creme a ser adicionado no processo foi feito um balanço material para a gordura até a etapa da adição de soro (Figura 6). Como simplificação no balanço de massa, desprezou-se o termo ‘ACÚMULO’ da Equação (3). Dessa forma, a Equação (3) se torna a Equação (8):

$$\text{ENTRADA} = \text{SAÍDA} \quad (8)$$

Dentre as matérias-primas adicionadas até essa etapa, apenas o leite (líquido ou em pó) e o soro (líquido ou em pó) possuem gordura. Portanto, no esquema ilustrado na Figura 9 foram colocados apenas os elementos que possuem gordura em sua composição.

Figura 9 – Entradas e saídas de componentes que possuem gordura no processamento de bebida láctea até etapa de adição de soro.



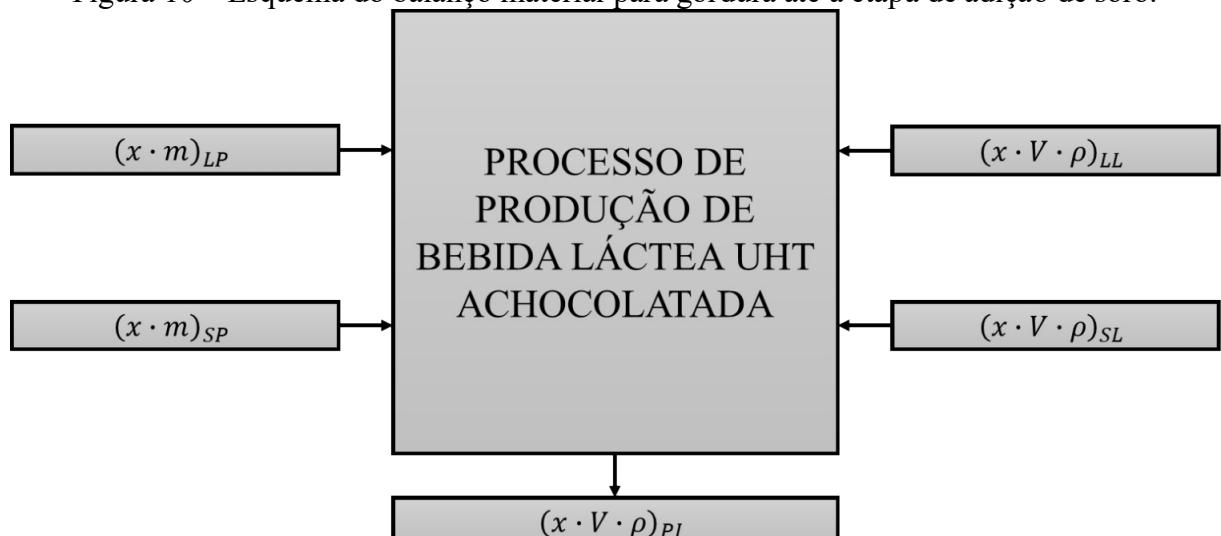
Fonte: A autora.

Então, a partir da Equação (8), realizando um balanço de massa para a gordura chega-se à Equação (9):

$$(x \cdot m)_{LP} + (x \cdot m)_{SP} + (x \cdot V \cdot \rho)_{LL} + (x \cdot V \cdot \rho)_{SL} = (x \cdot m)_{PI} = (x \cdot V \cdot \rho)_{PI} \quad (9)$$

em que x é a fração mássica de gordura em cada componente e ‘PI’ é o subscrito para produto inacabado. Um diagrama de bloco para a obtenção da Equação (9) é ilustrado na Figura 10. As frações mássicas de gordura do leite e do soro são determinadas através de análises laboratoriais.

Figura 10 – Esquema do balanço material para gordura até a etapa de adição de soro.



Fonte: A autora.

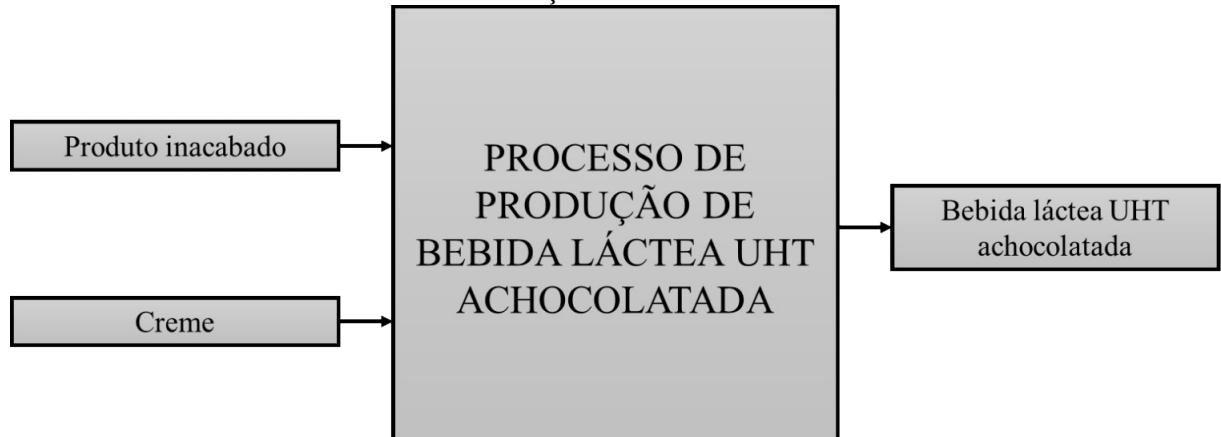
Isolando x_{PI} (Equação (10)), é possível encontrar a fração mássica de gordura no produto inacabado, de acordo com a Equação (10):

$$x_{PI} = \frac{(x \cdot m)_{LP} + (x \cdot m)_{SP} + (x \cdot V \cdot \rho)_{LL} + (x \cdot V \cdot \rho)_{SL}}{(V \cdot \rho)_{PI}} \quad (10)$$

em que as massas de leite em pó (m_{LP}) e de soro em pó (m_{SP}) são as massas obtidas durante a pesagem dos ingredientes, os volumes de leite líquido (V_{LL}), soro líquido (V_{SL}) e de produto inacabado (V_{PI}) são obtidos por medidores presentes nos equipamentos e as densidades são determinadas em laboratório (densímetro ou picnômetro).

Com a adição do creme, as entradas serão de produto inacabado e de creme e a saída será de produto (bebida láctea), conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Entradas e saídas de componentes no processamento de bebida láctea após a adição de creme.



Fonte: A autora.

Dessa forma, o balanço material global para a Figura 11 é representado pela Equação (11) e o balanço material para gordura é representado pela Equação (12) e pela Figura 12:

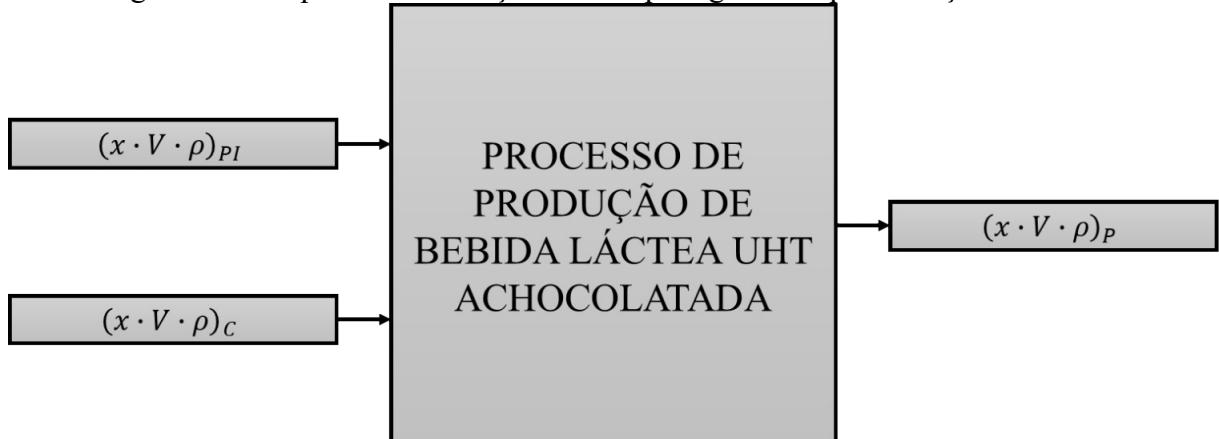
$$m_{PI} + m_C = (V \cdot \rho)_{PI} + (V \cdot \rho)_C = m_P = (V \cdot \rho)_P \quad (11)$$

$$(x \cdot V \cdot \rho)_{PI} + (x \cdot V \cdot \rho)_C = (x \cdot V \cdot \rho)_P \quad (12)$$

Assim, isolando $(V \cdot \rho)_P$ na Equação (12), obtém-se a Equação (13):

$$(V \cdot \rho)_P = \frac{(x \cdot V \cdot \rho)_{PI} + (x \cdot V \cdot \rho)_C}{x_P} \quad (13)$$

Figura 12 – Esquema do balanço material para gordura após a adição de creme.



Fonte: A autora.

Então, igualando as Equações (11) e (13), obtém-se a Equação (14):

$$(V \cdot \rho)_{PI} + (V \cdot \rho)_C = \frac{(x \cdot V \cdot \rho)_{PI} + (x \cdot V \cdot \rho)_C}{x_P} \quad (14)$$

Na sequência, explicitando V_C na Equação (14) chega-se a Equação (15):

$$V_C = \frac{x_P \cdot (V \cdot \rho)_{PI} - (x \cdot V \cdot \rho)_{PI}}{(x \cdot \rho)_C - x_P \cdot \rho_C} = \frac{(V \cdot \rho)_{PI} \cdot (x_P - x_{PI})}{\rho_C (x_C - x_P)} \quad (15)$$

em que x_P é a fração mássica de gordura desejada, x_{PI} é obtida pela Equação (10), x_C é encontrada em análises laboratoriais, V_{PI} é obtido por medidores presentes nos equipamentos e as densidades ρ_{PI} e ρ_C são determinadas em laboratório.

Uma vez que os teores de gordura (frações mássicas) podem ser variáveis, poderá ser acrescentado maior ou menor volume de creme no processo, que pode interferir na densidade do produto, e, consequentemente, no rendimento de matérias-primas da produção de bebida láctea UHT achocolatada.

4.2.3 Temperatura, densidade e viscosidade

Com a variação da densidade promovida pela mudança de temperatura, a massa e o volume dos materiais também irão variar, alterando as entradas e saídas do processo e, dessa forma, também o rendimento. Porém, no processo analisado as temperaturas de cada etapa do processo já são bem definidas e as variações na temperatura são pequenas, pois o processo está sob ação de controladores. Portanto, não se pode manipular a temperatura de forma a aumentar o rendimento, uma vez que a temperatura é uma variável intrínseca do processo.

No processamento de bebida láctea há a adição de agentes estabilizantes, que, conforme abordado anteriormente, promovem aumento significativo da viscosidade do produto. Caso o aumento da viscosidade gerado por esses aditivos aumente de tal forma que supere a diminuição da viscosidade promovida pelo aumento da temperatura, pode haver a formação de incrustações nas paredes dos equipamentos e tubulações, ou seja, o aumento da viscosidade promove uma maior dificuldade do fluido em escoar, e, dessa forma, pode haver a deposição de produto na superfície dos equipamentos e tubulações, promovendo, consequentemente, a diminuição do rendimento do processo.

A temperatura também pode promover perdas evaporativas durante os processos de aquecimento (pasteurização e ultrapasteurização) em casos em que há a liberação do vapor formado, conduzindo a uma redução do rendimento do processo. Em sistemas fechados, o vapor se condensa e permanece no sistema.

4.2.4 Umidade e teor de sólidos

A umidade dos pós é outra variável importante, pois como os materiais em pó são higroscópicos, há a incorporação de umidade do meio. Embora nos balanços realizados não seja uma variável explícita, a incorporação de água promove a diminuição do teor de sólidos presentes nesses ingredientes, afetando, por exemplo, o teor de gordura e, consequentemente, o rendimento.

Dessa forma, é importante armazenar as matérias-primas adequadamente e evitar que fiquem muito tempo em contato com a umidade atmosférica, de modo a não prejudicar o rendimento do processo.

4.3 Proposta do cálculo do rendimento do processo

Para propor uma forma de cálculo do rendimento do processo (produtividade de matérias-primas), considerou-se as variáveis de processo massa, volume e densidade que, conforme visto anteriormente, são as variáveis que quantificam as entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) do processamento de bebida láctea UHT achocolatada.

Dessa forma, foram substituídas na Equação (1) as Equações (6) e (7), obtendo a produtividade de matérias-primas ou rendimento do processo (R), conforme a Equação (16):

$$R = \frac{n \cdot V_U \cdot \rho_P}{m_{LP} + m_{SP} + m_{AC} + m_{CP} + m_S + m_{ME} + m_{CS} + m_{FD} + (V \cdot \rho)_A + (V \cdot \rho)_{LL} + (V \cdot \rho)_{SL} + (V \cdot \rho)_{AR} + (V \cdot \rho)_C} \quad (16)$$

Pode-se ainda substituir a Equação (15) na Equação (16), obtendo a Equação (17):

$$R = \frac{n \cdot V_U \cdot \rho_P}{m_{LP} + m_{SP} + m_{AC} + m_{CP} + m_S + m_{ME} + m_{CS} + m_{FD} + (V \cdot \rho)_A + (V \cdot \rho)_{LL} + (V \cdot \rho)_{SL} + (V \cdot \rho)_{AR} + \frac{(V \cdot \rho)_{PL} \cdot (x_P - x_{PL})}{(x_C - x_P)}} \quad (17)$$

O rendimento, então, é um indicador adimensional (massa/massa) que pode ser expresso tanto em fração (de 0 a 1) quanto em porcentagem (quando multiplicado por 100). Dessa forma, a porcentagem de perdas (P) de matérias-primas no processo (acúmulo ou incrustações, perdas evaporativas etc.) pode ser dado pela Equação (18):

$$P [\%] = 100\% - R [\%] \quad (18)$$

5 CONCLUSÃO

Por meio deste estudo foi possível descrever o processo de produção de bebida láctea UHT achocolatada, identificando as variáveis de processo – massa, volume, densidade, teor de gordura, temperatura, viscosidade, umidade e teor de sólidos – que influenciam no rendimento da produção. Como resultado, foi proposta uma forma de quantificar o rendimento do processo estudado.

Por fim, indica-se a utilização do estudo na monitoração do desempenho do processo analisado, permitindo que a empresa possa maximizar seu desempenho, aumentando sua competitividade no mercado. Como a indústria de laticínios dispõe de uma planta diversificada para produção de derivados lácteos, o estudo realizado para a bebida láctea UHT achocolatada pode servir de base para adaptação em outros processos da empresa.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. P. et al. Soro de leite: Tecnologias para o processamento de coprodutos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 69, n. 3, p. 212-226, 2014. Disponível em: <<http://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/341>>. Acesso em: 8 mar. 2019.
- BADINO JÚNIOR, A. C.; CRUZ, A. J. G. C. **Fundamentos de balanços de massa e energia:** um texto básico para análise de processos químicos. 1. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2010. 236 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 61, de 29 de dezembro de 2011. Aprova o Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado e o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 dez. 2011, seção 1, p. 6. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/33395065/dou-secao-1-30-12-2011-pg-6>>. Acesso em: 17 abr. 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 16, de 23 de agosto de 2005. Aprovar o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Bebida Láctea. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 ago. 2005, seção 1, p. 7. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=12792>>. Acesso em: 28 fev. 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos oficiais para análise de alimentos de origem animal**. Brasília: MAPA, 2017.
- BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. 2. ed. rev. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 448 p.
- CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51 p.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações:** manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 606 p.
- CRUZ, A. G. et al. **Processamento de produtos lácteos:** queijos, leites fermentados, bebidas lácteas, sorvete, manteiga, creme de leite, doce de leite, soro em pó e lácteos funcionais. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. 360 p. (Lácteos).
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.
- FELDER, R. M.; ROUSSEAU, R. W; BULLARD, L. G. **Princípios elementares dos processos químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 632 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION – FAO.
Dairy market review. 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/I9210EN/i9210en.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION – FAO.
Dairy market review: Overview of global dairy market developments in 2018. 2019.
Disponível em: <<http://www.fao.org/3/ca3879en/ca3879en.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2019.

IMESON, A. (ed.). **Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents.** Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2009. 354 p.

KRAWCZYK, G.; VENABLES, A.; TUASON. D. 27 – Microcrystalline cellulose. In: PHILLIPS, G.; WILLIAMS, P. **Handbook of Hydrocolloids.** 2. ed. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2009. p. 740-759. Disponível em: <<https://doi.org/10.1533/9781845695873.740>>. Acesso em: 3 abr. 2019.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações.** 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 626 p.

MUDGIL, D.; BARAK, S.; KHATKAR, B. S. Guar gum: Processing, properties and food applications - A Review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 3, p. 409-418, 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s13197-011-0522-x>>. Acesso em: 3 abr. 2019.

NIELSEN, S. S. **Food analysis.** 4 ed. Springer, 2010. 602 p.

OLIVEIRA, M. N. **Tecnologia de produtos lácteos funcionais.** São Paulo: Atheneu Editora, 2009. 384 p.

ORDÓÑEZ PEREDA, J. A. (Org.) et al. **Tecnologia de alimentos.** Tradução de Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, 2005. 279 p. (Alimentos de origem animal; v. 2)

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION – OECD/FAO.
OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026. Paris: OECD Publishing, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-en>. Acesso em 10 nov. 2018.

PANGHAL, A. et al. Whey valorization: current options and future scenario – a critical review. **Nutrition and Food Science**, v. 48, n. 3, p. 520-535, 2018. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/NFS-01-2018-0017>>. Acesso em: 5 abr. 2019.

PARANHOS FILHO, M. **Gestão da produção industrial.** 20. ed. Curitiba: Ibpex, 2007. 340 p.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J. O. **Perry's chemical engineers' handbook.** 7. ed. New York: McGraw-Hill, 1997. 2640 p.

ROHLFES, A. L. B. et al. Aproveitamento de subproduto de agroindústrias do setor queijo para desenvolvimento de produtos alimentícios e redução de impacto ambiental. **Tecno-Lógica**, v. 18, n. 1, p. 13-18, 2014. Disponível em:

<<https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/4077>>. Acesso em: 8 mar. 2019.

SOMSEN, D. **Production yield analysis in food processing:** application in the French-fries and the poultry-processing industries. 2004. Ph.D. thesis – Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. Disponível em: <<http://edepot.wur.nl/121537>>. Acesso em: 17 jun. 2019.

TRACHE, D. et al. Microcrystalline cellulose: Isolation, characterization and bio-composites application – A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 93, p. 789-804, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813016310169>>. Acesso em: 8 mar. 2019.