



ESTUDO DO CONSUMO ENERGÉTICO COM REAPROVEITAMENTO DE CORRENTES EM INDÚSTRIA DE LEITE CONDENSADO

Camille D. P. BENEDITO¹; Ezequiel M. M. COUTINHO²; Kathryn N. G. DE PAULA³; Mateus O. PEREIRA⁴

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo adaptar um processo de produção de leite em pó em um processo de leite condensado, ambos integrais, utilizando o software DWSIM, com base no projeto proposto por Silva (2020). O processo foi modelado com adaptações estratégicas, incluindo a substituição de equipamentos não disponíveis no software por alternativas funcionais e a implementação de sistemas de recuperação de energia. A análise comparativa demonstrou que a configuração proposta apresenta vantagens significativas em termos de eficiência energética quando comparada a processos convencionais. Embora os resultados sejam promissores, ressalta-se a necessidade de validação experimental, particularmente no que diz respeito ao controle de cristalização do produto final. O trabalho contribui para o desenvolvimento de simulações mais precisas na indústria de laticínios, destacando o potencial de otimização de processos por meio de ferramentas computacionais.

Palavras-chave: DWSIM; Simulação de Processos; Eficiência Energética; Indústria de Laticínios.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil detém o título de maior consumidor mundial de leite condensado, consumo que ultrapassa a casa de 200 mil toneladas por ano (Dias, s.d.). Seu processo produtivo envolve etapas como concentração por evaporação, adição de sacarose e controle rigoroso dos parâmetros operacionais, sendo, portanto intensivo em consumo energético (Vargas *et al.*, 2020).

Diante da crescente demanda, torna-se essencial otimizar os processos produtivos. A simulação computacional com o software DWSIM permite modelar processos industriais com maior precisão, analisando variáveis operacionais, balanços de massa e energia, e identificando oportunidades de eficiência.

Os objetivos deste trabalho foram simular, no software DWSIM, o processo de obtenção do leite condensado como alternativa ao COCO, e adaptar um arranjo originalmente voltado à produção de leite em pó integral, conforme Silva (2020). O modelo inclui regenerador de calor, etapas de pasteurização, evaporador, misturador com sacarose e outros componentes. Após os ajustes, realizou-se uma análise comparativa do consumo energético entre os dois arranjos, a fim de quantificar a energia gasta ou poupada ao adaptar o processo para a produção do leite condensado integral.

¹Aluna, IFSULDEMINAS - Campus Pouso Alegre. E-mail: camille.benedito@alunos.ifsuldeminas.edu.br

²Aluno, IFSULDEMINAS - Campus Pouso Alegre. E-mail: ezequiel.mamedes@alunos.ifsuldeminas.edu.br

³Aluna, IFSULDEMINAS - Campus Pouso Alegre. E-mail: kathryn.paula@alunos.ifsuldeminas.edu.br

⁴Aluno, IFSULDEMINAS - Campus Pouso Alegre. E-mail: mateus1.pereira@alunos.ifsuldeminas.edu.br

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a simulação foi escolhido o software DWSIM, devido à sua baixa complexidade de utilização, e apesar de ser gratuito, possui os principais equipamentos necessários, o que o torna satisfatório para o processo desejado.

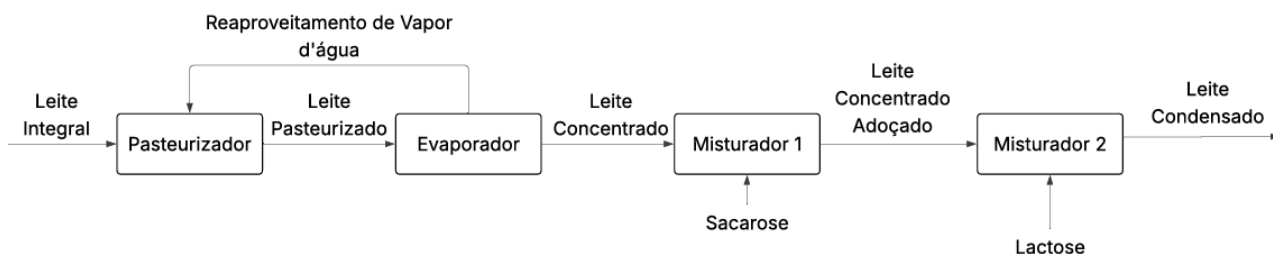
2.1 Biblioteca de componentes

Como o leite não faz parte da biblioteca padrão do DWSIM, seria necessário adicionar manualmente suas propriedades físico-químicas, o que demandaria um esforço considerável. Então após uma série de pesquisas, optou-se por importar seus pseudocomponentes de uma biblioteca externa, específica de compostos alimentícios como alternativa: a base de dados FoodProp, elaborada por Spogis (2021).

2.2 Adaptação dos componentes e equipamentos

Para representar a corrente de leite, foram utilizados pseudocomponentes como lactose, caseína, água, trioleína e NaCl, com base nas proporções do estudo de Silva (2020). Também foram feitas adaptações nos equipamentos, substituindo o pasteurizador e o regenerador por trocadores de calor, já que essas unidades não estão disponíveis no DWSIM. Além disso, optou-se pelo reaproveitamento do vapor do evaporador, visando maior eficiência. Ao final, elaborou-se um fluxograma geral do processo de produção de leite condensado, Figura 1:

Figura 1: Fluxograma geral do processo de produção de leite condensado



Fonte : Elaborado pelos autores (2025).

2.3 Construção da Simulação

Inicialmente, o leite armazenado (5 °C; 5 atm) foi pré-aquecido a 34 °C em regenerador, utilizando o retorno de leite aquecido, reduzindo a necessidade de energia externa. Após a pasteurização, o leite foi resfriado a 5 °C por meio de água resfriada (1 °C), reaproveitando correntes do processo.

Em seguida, ocorreu concentração em evaporador sob vácuo (16 kPa), elevando a temperatura até 70 °C, com retirada de vapor (580,41 kW). O vapor foi recuperado, superaquecido a 99 °C (16 kPa; 13,2 kW) e reintegrado ao ciclo para aquecimento de leite, fechando o ciclo térmico.

O leite concentrado foi misturado com xarope de sacarose a 60 °C, onde se obteve um

Dessa forma, mesmo com um sistema mais simples, o processo de produção de leite condensado com regenerador demonstra ser energeticamente mais eficiente que a rota de leite em pó com regenerador, e seus resultados estão alinhados com os valores de referência encontrados na literatura da área.

A Tabela 1 apresenta os dados de consumo energético dos dois processos simulados. Nota-se que o processo de leite condensado consome 2,49 kWh/kg, valor 42% inferior ao do processo de leite em pó (4,30 kWh/kg). Isso reforça a vantagem da rota com regenerador, mesmo em um modelo simplificado. Os valores obtidos estão de acordo com a literatura técnica, que aponta menor consumo em processos com múltiplos efeitos e reaproveitamento de vapor.

Tabela 1: Comparativo de resultados obtidos

Processo	Vazão(kg/h)	Energia Total (Kw)	Consumo específico (Kwh/kg)
Leite em Pó - Silva (2020)	128,0	550,4	4,30
Leite Condensado - Este Estudo	238,43	593,38	2,49

Fonte : Elaborado pelos autores (2025).

4. CONCLUSÃO

A simulação do processo de leite condensado no DWSIM demonstrou maior eficiência energética em relação à rota de leite em pó com regenerador. Com consumo específico 42% menor, o modelo destaca-se como alternativa viável e alinhada aos dados técnicos disponíveis, evidenciando o potencial da simulação na otimização de processos industriais.

REFERÊNCIAS

- DIAS, Diogo Lopes. **Como é feito o leite condensado?** Mundo Educação (UOL Educação). Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/leite-condensado.htm>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- SILVA, Solange Souza Vieira. **Simulação Do Processo Produtivo De Leite Em Pó Utilizando Um Software Gratuito**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - IFSULDEMINAS, Pouso Alegre, 2020.
- SPOGIS. **FoodProp Database**. 2021. Disponível em: <https://github.com/Spogis/DWSIMFoodProp>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- VARGAS, G. D. et al. **Eficiência energética na produção de leite condensado: uma revisão crítica**. Revista Brasileira de Laticínios, v. 5, n. 1, p. 33–42, 2020.