

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS,
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SERVIÇO SOCIAL

RAUL BELIZÁRIO SOUZA E SILVA

APLICAÇÃO DO DMAIC NA REDUÇÃO DO USO DE
PRODUTOS QUÍMICOS NOS PROCESSOS DE LIMPEZA
EM LINHAS FRIAS

ITUIUTABA
2025

RAUL BELIZÁRIO SOUZA E SILVA

APLICAÇÃO DO DMAIC NA REDUÇÃO DO USO DE PRODUTOS
QUÍMICOS NOS PROCESSOS DE LIMPEZA EM LINHAS FRIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Administração, Ciências
Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço
Social da Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Vanessa Aparecida de
Oliveira

ITUIUTABA

2025

APLICAÇÃO DO DMAIC NA REDUÇÃO DO USO DE PRODUTOS QUÍMICOS NOS PROCESSOS DE LIMPEZA EM LINHAS FRIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Administração, Ciências Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço Social da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção.

Ituiutaba, 05 de maio de 2025.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Vanessa Aparecida de Oliveira, Universidade Federal de Uberlândia

Profa. Dra. Déborah Oliveira Almeida Carvalho, Universidade Federal de Uberlândia

Profa. Dra. Gabriela Lima Menegaz, Universidade Federal de Uberlândia

Dedico este trabalho aos meus pais, por me ensinarem a ser quem eu sou e pelo estímulo e dedicação para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Obrigado pai e mãe. Essa conquista é para vocês e por vocês.

Pai, seu exemplo, sua força e dedicação no trabalho e em tudo que faz formaram quem eu sou hoje. Sou muito grato pelos seus ensinamentos e seu caráter. Te amo! Obrigado!

Mãe, seu amor incondicional e sua força me guiaram até aqui, obrigado pelos ensinamentos e por sempre me apoiar nos momentos difíceis, mesmo quando eu raramente demonstrava isso. Te amo! Obrigado!

Sarah, minha irmã mais velha que sempre foi a minha defesa nos momentos em que meus pais não estavam. Obrigado pelo apoio e orientação na vida e também durante minha caminhada acadêmica. Te amo! Obrigado!

Agradeço a toda a minha família, avôs e avós, vocês fazem parte desta história. Obrigado! Tios e tias por serem exemplos de honestidade e dedicação. Obrigado!

Agradeço aos professores do curso de Engenharia de Produção da UFU, especialmente a minha orientadora Vanessa, que confiou em mim e me guiou na escrita desse trabalho. Muito obrigado!

Por fim, agradeço a Deus, a quem busco diariamente em minha vida, por me proteger em todos os momentos da caminhada e por me fortalecer nos dias difíceis, não permitindo que eu desistisse da vida acadêmica. Muito obrigado!

“Não se gerencia o que não se mede, não se mede
o que não se define, não se define o que não se
entende, e não há sucesso no que não se controla”
(William Edwards Deming)

RESUMO

Na indústria de laticínios, o sistema CIP (*Cleaning In Place*) desempenha papel central na higienização interna de tubulações, tanques e equipamentos, permitindo a remoção de resíduos sem a necessidade de desmontagem dos sistemas produtivos. Este trabalho tem como objetivo aplicar a metodologia DMAIC para reduzir o consumo de produtos químicos nos processos de limpeza CIP (*Cleaning In Place*) em linhas frias de uma indústria do setor de laticínios. A problemática abordada refere-se ao consumo elevado de soda cáustica e ácido nítrico, que representava cerca de 47% dos custos fixos do setor de fabricação. A metodologia aplicada incluiu a utilização de ferramentas como o diagrama de Ishikawa, 5W2H e análise de indicadores de performance. Por meio da aplicação disciplinada das etapas definir, medir, analisar, melhorar e controlar, foi possível identificar causas raízes relacionadas a falhas de vedação, sensores descalibrados e inadequação de processos térmicos. As ações implementadas envolveram a substituição de produtos químicos por um formulado multifuncional, melhorias na manutenção dos equipamentos e padronização dos processos de limpeza. Como resultado, foi obtida uma redução de 34% no consumo de soda cáustica e de 42% no consumo de ácido, com uma economia anual estimada em aproximadamente R\$ 302 mil reais. O projeto demonstrou a eficácia da metodologia DMAIC para promover ganhos operacionais, financeiros e ambientais, além de reforçar a importância da gestão de processos e da melhoria contínua na indústria alimentícia.

Palavras-chave: DMAIC; CIP; melhoria contínua.

ABSTRACT

In the dairy industry, the CIP (Cleaning In Place) system plays a central role in the internal cleaning of pipelines, tanks, and equipment, allowing for the removal of residues without the need to disassemble production systems. This study aims to apply the DMAIC methodology to reduce the consumption of chemical products in Cleaning In Place (CIP) processes in cold lines of a dairy industry. The addressed problem relates to the high consumption of caustic soda and nitric acid, which represented approximately 47% of the fixed costs of the manufacturing sector. The methodology applied included the use of tools such as the Ishikawa Diagram, 5W2H, and performance indicator analysis. Through the disciplined application of the Define, Measure, Analyze, Improve, and Control phases, it was possible to identify root causes related to sealing failures, uncalibrated sensors, and inadequacies in thermal processes. The actions implemented involved the replacement of chemical products with a multifunctional formulation, improvements in equipment maintenance, and the standardization of cleaning procedures. As a result, there was a 34% reduction in caustic soda consumption and a 42% reduction in acid consumption, with an annual savings estimated at approximately R\$ 302,000. The project demonstrated the effectiveness of the DMAIC methodology in promoting operational, financial, and environmental gains, and reinforced the importance of process management and continuous improvement in the food industry.

Keywords: DMAIC; CIP; continuous improvement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Percentual de custos fixos do setor de fabricação.....	12
Figura 2	Histórico do consumo de químicos	13
Figura 3	Diagrama de Ishikawa.....	15
Figura 4	Plano de ação do projeto.....	20
Figura 5	Resultado do uso dos químicos em 2023 x 2024.....	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	OBJETIVOS DE PESQUISA.....	2
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	2
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	2
1.3	JUSTIFICATIVA.....	2
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1	SEIS SIGMA E MELHORIA CONTÍNUA	3
2.2	A METODOLOGIA DMAIC	4
2.2.1	<i>Aplicações do Seis Sigma na Indústria de Alimentos</i>	5
2.3	FERRAMENTAS DA QUALIDADE.....	6
2.4	REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E EFICIÊNCIA OPERACIONAL	7
3	METODOLOGIA.....	8
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	8
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS - ETAPAS.....	9
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E MAPEAMENTO DA REALIDADE EMPRESARIAL	10
4.2	APLICAÇÃO DO DMAIC.....	13
5	CONCLUSÕES.....	23
	REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A Engenharia de Produção é uma área do conhecimento que busca otimizar processos, integrar recursos humanos, materiais e tecnológicos e promover a eficiência dos sistemas produtivos, sempre com foco na geração de valor e na redução de desperdícios. De acordo com Slack et al. (2009), o papel do engenheiro de produção é fundamental para alinhar as operações às estratégias organizacionais, garantindo que os processos sejam projetados, controlados e melhorados continuamente.

No âmbito da gestão da qualidade e da melhoria contínua, o uso de metodologias estruturadas, como o Seis Sigma e o DMAIC, permite que problemas sejam abordados de forma sistêmica e baseada em dados concretos. Conforme Werkema (2012), essas metodologias proporcionam um caminho disciplinado para a identificação de causas raízes, o desenvolvimento de soluções eficazes e a implementação de melhorias sustentáveis, sendo amplamente adotadas em diversos setores industriais.

Especificamente na indústria alimentícia, a gestão rigorosa dos processos de limpeza e sanitização é essencial para garantir a segurança dos alimentos e a qualidade dos produtos. No segmento de laticínios, o sistema CIP (*Cleaning In Place*) desempenha papel central na higienização interna de tubulações, tanques e equipamentos, permitindo a remoção de resíduos sem a necessidade de desmontagem dos sistemas produtivos. Segundo Montgomery (2009), a eficácia do processo de CIP impacta diretamente a qualidade microbiológica dos produtos finais, a eficiência operacional e os custos de produção.

Entretanto, apesar de sua importância, os processos de limpeza CIP podem representar uma fonte significativa de consumo de recursos, especialmente produtos químicos como a soda cáustica e o ácido nítrico. O uso descontrolado desses insumos gera aumento de custos, riscos ambientais e problemas de sustentabilidade. No contexto do presente estudo, foi identificada uma oportunidade de melhoria relacionada ao consumo excessivo de produtos químicos nos processos de CIP em linhas frias de uma indústria de laticínios, que representava aproximadamente 47% dos custos fixos do setor de fabricação.

Diante desse cenário, surgiu a necessidade de aplicar uma metodologia estruturada de melhoria de processos, buscando identificar e eliminar as causas raízes do problema e promover uma gestão mais eficiente dos recursos envolvidos, resultando em benefícios financeiros,

operacionais e ambientais para a organização. Neste contexto, a seguir são apresentados os objetivos do presente trabalho.

1.2 Objetivos de pesquisa

1.2.1 Objetivo geral

Aplicar a metodologia DMAIC para reduzir o consumo de produtos químicos nos processos de limpeza CIP em linhas frias de uma indústria de laticínios, promovendo ganhos operacionais, financeiros e ambientais.

1.2.2 Objetivos específicos

Para que seja possível atingir o objetivo geral, se faz necessário alcançar os seguintes objetivos específicos do estudo:

- Mapear e analisar o consumo atual de produtos químicos nos processos de CIP;
- Identificar as principais causas raízes do consumo elevado;
- Implementar ações corretivas utilizando ferramentas da qualidade;
- Validar a eficácia das mudanças por meio de indicadores de desempenho;
- Desenvolver procedimentos de controle e padronização para sustentar as melhorias implementadas.

1.3 Justificativa

A realização deste estudo se justifica diante da crescente importância da aplicação das metodologias da engenharia de produção para a otimização de processos produtivos, a maximização da eficiência operacional e a promoção da excelência organizacional. A engenharia de produção, ao integrar conceitos de gestão da qualidade, melhoria contínua e análise de processos, proporciona ferramentas robustas para diagnosticar problemas complexos, propor soluções baseadas em dados e assegurar a sustentabilidade das melhorias (Slack et al., 2009). O uso da metodologia DMAIC e de ferramentas da qualidade, como o Diagrama de Ishikawa e o 5W2H, permitem que os projetos sejam conduzidos de forma estruturada, sistemática e com foco em resultados concretos, alinhando teoria e prática conforme enfatizam

Werkema (2012) e Montgomery (2009). Dessa forma, este trabalho contribui para consolidar a importância das abordagens da engenharia de produção no enfrentamento de desafios operacionais, reforçando a capacidade da área em agregar valor às organizações.

Para a companhia, a realização do estudo justifica-se pela necessidade de aprimorar a sua eficiência operacional, reduzindo os custos com insumos químicos, que representavam aproximadamente 47% dos custos fixos do setor de fabricação. A aplicação do DMAIC permite a identificação sistemática das causas raízes do problema. Como destacam George et al. (2005) e Werkema (2012), projetos estruturados com base no DMAIC tendem a trazer resultados sólidos e sustentáveis, promovendo vantagem competitiva e contribuindo para o alinhamento estratégico das organizações com práticas de excelência operacional. Assim, o presente trabalho não apenas contribui para a solução de um problema prático da indústria, mas também demonstra a aplicabilidade das metodologias da engenharia de produção como instrumentos de transformação e geração de valor.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Seis Sigma e Melhoria Contínua

O Seis Sigma é uma metodologia estatística e gerencial voltada para a melhoria da qualidade e eficiência dos processos organizacionais. Desenvolvida inicialmente pela Motorola na década de 1980, a metodologia visa reduzir a variabilidade dos processos e, consequentemente, minimizar defeitos e falhas, aumentando a satisfação dos clientes (Pande; Neuman; Cavanagh, 2001). O nome “Seis Sigma” está relacionado à medida estatística de desvio padrão, representando um nível de qualidade em que ocorrem apenas 3,4 defeitos por 1 milhão de oportunidades.

A filosofia de melhoria contínua, fortemente inspirada pelo conceito japonês de Kaizen, está no cerne do Seis Sigma. Segundo Imai (1994), o Kaizen envolve a participação de todos os colaboradores da organização, promovendo mudanças incrementais contínuas com foco em eliminar desperdícios, reduzir custos e aumentar a produtividade. Assim, o Seis Sigma incorpora práticas do Kaizen, mas com uma abordagem mais estruturada e analítica.

Além disso, o Seis Sigma é considerado uma poderosa ferramenta estratégica quando implementado corretamente, sendo capaz de alavancar resultados financeiros expressivos por meio do aumento da eficiência operacional. Para Slack et al. (2009), a melhoria da qualidade

não está apenas relacionada à conformidade com especificações técnicas, mas também com a redução de retrabalho, desperdícios e falhas em processos críticos.

2.2 A Metodologia DMAIC

Dentro do Seis Sigma, a metodologia DMAIC se destaca como o principal roteiro para projetos de melhoria. O acrônimo DMAIC representa as etapas: definir, medir, analisar, melhorar (*improve*) e controlar. Conforme George et al. (2005), esse ciclo fornece um caminho estruturado, baseado em dados, para a resolução de problemas complexos, tornando o processo de melhoria mais eficiente e sustentável.

Na etapa definir, o foco está na compreensão do problema, no escopo do projeto e nas necessidades dos clientes internos e externos. Essa fase inclui a elaboração do contrato do projeto e a identificação das metas de desempenho. De acordo com Pande, Neuman e Cavanagh (2001), uma definição clara do problema é fundamental para o sucesso do projeto, pois garante o alinhamento das expectativas e dos recursos alocados.

A fase medir visa coletar dados confiáveis que descrevam o desempenho atual do processo, identificando as variáveis críticas que afetam os resultados (Montgomery, 2009). A construção de um sistema de medição robusto é essencial para que a análise subsequente seja fundamentada em dados precisos e representativos da realidade do processo.

Na fase analisar, são utilizadas ferramentas estatísticas e de qualidade, como o diagrama de causa e efeito (Ishikawa), o gráfico de Pareto e a análise de regressão, para investigar as causas raízes do problema. Werkema (2006) ressalta que a identificação correta dessas causas é o que assegura a eficácia das ações corretivas e diferencia o DMAIC de outras abordagens de solução de problemas.

Em melhorar, implementam-se soluções que atacam diretamente essas causas raízes. Esta etapa inclui o planejamento, a execução de testes pilotos e a validação das ações propostas. Costa Neto (2010) destaca que a fase de melhoria deve buscar soluções robustas, que promovam não apenas ganhos temporários, mas a transformação efetiva do processo.

Finalmente, na fase controlar, estabelecem-se métodos de monitoramento e padronização para manter as melhorias alcançadas e evitar a reincidência dos problemas (Slack et al., 2009). A criação de planos de controle, auditorias periódicas e treinamentos de equipes são práticas recomendadas para garantir a estabilidade do processo no longo prazo.

A aplicação correta do DMAIC proporciona resultados consistentes em diferentes setores industriais, contribuindo para o aumento da competitividade, confiabilidade e

lucratividade da organização. Werkema (2012) afirma que o rigor metodológico do DMAIC, aliado ao uso sistemático de dados e estatísticas, é o que possibilita alcançar melhorias significativas e sustentáveis.

2.2.1 Aplicações do Seis Sigma na Indústria de Alimentos

A indústria de alimentos possui uma complexidade operacional elevada, exigindo elevado controle sanitário, padronização de processos e rastreabilidade. De acordo com Costa Neto (2010), a adoção de sistemas de gestão da qualidade robustos é essencial nesse setor, especialmente no que diz respeito à segurança dos alimentos e conformidade com normas regulatórias.

O Seis Sigma tem sido amplamente utilizado por empresas alimentícias em projetos voltados para redução de perdas, controle de processos críticos e aumento da produtividade. Em laticínios, especificamente, destacam-se projetos voltados à redução do consumo de químicos em sistemas CIP, otimização do uso de água, controle do teor de sólidos e padronização de receitas e processos.

Casos documentados por Werkema (2012) demonstram que a metodologia tem possibilitado reduções expressivas nos custos operacionais em empresas alimentícias. A estrutura do DMAIC permite identificar as variáveis que impactam diretamente no consumo de químicos e propor melhorias como a automação de dosagens, revisão de procedimentos operacionais padrão (POPs) e capacitação de operadores.

Portanto, a aplicação do Seis Sigma na indústria de alimentos, especialmente por meio do DMAIC, oferece vantagens competitivas claras, ao mesmo tempo em que contribui com os objetivos de sustentabilidade, qualidade e eficiência produtiva.

2.3. Ferramentas da Qualidade

As ferramentas da qualidade são métodos estruturados utilizados para auxiliar na identificação, análise e solução de problemas em processos organizacionais. Conforme apontam Werkema (2012) e Ishikawa (1985), essas ferramentas são essenciais para promover a melhoria contínua, facilitando a visualização de informações, a análise de causas e a tomada de decisão baseada em dados. As sete ferramentas da qualidade, consolidadas na literatura e amplamente empregadas na prática industrial, são:

- Diagrama de causa e efeito (Ishikawa): ferramenta visual que organiza as causas potenciais de um problema em categorias específicas, possibilitando uma análise sistemática e aprofundada dos fatores envolvidos (Ishikawa, 1985).
- Folha de verificação: método simples de coleta de dados, utilizado para registrar e organizar informações de forma estruturada, facilitando a posterior análise estatística (Werkema, 2012).
- Gráfico de Pareto: técnica baseada no Princípio de Pareto (80/20), que permite identificar quais causas são mais relevantes na geração de um problema, priorizando as ações corretivas (Juran, 1992).
- Histograma: gráfico de barras que representa a distribuição de dados, auxiliando na identificação de padrões, dispersões e tendências nos processos (Montgomery, 2009).
- Diagrama de dispersão: ferramenta gráfica que analisa a relação entre duas variáveis, permitindo identificar correlações que podem explicar causas de variações no processo (Werkema, 2012).
- Cartas de controle: instrumentos de monitoramento de processos ao longo do tempo, utilizados para detectar variações fora dos limites aceitáveis, ajudando a garantir a estabilidade dos processos (Montgomery, 2009).
- Fluxograma: representação gráfica sequencial das etapas de um processo, importante para mapear o fluxo de atividades e identificar possíveis gargalos e ineficiências (CAMPOS, 2004).

O uso adequado dessas ferramentas possibilita à organização entender melhor seus processos, eliminar causas de problemas e melhorar continuamente seus produtos e serviços. De acordo com Corrêa e Giansi (2011), a combinação dessas técnicas fortalece a base analítica da gestão da qualidade, contribuindo para o aumento da produtividade e da satisfação dos clientes.

No presente trabalho, foram utilizadas com ênfase duas ferramentas específicas: o Diagrama de Ishikawa e o 5W2H, fundamentais para o diagnóstico das causas e a estruturação das ações de melhoria no processo de limpeza CIP em linhas frias.

O diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de espinha de peixe ou diagrama de causa e efeito, foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa na década de 1960. Esta ferramenta permite identificar e organizar, de forma lógica e categorizada, as possíveis causas de um problema, agrupando-as em categorias como máquina, método, mão de obra, matéria-prima, meio ambiente e medição (Ishikawa, 1985). Em projetos de melhoria contínua, como o

abordado neste estudo, o diagrama de Ishikawa foi essencial para a identificação sistemática das causas raízes associadas ao consumo elevado de produtos químicos, permitindo um entendimento aprofundado das variáveis críticas que impactavam o processo.

Por sua vez, o 5W2H é uma ferramenta prática de gestão de ações, composta pelas perguntas: *What* (o quê?), *Why* (por quê?), *Where* (onde?), *When* (quando?), *Who* (quem?), *How* (como?) e *How much* (quanto?). Segundo Werkema (2012), o 5W2H é eficiente para planejar, organizar e acompanhar a execução de planos de ação de maneira clara e objetiva. Sua utilização no contexto deste trabalho proporcionou uma visão detalhada das ações necessárias para corrigir as falhas detectadas, estruturando os esforços da equipe de modo a garantir o cumprimento das metas de redução do consumo químico.

2.4 Redução de Desperdícios e Eficiência Operacional

A eficiência operacional é um objetivo central da gestão da produção, e está intimamente ligada à eliminação de desperdícios e à utilização racional dos recursos disponíveis. Segundo Corrêa e Ganesi (2011), desperdício é tudo aquilo que consome recursos e não agrega valor ao cliente final. Dessa forma, sua eliminação representa uma oportunidade de melhoria em qualquer processo produtivo.

Na indústria de laticínios, os desperdícios mais comuns envolvem perdas de matéria-prima, consumo excessivo de água e insumos químicos, retrabalho, tempos de parada e falhas em equipamentos. O uso descontrolado de produtos químicos nas etapas de higienização, por exemplo, pode gerar impacto financeiro e ambiental considerável, além de comprometer a segurança alimentar dos produtos.

A aplicação da metodologia DMAIC permite mapear com precisão essas fontes de desperdício, propondo ações baseadas em dados concretos e na análise de causa raiz. Werkema (2012) ressalta que, por meio do uso combinado de ferramentas estatísticas e da gestão visual, o Seis Sigma viabiliza a construção de processos mais enxutos e eficientes, promovendo uma cultura organizacional voltada para resultados.

Além disso, práticas sustentáveis ganham destaque nesse contexto, pois a redução do consumo de químicos está alinhada aos princípios da produção mais limpa e à responsabilidade socioambiental das empresas. Assim, o Seis Sigma se apresenta como um caminho eficaz para empresas que desejam se destacar tanto pela qualidade quanto pelo compromisso com o meio ambiente.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Pesquisa

A presente pesquisa é classificada como aplicada, pois busca gerar conhecimento para a resolução de um problema prático, neste caso, o consumo excessivo de produtos químicos nos processos de CIP de uma indústria de laticínios. Conforme Gil (2017), a pesquisa aplicada visa solucionar questões concretas, articulando conhecimentos teóricos com demandas do ambiente organizacional.

A abordagem metodológica é quantitativa e qualitativa, caracterizando-se como uma pesquisa de natureza mista. Segundo Creswell (2010), a combinação dessas abordagens possibilita uma compreensão mais ampla e profunda dos fenômenos estudados: os dados quantitativos permitem mensurar o impacto das intervenções, enquanto os dados qualitativos enriquecem a análise com percepções e contexto operacional.

Além disso, o estudo adota uma estratégia de estudo de caso. Yin (2015) ressalta que o estudo de caso é indicado quando o pesquisador deseja explorar um fenômeno contemporâneo inserido em um contexto real, com fronteiras não claramente definidas entre o fenômeno e seu ambiente.

Os dados foram obtidos a partir de registros operacionais internos, com foco no volume de produtos químicos utilizados ao final de cada dia. O consumo foi monitorado por meio de leitura direta dos tanques de armazenagem e registros históricos tabulados em planilhas, que posteriormente são levados como um indicador da reunião operacional diária.

Para a análise, foram utilizadas ferramentas clássicas da qualidade e melhoria de processos, como: diagrama de Ishikawa, para identificação das causas potenciais dos problemas (Ishikawa, 1985); 5W2H, como ferramenta de planejamento das ações corretivas; indicadores de performance, como o consumo específico (litros por kg de produto processado); *benchmarking* interno, comparando o consumo entre períodos com e sem a aplicação do projeto.

A triangulação dessas ferramentas, conforme defendido por Thiollent (2011), contribui para maior confiabilidade e validade na análise dos resultados, assegurando que as ações corretivas estejam sustentadas por dados robustos.

3.2 Procedimentos Metodológicos – Etapas do DMAIC

O desenvolvimento do trabalho seguiu as etapas do ciclo DMAIC, conforme preconizado pelo Six Sigma:

- Definir: identificação do problema que afetava em 47% do custo fixo do setor de fabricação anualmente, delimitação do escopo e definição dos objetivos do projeto. Foi elaborado um contrato do projeto, contendo os indicadores críticos, metas mensuráveis, responsáveis e prazos.
- Medir: coleta de dados históricos e em tempo real do consumo dos produtos químicos (soda cáustica e ácido nítrico) diariamente para observar variações ao longo do tempo.
- Analisar: aplicação do Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa) e 5W2H para identificar causas raízes. Foram investigadas questões relacionadas a falhas de vedação, dosagens imprecisas, ausência de manutenção preventiva e problemas com sensores.
- Melhorar: implementação de um produto formulado que substitui os dois produtos anteriores, com concentração e propriedades adequadas para a remoção simultânea de resíduos orgânicos e minerais. Essa ação foi acompanhada de um plano de melhoria estruturado em 16 etapas.
- Controlar: desenvolvimento de procedimentos padronizados e controles operacionais, incluindo *checklists*, treinamentos operacionais, monitoramento microbiológico e auditorias internas mensais. O objetivo foi assegurar a sustentabilidade da melhoria e evitar a reincidência dos desvios.

Esse modelo metodológico garantiu rastreabilidade, padronização e sistematização, promovendo uma melhoria contínua baseada em evidências e alinhada às boas práticas da Engenharia de Produção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da empresa e mapeamento da realidade empresarial

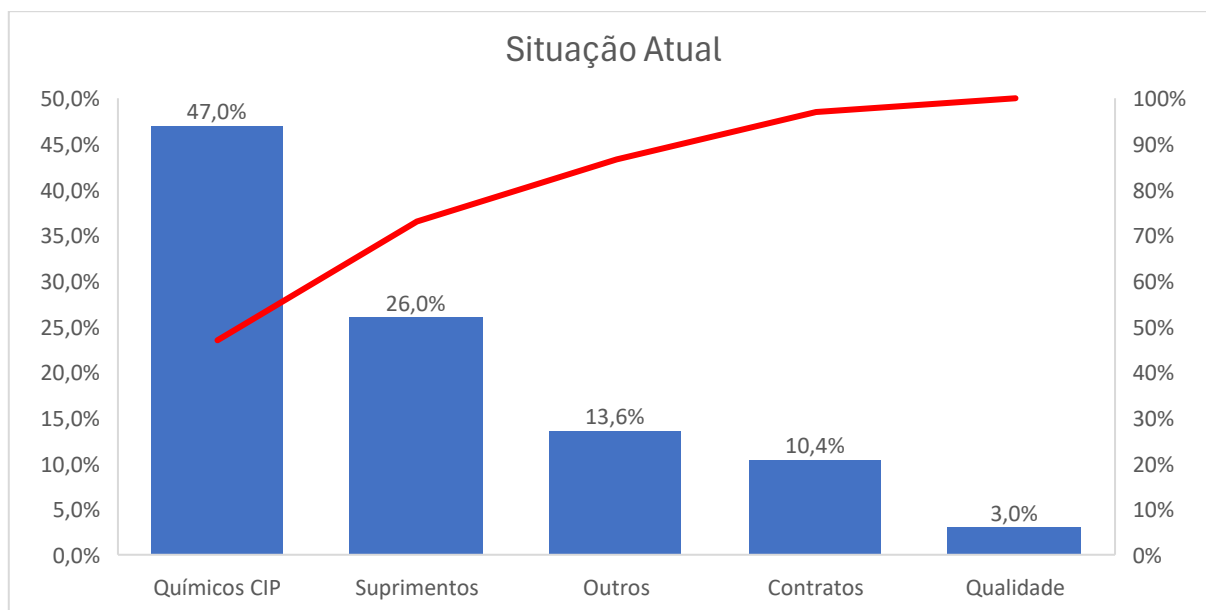
A empresa do presente estudo é do ramo alimentício, uma das maiores do mundo. Conta com uma variedade de produtos, desde alimentação e nutrição infantil, alimentos médicos, água, cereais matinais, café e chá, produtos de confeitaria, produtos lácteos, sorvetes, lanches e

alimentos para animais de estimação. Está presente em 191 países e emprega cerca de 328 mil pessoas. Em suas operações no Brasil e no mundo, ela segue padrões rigorosos de qualidade e segurança alimentar, sempre buscando melhorias contínuas em seus processos produtivos. O setor de laticínios da empresa tem uma grande importância estratégica, sendo responsável por uma significativa parcela do faturamento global, além de desempenhar um papel crucial no mercado de produtos lácteos.

Nesse contexto, a limpeza e a sanitização dos equipamentos de produção de laticínios são essenciais para garantir a qualidade microbiológica e sensorial dos produtos, além de atender às normas regulamentadoras de segurança alimentar. Para isso, uma das limpezas utilizadas é o processo de CIP, um método de limpeza utilizado principalmente nas indústrias alimentícia, farmacêutica e de bebidas, permitindo a higienização interna de tubulações, tanques e equipamentos sem a necessidade de desmontagem. Esse sistema utiliza fluxo controlado de soluções químicas, água e, em alguns casos, vapor, removendo resíduos e contaminantes de forma eficiente e automatizada. Tradicionalmente, o CIP é realizado em ciclos que incluem uma fase alcalina, responsável por remover gorduras e proteínas, e uma fase ácida, que elimina depósitos de minerais, garantindo a segurança e a qualidade dos produtos processados que, de forma tradicional, utiliza ciclos separados de fase alcalina e ácida, conforme explicado mais adiante.

No final de 2023, a equipe de cada setor se dedicou a um estudo aprofundado para mapear com mais clareza o que precisava ser feito para que a unidade alcançasse os objetivos traçados para o próximo ano. Esse processo envolveu uma análise crítica dos dados disponíveis, reuniões com demais setores e identificação das principais demandas e gargalos. A partir disso, foi possível listar e priorizar uma série de projetos considerados fundamentais para o avanço da unidade ao seu objetivo. Em um comitê, cada necessidade foi avaliada com cuidado, sempre com foco em alinhar as ações propostas às metas estratégicas pré-definidas. Por fim, esse levantamento permitiu identificar que o consumo de produtos químicos utilizados nas limpezas CIP das linhas de produção representavam aproximadamente 47% dos custos fixos do setor de fabricação, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Percentual de custos fixos do setor de fabricação



Fonte: Autoria própria (2025)

A partir dessa constatação, surgiu a ideia de desenvolver o projeto abordado neste estudo. Porém, além da redução do consumo de químicos no quesito financeiro, se fez também necessário fazer a validação do processo de CIP, garantindo que haja eficácia da limpeza através do controle microbiológico das linhas de produção.

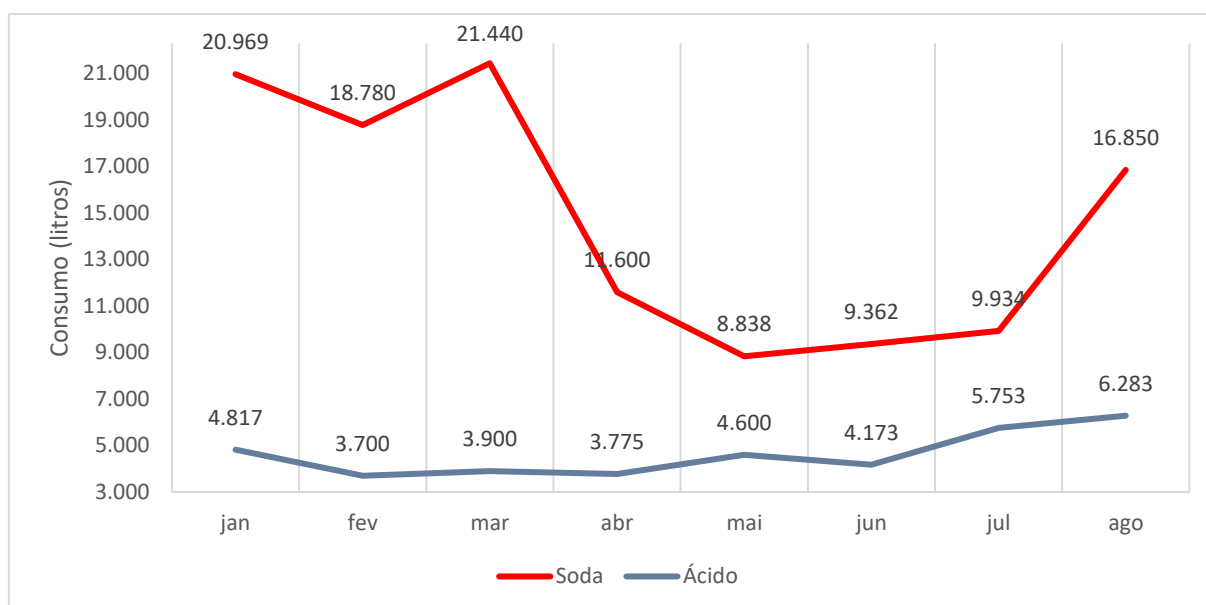
Antes da aplicação do trabalho, o CIP das linhas frias seguia com o uso das fases alcalinas e ácida, com o seguinte fluxo:

- enxague inicial: tem como objetivo remover os resíduos solúveis em água, para reduzir também a carga orgânica e preparar o sistema para as fases seguintes; usa-se água em temperatura ambiente.
- fase alcalina: visa a remoção das sujidades orgânicas, como proteínas e gorduras; usa-se aqui detergentes alcalinos, normalmente com pH maior do que 11 e que ajudam a quebrar as ligações peptídicas das proteínas e emulsificar as gorduras; durante essa fase, é utilizado como base o hidróxido de sódio (NaOH) (soda).
- enxágue intermediário: se faz entre a fase alcalina e ácida, com a missão de eliminar qualquer resíduo de soda que ficou no circuito e para evitar a reação entre os químicos; utiliza-se água em temperatura ambiente.
- fase ácida: essa fase é realizada para remover os resíduos de minerais presentes no leite, como cálcio e outros calcários, usando aqui o ácido nítrico (HNO₃); esse composto quebra os depósitos calcários e reduzem a formação de incrustações.

- enxague final: tem como objetivo eliminar qualquer resíduo químico que restou nos equipamentos que possam prejudicar a qualidade do produto final ou contaminar a produção, usando água limpa em temperatura controlada.

A Figura 2 apresenta o consumo da soda e do ácido, nos períodos de janeiro a agosto de 2023.

Figura 2 – Histórico do consumo de químicos



Fonte: Autoria própria (2025)

Conforme observado na Figura 2, observa-se uma redução significativa no consumo de soda no período de abril a julho. Tal redução está relacionada principalmente à queda da produção nesse intervalo, motivada pelo menor recebimento de leite e, consequentemente, pelo menor volume de processamento de produtos. Essa diminuição no ritmo produtivo impactou diretamente a quantidade de ciclos de limpeza CIP realizados, reduzindo proporcionalmente o uso de produtos químicos. Em contrapartida, o consumo de ácido nítrico manteve-se relativamente constante, uma vez que é utilizado em menores quantidades durante os ciclos de limpeza e, ainda, porque parte dos caminhões realiza apenas a limpeza com soda, sem a etapa ácida. Essa particularidade operacional contribui para uma menor oscilação no consumo desse insumo ao longo do tempo. Nos meses subsequentes, com o aumento no volume de produção, observa-se uma tendência de elevação no consumo dos produtos químicos, seguindo a demanda do processo de limpeza.

O escopo do projeto foi fazer o CIP em fase única, utilizando um produto formulado que já é utilizado no processo de limpeza CIP dos tanques dos caminhões que fazem a entrega das matérias primas lácteas na unidade. Em contato com o fornecedor, ele orientou para seguir com a alteração do procedimento da limpeza e toda a equipe deu o suporte necessário para a realização do projeto. O mesmo produto era utilizado também em outros laticínios com a mesma finalidade, CIP em linhas frias. Esse formulado tem como base hidróxido de sódio com a adição de alguns solventes e sequestrantes, que eliminam a necessidade da fase de limpeza ácida, pois os seus aditivos ajudam a remover os residuais calcários.

4.2 Aplicação do DMAIC

O projeto teve início em setembro de 2023. Trata-se de um DMAIC onde foi utilizado o nível *White Belt*, que condiz com o nível inicial de certificação em metodologias de melhoria contínua, como o *Six Sigma* e o *Lean*. Os indivíduos com essa certificação possuem um entendimento básico dos princípios e ferramentas dessas metodologias, sendo capazes de participar de projetos de melhoria e apoiar equipes em iniciativas de qualidade. O *White Belt* é frequentemente visto como o primeiro passo para níveis mais avançados de certificação, como o *Yellow Belt* e o *Green Belt*, que exigem conhecimentos mais aprofundados e habilidades práticas na aplicação das técnicas de melhoria.

Inicialmente, foi realizada a etapa de Definição (D) do escopo do projeto, na qual foi elaborado o contrato do projeto. Essa fase exigiu a coleta de informações estruturais, como: objetivo (meta), descrição do problema e das oportunidades identificadas, além dos benefícios esperados com a execução do projeto (tanto diretos quanto indiretos) e a definição da equipe responsável por sua implementação. Na sequência, no mês de outubro, foram desenvolvidas as etapas de Medição (M) e Análise (A). Como a fábrica já monitorava o consumo diário dos produtos químicos utilizados nos processos CIP por meio de leituras no campo do nível dos tanques do químico concentrado, foi necessário apenas consolidar esses dados em bases semanais e mensais para viabilizar as análises, conforme apresentado na Tabela 1.

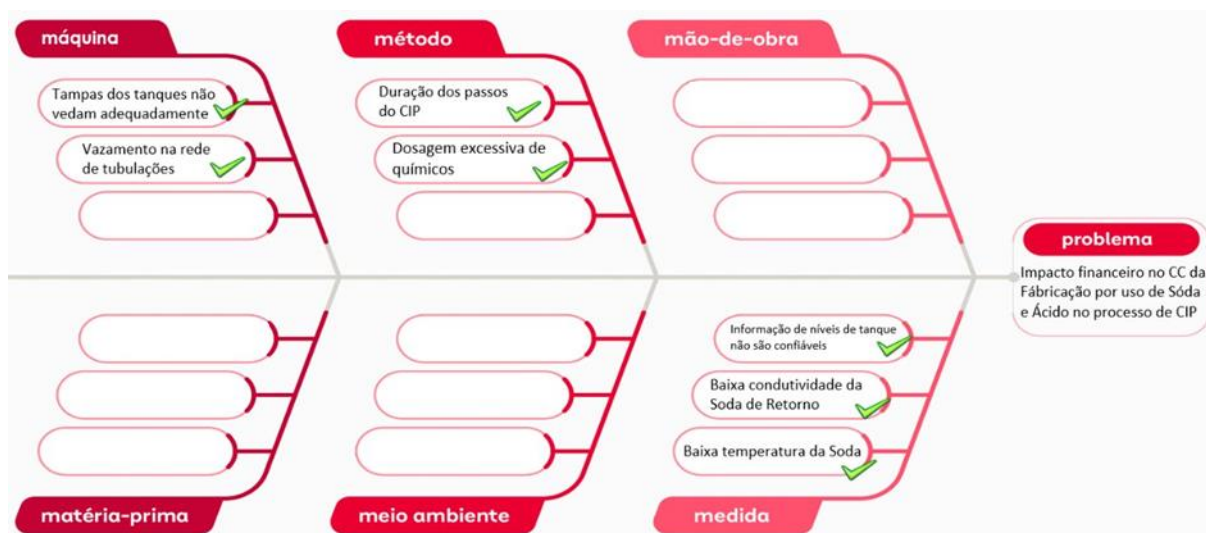
Tabela 1 – Medição do consumo semanal de químicos (2023)

Sem_Ano	Qtde. CIP	Consumo soda (L/semana)	Uso médio soda por CIP	Consumo ácido (Lt/semana)	Uso médio ácido por CIP (litros)	Consumo formulado (Lt/semana)	Uso médio formulado por CIP (litros)
S 1_23	40	3.600,0	90,0	1.400,0	35,0	840,0	21,0
S 2_23	41	3.600,0	87,8	1.147,0	28,0	840,0	20,5
S 3_23	42	5.796,0	138,0	920,0	21,9	840,0	20,0
S 4_23	43	5.723,0	133,1	850,0	19,8	840,0	19,5
S 5_23	44	4.450,0	101,1	1.125,0	25,6	680,0	15,5
S 6_23	45	4.500,0	100,0	960,0	21,3	470,0	10,4
S 7_23	46	3.530,0	76,7	745,0	16,2	350,0	7,6
S 8_23	47	6.200,0	131,9	920,0	19,6	440,0	9,4
S 9_23	48	5.750,0	119,8	1.075,0	22,4	380,0	7,9

Fonte: Autoria própria (2025)

Na etapa analisar (A) foi necessário verificar os principais riscos relacionados ao tema que poderia impactar no objetivo principal do projeto, que é a redução do consumo dos químicos. Para isso foi usado o diagrama de Ishikawa, apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Autoria própria (2025)

Com base no diagrama de Ishikawa apresentado na Figura 3, foi possível identificar os fatores que impactam o consumo excessivo de produtos químicos durante o processo da limpeza CIP, sendo eles:

- Máquina: tampas dos tanques não vedam adequadamente; vazamento na rede de tubulações; essas falhas podem gerar desperdício de produtos químicos e aumentar os custos operacionais.
- Método: duração dos passos do CIP; dosagem excessiva de químicos: erros na metodologia do processo de CIP, como tempo inadequado de execução e dosagem excessiva de produtos, podem levar a um consumo desnecessário de soda e ácido.
- Medida: informação de níveis de tanque não são confiáveis; baixa condutividade da soda; baixa temperatura da soda.
- Erros nas medições dos fatores de temperatura e condutividade no painel do supervisor do operador podem causar o desperdício de produto químico.

As análises realizadas possibilitaram identificar áreas que demandavam melhorias. Para mitigar gastos desnecessários e otimizar os custos financeiros, foi fundamental corrigir falhas nos equipamentos, restaurando as condições básicas ideais de tanques, tubulações, sensores, válvulas e bombas. Além disso, foi necessário otimizar os tempos de limpeza e os parâmetros operacionais, como temperatura e condutividade. Com esses ajustes, a dosagem de vapor e de produtos químicos nos tanques poderia ser mantida dentro de faixas ideais, promovendo uma operação mais eficiente e econômica.

Adicionalmente, foi realizada uma investigação aprofundada para identificar possíveis causas raízes dos elevados consumos de produtos químicos durante o dia. Para isso, utilizou-se a ferramenta 5W2H, cujo cronograma está apresentado na Tabela 2. A partir da aplicação desta ferramenta, foi possível aprofundar a análise dos problemas observados no processo de limpeza CIP e identificar suas causas raízes:

Problema 1: tampas dos tanques não vedam adequadamente - causa raiz: ausência de condição básica devido à falta de um padrão de troca e inspeção das tampas.

A investigação revelou que não havia um procedimento sistemático para inspecionar e substituir as tampas dos tanques, o que comprometeu a vedação e favoreceu a perda de produtos químicos. Conforme defendido por Montgomery (2009), a falta de padronização em atividades de manutenção básica é uma das principais causas de falhas recorrentes em processos industriais. Além disso, a ausência de práticas de manutenção autônoma e o não estabelecimento do TPM (*Total Productive Maintenance*) como estratégia operacional contribuíram para a degradação dos componentes.

Tabela 2 – Análise dos 5 por quês

P/R	POSSÍVEIS CAUSA	POR QUÊ?	POR QUÊ?	POR QUÊ?	POR QUÊ?	POR QUÊ?
PERGUNTA	Tampas do tanque não vedam adequadamente	Por que as tampas não vedam adequadamente	Por que falta condição básica?	Por que não existe um padrão de troca e inspeção?	Por que o setor não está em TPM?	
RESPOSTA		Porque falta condição básica	Porque não existe um padrão de troca e inspeção	Porque o setor não está em TPM	Porque foi uma definição estratégica do negócio	
PERGUNTA	Informação de níveis de tanque não são confiáveis	Por que informações de níveis de tanque não são confiáveis?	Por que o sensor de nível está descalibrado?	Por que houve a perda da calibração?	Por que o equipamento sofreu corrosão?	Por que o equipamento trabalha mergulhado no tanque de solução química?
RESPOSTA		Porque o senso de nível está descalibrado	Porque houve a perda da calibração	Porque o equipamento sofreu corrosão	Porque o equipamento trabalha mergulhado no tanque de solução química	É a concepção do equipamento
PERGUNTA	Baixa temperatura do químico	Por que não está atingindo set point de temperatura?	Por que a serpentina está fora de condição básica?	Por que a serpentina atua mergulhada no tanque de solução química?		
RESPOSTA		Porque a serpentina está fora de condição básica	Porque a serpentina atua mergulhada no tanque de solução química	É a concepção do equipamento		

Fonte: Autoria própria (2025)

Problema 2: informação de níveis de tanque não confiáveis - causa raiz: sensor de nível descalibrado devido à corrosão provocada pela exposição constante à solução química.

Foi identificado que os sensores de nível operavam submersos em ambientes agressivos, sofrendo deterioração ao longo do tempo. A falta de calibração periódica e a exposição direta aos agentes químicos comprometeram a confiabilidade das medições. De acordo com Costa Neto (2010), sensores utilizados em ambientes hostis requerem planos de manutenção preditiva específicos para garantir sua precisão e confiabilidade. A concepção inadequada do equipamento, não projetado para resistir plenamente à corrosão química, agravou ainda mais o problema.

Problema 3: baixa temperatura do químico - causa raiz: serpentina de aquecimento fora de condição básica devido à operação imersa diretamente na solução química.

A análise indicou que a serpentina responsável pelo aquecimento da solução do químico apresentava comprometimento de sua eficiência térmica, em função da deterioração causada pela operação contínua submersa em meio corrosivo. Como destacado por George et al. (2005), a manutenção da eficiência térmica dos sistemas de aquecimento é crítica em processos CIP, pois a temperatura inadequada compromete a eficácia da limpeza e eleva o consumo de produtos. A concepção inicial do sistema, que não previu adequadamente a proteção da serpentina contra agentes químicos, foi apontada como fator determinante para a falha.

Diante dessa constatação, torna-se imprescindível implementar ações corretivas, como: a elaboração e execução de um plano de manutenção preventiva, a melhoria na calibração dos sensores de nível e condutividade, e a adoção de um monitoramento mais rigoroso da temperatura da solução química. Essas medidas visam não apenas reduzir o consumo excessivo de produtos químicos, mas também garantir a eficiência e a eficácia do processo de limpeza.

Para dar início à etapa I (Implementação) do projeto, foi elaborado um plano de ações contendo todas as medidas necessárias para sua execução. Ao todo, foram identificadas 16 ações, todas devidamente concluídas, resultando em um índice de 100% de cumprimento, conforme apresentado na Figura 4. O plano de ação apresentado é uma ferramenta estratégica utilizada para definir, estruturar e acompanhar as medidas corretivas propostas a partir da análise crítica dos problemas identificados. Conforme evidenciado nas etapas anteriores do projeto, o plano de ação está diretamente relacionado aos problemas diagnosticados no diagrama de Ishikawa e na análise do 5W2H, abordando de maneira sistemática tanto aspectos operacionais quanto estruturais dos processos de limpeza CIP.

Figura 4 – Plano de ação do projeto

PLANO DE AÇÃO					
Item	O que?	Por quê?	Como?	Onde?	Quando?
1	Realizar teste de limpeza com formulado.	Para verificar a eficácia material em utilização isolada nos processos de limpeza.	Substituindo soda e ácido por formulado e reconfigurando os supervisórios operacionais.	Nos tanques de armazenamento	13/10/2023
2	Verificar se existem vazamentos nas redes de tubulações da central CIP.	Para identificar perdas de químicos durante o processo.	Localizar todas as ETV abertas e como está sendo as perdas das mesmas.	Via SAP/App de Etiquetas	10/11/2023
3	Tampas do TQ de Soda não está vedando.	Falta de condição básica.	Substituir o material vedante da tampa do tanque. Estabelecer frequência de troca.	No tanque de Soda nº1	20/11/2023
4	Tampas do TQ de Soda nº 2 não está vedando.	Falta de condição básica.	Substituir o material vedante da tampa do tanque. Estabelecer frequência de troca.	No tanque de Soda nº2	20/11/2023
5	Tampas do TQ de Ácido não está vedando.	Falta de condição básica.	Substituir o material vedante da tampa do tanque. Estabelecer frequência de troca.	No tanque de Ácido	20/11/2023
6	Níveis do TQ de Soda não traz uma leitura confiável.	Equipamento descalibrado.	Solicitar aferição por parte de instrumentação.	No tanque de Soda	20/11/2023
7	Níveis do TQ de Ácido não traz uma leitura confiável.	Equipamento descalibrado.	Solicitar aferição por parte de instrumentação.	No tanque de Ácido	20/11/2023
8	Atualizar tempo de duração de limpeza via CIP.	Tempo atual não atende a necessidade dos novos procedimentos e materiais utilizados.	Atualizar/automatizar novos tempos.	No supervisório operacional	23/11/2023
9	Recuperação de Soda muito abaixo do necessário, gerando dissolução do TQ atual 35 mS, proposta 60 mS	Para evitar o descarte de químico com altas concentrações.	Revisitar configurações para reuso nos supervisórios operacionais.	No supervisório operacional	23/11/2023
10	Baixa temperatura da Soda.	Não atinge a temperatura mínima do set point (90°).	Restabelecer condições básicas da serpentina de aquecimento.	Tanque de Soda	30/11/2023
11	Realizar análise pós limpeza com formulado.	Para garantir a eficácia do novo procedimento/material.	Por meio de análise microbiológica de rotina.	Laboratório Fábrica	30/11/2023
12	Dosagem excessiva de Ácido durante o processo de CIP.	Limites de dosagens de ácido ineficiente.	Revisitar range mínimo e máximo para tempo de dosagem.	No supervisório operacional	11/12/2023
13	Dosagem excessiva de Soda durante o processo de CIP.	Limites de dosagens de soda ineficiente.	Revisitar range mínimo e máximo para tempo de dosagem.	No supervisório operacional	15/12/2023
14	Registro dos balões não vedam/ou não existe.	Possibilitando passagem de solução entre tanques.	Substituir/instalar juntas e registros.	Balões na Central CIP	15/12/2023
15	Falta condutivímetro no TQ 2 de Soda.	Para realização de análise em loco (tanques).	Comprar novo condutivímetro.	Para o tanque de Soda nº2	02/02/2024
16	Vazamento na recirculação do 2º balão de Soda.	Reparo está danificado.	Substituição dos reparos da bomba de circulação.	Bomba de soda	08/03/2024

Fonte: Autoria própria (2025)

No contexto geral, os principais objetivos das ações concentraram-se na restauração das condições básicas dos equipamentos envolvidos nas operações de limpeza, abrangendo tanques, tubulações, bombas e sensores, fundamentais para assegurar a eficiência e a confiabilidade do processo de higienização. Conforme dito por Werkema (2012), a falha em manter as condições básicas dos equipamentos compromete a qualidade do produto final e eleva os custos operacionais, justificando a necessidade de intervenções planejadas. Particularmente, sensores críticos para o monitoramento da temperatura, dos níveis dos tanques e da concentração das soluções químicas foram priorizados no plano de ação, uma vez que seu funcionamento adequado é essencial para o controle dos parâmetros do CIP.

A substituição dos produtos tradicionais (soda cáustica e ácido nítrico) por um produto formulado exigiu não apenas a adaptação dos procedimentos operacionais, mas também a implementação de protocolos rigorosos de verificação da eficácia da limpeza. Adicionalmente, foi estabelecido um acompanhamento mais sistemático e preventivo dos equipamentos, com o objetivo de antecipar desvios e falhas operacionais. A implementação de rotinas de inspeção, manutenção preventiva e monitoramento de parâmetros críticos visa garantir o funcionamento eficiente do sistema, reduzindo a incidência de intervenções corretivas emergenciais. Tal abordagem está alinhada aos princípios do TPM, que enfatizam a importância de ações proativas para a maximização da eficiência dos ativos produtivos (Nakajima, 1988).

Dessa forma, o plano de ação estruturado não apenas corrigiu falhas existentes, mas também promoveu uma mudança de postura organizacional, priorizando a prevenção de problemas e a sustentabilidade dos ganhos alcançados no projeto de melhoria.

Com a finalização de todas as ações previstas, teve início a etapa C (controlar), no final de 2023, estendendo-se até meados de março de 2024. Essa fase teve como objetivo monitorar o consumo de produtos químicos, assegurando o cumprimento das metas estabelecidas. Além disso, buscou-se acompanhar de perto a eficácia das etapas de limpeza, por meio do monitoramento dos processos CIP e da realização de inspeções nas linhas ao final de cada ciclo. Tais medidas foram fundamentais para garantir que a substituição do produto original por um formulado mantivesse a eficácia nas análises microbiológicas.

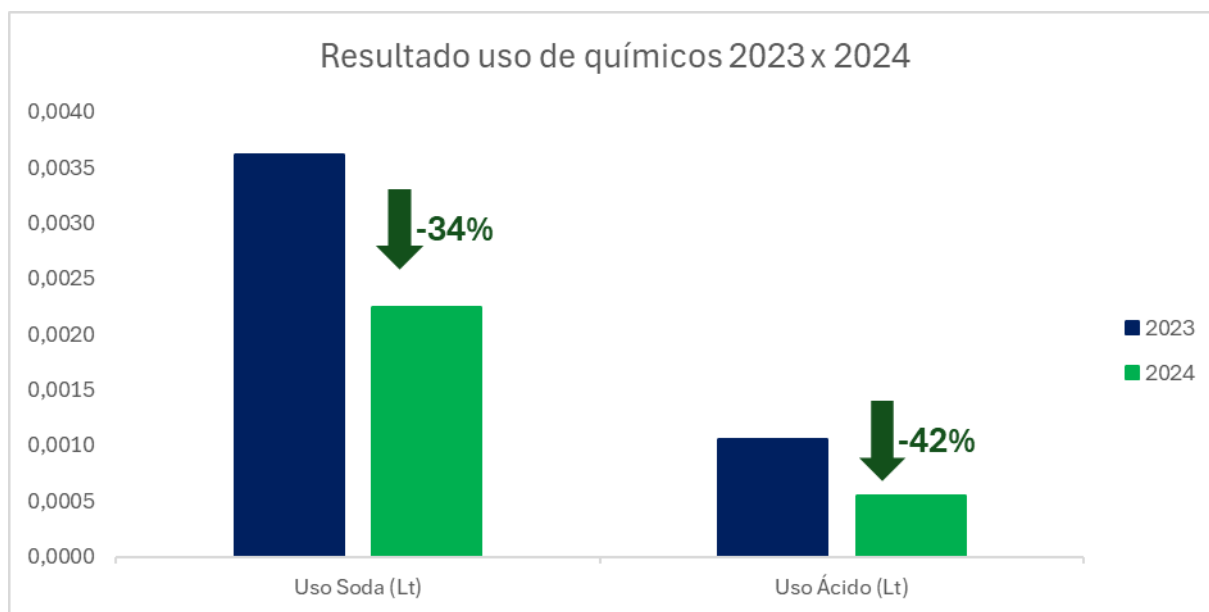
Ao longo de 2024, após a conclusão de todas as etapas do ciclo DMAIC (definir, medir, analisar, melhorar e controlar), foi obtida uma expressiva redução no consumo de produtos químicos, passando de 286 mil litros para 196 mil litros por ano.

No caso da soda cáustica, o consumo anual em 2024 foi de 133.110 litros, frente aos 200.620 litros registrados em 2023 (considerando o período de janeiro a dezembro), o que

representa uma redução de 34%. Já o consumo de ácido também apresentou queda significativa, passando de 56.643 litros em 2023 para 32.657 litros em 2024, uma redução de 42%.

De forma geral, as melhorias implementadas resultaram em uma economia financeira de aproximadamente R\$ 302 mil. A Figura 5 apresenta uma comparação entre os anos de 2023 e 2024, destacando a porcentagem de redução de cada produto químico em relação à produção total da planta.

Figura 5 – Resultado do uso dos químicos em 2023 x 2024



Fonte: Autoria própria (2025)

5 CONCLUSÕES

A aplicação estruturada da metodologia DMAIC demonstrou-se eficaz para a redução do consumo de produtos químicos nos processos de limpeza CIP de uma indústria do setor de laticínios. O projeto apresentou não apenas resultados expressivos em termos de economia – com redução de 34% no consumo de soda cáustica e 42% no ácido nítrico, totalizando uma economia anual de aproximadamente R\$ 302 mil reais –, mas também contribuiu diretamente para o fortalecimento da eficiência operacional, padronização dos processos e mitigação de impactos ambientais.

Ao seguir de forma rigorosa as etapas do ciclo DMAIC, foi possível identificar com precisão as causas raízes do problema, desenvolver ações corretivas assertivas e promover controle efetivo das variáveis críticas do processo. O uso de ferramentas da qualidade, como o

Diagrama de Ishikawa, o 5W2H e indicadores específicos de consumo, foi essencial para a construção de um diagnóstico sólido e para o direcionamento técnico das intervenções.

Além das melhorias quantitativas, o projeto gerou ganhos intangíveis relevantes, como o aumento da maturidade organizacional em relação à cultura de dados, o engajamento das equipes operacionais e o aprimoramento das práticas de manutenção preventiva e monitoramento microbiológico. Tais avanços reforçam o papel da Engenharia de Produção como vetor de transformação organizacional e sustentabilidade industrial.

Como sugestão para pesquisas futuras, destaca-se o potencial de integração do DMAIC com tecnologias da Indústria 4.0, como sensores IoT (*Internet of Things*) para coleta automática de dados em tempo real, sistemas de monitoramento inteligente, inteligência artificial aplicada à previsão de desvios e *dashboards* para tomada de decisão baseada em dados. Essa integração poderia elevar ainda mais os resultados e tornar o processo de limpeza ainda mais autônomo, rastreável e autoajustável, gerando valor contínuo para a organização.

Dito isso, o presente trabalho reafirma a importância da aplicação prática das metodologias da Engenharia de Produção no contexto industrial brasileiro, destacando-se como um exemplo real de como iniciativas bem estruturadas de melhoria contínua podem gerar impacto direto e mensurável sobre os resultados operacionais e estratégicos da organização.

REFERÊNCIAS

- CAMPOS, V. F. TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). 10. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 2004.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. Just in Time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico. São Paulo: Atlas, 2011.
- COSTA NETO, P. L. O. Sistemas de gestão da qualidade: a norma ISO 9001:2008. São Paulo: Blucher, 2010.
- CRESWELL, John W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- GEORGE, M. L. et al. Seis Sigma: o melhor da estratégia, desempenho e lucratividade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- IMAI, M. Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo. São Paulo: IMAM, 1994.
- ISHIKAWA, Kaoru. Controle da qualidade total: à maneira japonesa. 2. ed. São Paulo: Campus, 1985.
- JURAN, J. M. Juran na liderança pela qualidade: um manual para executivos. São Paulo: Pioneira, 1992.
- MONTGOMERY, D. C. Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- NAKAJIMA, S. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. A empresa orientada para o Seis Sigma. São Paulo: Campus, 2001.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- THIOLLENT, Michel. Metodologia da pesquisa-ação. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- WERKEMA, C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- WERKEMA, C. Seis Sigma: fundamentos e metodologia. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- YIN, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.