



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

VITÓRIA RIGO DE BACHER

**Implementação da metodologia Lean Six Sigma em uma indústria de
alimentos atomatados**

Aparecida de Goiânia - GO

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Vitória Rigo de Bacher

3. Título do trabalho

IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SIX SIGMA EM UMA INDÚSTRIADE ALIMENTOS ATOMATADOS

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Julio Cesar Valandro Soares, Professor do Magistério Superior**, em 17/12/2024, às 21:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vitoria Rigo De Bacher, Discente**, em 18/12/2024, às 11:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5049456** e o código CRC **CB1D556B**.

VITÓRIA RIGO DE BACHER

**Implementação da metodologia *Lean Six Sigma* em uma indústria de
alimentos atomatados**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para a obtenção do título de Mestra em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção

Orientador: Professor Doutor Júlio Cesar Valandro Soares

Aparecida de Goiânia - GO

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Bacher, Vitória Rigo de
IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SIX SIGMA EM
UMA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS ATOMATADOS [manuscrito] / Vitória
Rigo de Bacher. - 2024.
110 f.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Cesar Valandro Soares.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás,
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-graduação em
Engenharia de Produção, Aparecida de Goiânia, 2024.

Bibliografia.

Inclui siglas, fotografias, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de
tabelas.

1. Lean Six Sigma. 2. DMAIC. 3. Indústria. 4. Alimentos
atomatados. 5. Envase. I. Soares, Júlio Cesar Valandro, orient. II.
Título.

CDU 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **49** da sessão de Defesa de Dissertação de **Vitória Rigo de Bacher**, que confere o título de Mestra em engenharia de produção **do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção**, na área de concentração em Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

Ao/s **vinte e cinco dias do mês de novembro de dois mil e vinte e quatro**, às 14h30min, de forma virtual através da plataforma google meet, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **“IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SIX SIGMA EM UMA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS ATOMATADOS”**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Júlio Cesar Valandro Soares (PPGEP/UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Tiago dos Santos Almeida (PPGEP/UFG)**, membro titular interno, cuja participação ocorreu através de videoconferência; Professora Doutora **Camila Fabrício Poltronieri (PPGEP/UFG)**, membro titular interno, cuja participação ocorreu através de videoconferência; Professor Doutor **Maxwell Ferreira de Oliveira (UFCat)**, membro titular externo, cuja participação ocorreu através de videoconferência. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Júlio Cesar Valandro Soares**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos **vinte e cinco dias do mês de novembro de dois mil e vinte e quatro**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Tiago Dos Santos Almeida, Professor do Magistério Superior**, em 13/12/2024, às 15:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Camila Fabricio Poltronieri, Professora do Magistério Superior**, em 13/12/2024, às 16:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Julio Cesar Valandro Soares, Professor do Magistério Superior**, em 13/12/2024, às 18:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maxwell Ferreira de Oliveira, Usuário Externo**, em 15/12/2024, às 20:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vitoria Rigo De Bacher, Discente**, em 16/12/2024, às 15:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5041037** e o código CRC **7566F3F5**.

Referência: Processo nº 23070.057934/2024-71

SEI nº 5041037

RESUMO

No contexto atual, a competitividade entre as organizações promove uma busca constante das empresas a manterem suas operações viáveis no que diz respeito ao custo produtivo, distribuição, uso ótimo de recursos, confiabilidade de ativos e qualidade do produto ou serviço oferecido. Em se tratando das indústrias de alimentos, a qualidade consiste em um fator preponderante para ditar o sucesso de uma companhia e suas marcas, sendo um requisito decisivo para definir padrões de consumo. Nesse cenário, as empresas têm buscado aplicar metodologias que permitam a redução de desvios nos mais variados processos, e conseqüentemente, aumentando a qualidade percebida dos produtos, reduzindo desperdícios, perdas, diminuindo assim o custo de produção. A metodologia *Lean Six Sigma* (LSS) tem se mostrado relevante para que as organizações atinjam tais resultados, ao unir conceitos das filosofias *Lean* e *Six Sigma*, visando a produção enxuta e livre de desperdícios e o controle da variabilidade de processo. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi conduzir uma pesquisa em uma indústria de produção de produtos atomatados, aplicando ferramentas específicas da metodologia *Lean Six Sigma* para melhoria de índices de qualidade dos produtos acabados e melhoria na rotina operacional, além de desenvolver um modelo de aplicação de *Lean Six Sigma* voltado a essa realidade organizacional produtiva, de modo que possa ser aplicado em futuros projetos e em outras organizações industriais de produção de alimentos. Inicialmente, foi feito um aprofundamento nos conceitos da metodologia LSS e uma contextualização do setor produtivo da organização em que foi conduzida a pesquisa. Posteriormente, foi detalhada a implementação da metodologia, ao longo das fases: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, com a exposição dos resultados alcançados, desafios na implementação e propostas futuras de melhoria.

Palavras-chave: *Lean Six Sigma*; DMAIC; Indústria; Alimentos atomatados; Envase.

ABSTRACT

Nowadays, the organizations present a constant pursuit for keeping their operations viable to remain competitive in terms of productive costs, distribution, optimal use of resources, asset's reliability and quality in products or services. In food companies, quality specially represents a ruling factor to determine the success of their operations and its brands, being a decisive requirement to define consumption patterns. In this context, companies have been looking for applying methodologies that allow them to reduce deviation in various process, consequently, increasing perceived quality, reducing wastes, losses and reducing production costs. *Lean Six Sigma* (LSS) methodology has been shown as a relevant way to achieve these results, by gathering *Lean* and *Six Sigma* concepts, aiming to a lean and free defects production and variability control. Thus, this work aims to conduct an action research in a tomato manufacturing company, by applying specific tools of *Lean Six Sigma* methodology to improve quality and operational routine, and develop a LSS application framework related to this organizational context, that could be applied in further projects at the organization or by other food companies. Initially, it was made a deep study in LSS concepts and a contextualization of the organization's productive sector where the action research was conducted. Then, LSS implementation was detailed through the phases: Define, Measure, Analyze, Improve and Control, exposing achieved results, challenges during implementation and other improvement opportunities.

Keywords: *Lean Six Sigma*; DMAIC; Industry; Tomato products; Filling.

SUMÁRIO

1. Introdução	8
2. Contextualização do estudo	11
2.1 Problema de Pesquisa	12
2.2 Objetivos.....	12
2.2.1 Objetivo Geral	12
2.2.2 Objetivos Específicos	12
2.3 Justificativa	13
3. Revisão bibliográfica	14
3.1 Surgimento da metodologia <i>Lean Six Sigma</i>	14
3.1.1 <i>Lean Manufacturing</i>	15
3.1.2 <i>Six Sigma</i>	16
3.1.3 <i>Lean Six Sigma</i> e ferramentas utilizadas	18
3.2 <i>Lean Six Sigma</i> na indústria de alimentos	21
3.2.1 Perfil evolutivo de publicações.....	22
3.2.2 Como a metodologia LSS tem sido implementada na indústria de alimentos ...	25
3.3 Embalagens flexíveis	30
4. Procedimentos Metodológicos	33
5. Resultados e discussões	35
5.1 O contexto objeto desse estudo.....	35
5.1.1 Considerações gerais sobre a organização estudada.....	35
5.1.2 Fluxo produtivo da indústria objeto do estudo	36
5.2 Aplicação do método DMAIC	41
5.2.1 Atividades prévias ao DMAIC	42
5.2.2 Definir.....	42
5.2.2.1 Problema em estudo: vazamentos.....	43
5.2.2.2 Escolha das linhas de produção	43
5.2.2.3 Formação da equipe multidisciplinar e Project Charter.....	44
5.2.2.4 Análise de <i>Stakeholders</i>	46
5.2.2.5 Voz do Cliente (VOC) e Parâmetros Críticos para Qualidade (CTQs)	47
5.2.3 Medir	49

5.2.4	Analisar.....	53
5.2.4.1	Avaliação das temperaturas das barras de selagem quanto ao atendimento dos limites de controle e limites de especificação	54
5.2.4.2	Temperatura IHM	65
5.2.4.3	Causa nº 1: A especificação da embalagem não inclui parâmetros críticos ...	70
5.2.4.4	Causa nº 2: Não há padrão de posicionamento dos PT-100.....	71
5.2.4.5	Causa nº 3: Parâmetros não são intertravados na máquina	72
5.2.4.6	Causa nº 4: Procedimento de limpeza de barras de selagem não é adequado	72
5.2.4.7	Causa nº 5: Operadores não treinados	73
5.2.5	Melhorar	73
5.2.6	Controlar.....	75
5.2.6.1	Comparação de resultados de temperatura após ações de melhoria	76
5.2.6.2	Avaliação de resultados de pressão após mudanças	82
5.2.6.3	Avaliação de resultados da água de retorno de resfriamento após ações de melhoria	83
5.2.6.4	Apresentação dos resultados para a liderança e encerramento do projeto.....	84
5.2.6.5	Taxa de vazamentos.....	85
5.2.6.6	Plano de Controle.....	85
5.2.6.7	Procedimentos.....	86
5.2.6.8	Pontos críticos e desafios na implementação de <i>Lean Six Sigma</i> no contexto do presente estudo	87
6.	Proposta de framework adaptado para aplicação de <i>Lean Six Sigma</i> em futuros projetos na organização ou em outras companhias produtoras de alimentos	89
6.1	Etapa 1: Pré-trabalho de implementação de <i>Lean Six Sigma</i>	90
6.2	Etapa 2: Fase Definir	91
6.3	Etapa 3: Fase Medir	92
6.4	Etapa 4: Fase Analisar	92
6.5	Etapa 5: Melhorar	93
6.6	Etapa 6: Fase Controlar.....	93
7.	Conclusão	94
8.	Referências Bibliográficas	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fases do método DMAIC	17
Tabela 2. Ferramentas aplicadas no método DMAIC	18
Tabela 3. Estudos de caso com aplicação de LSS na indústria de alimentos	25
Tabela 4. Estratégia de governança de reuniões	44
Tabela 5. Formato do <i>Project Charter</i>	45
Tabela 6. Critérios para análise de <i>stakeholders</i>	46
Tabela 7. Limites de especificação temperatura das barras de selagem.....	54
Tabela 8. Saídas do exercício de 5 porquês.....	69
Tabela 9. Plano de Ação simplificado	73
Tabela 10. Limites de especificação de pressão das barras de selagem	82
Tabela 11. Agenda da reunião de fechamento do projeto com a gerência do site.....	84
Tabela 12. Procedimentos criados ou revisados	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil de publicação.....	23
Figura 2 – Países dos autores dos trabalhos publicados	24
Figura 3 – Método científico adotado pelos autores nos trabalhos publicados.....	25
Figura 4 - Embalagens alimentícias, (A, B, C): Embalagens rígidas; (D, E, F): Embalagens flexíveis.	32
Figura 5 – Embalagens <i>stand-up pouch</i>	33
Figura 6 – Representação sistemática da implementação de <i>Lean Six Sigma</i>	35
Figura 7 – Fluxograma de produção de polpa de tomate	38
Figura 8 - Fluxograma do processo de formulação	40
Figura 9 – Dimensões de fechamento da embalagem flexível.....	41
Figura 10 – Análise de Stakeholders	47
Figura 11 – Voz do Cliente (VOC)	48
Figura 12 – Mapa de processo.....	50
Figura 13 – Barras de selagem inferior, vertical e superior	51
Figura 14 – Pontos de medição de temperatura nas barras de selagem.....	52
Figura 15 – Carta de controle para temperatura de selagem inferior, barra de selagem frontal	55
Figura 16 – Carta de controle para temperatura de selagem inferior, barra de selagem traseira	56
Figura 17 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 1, barra de selagem frontal	57
Figura 18 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 1, barra de selagem traseira	58
Figura 19 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 2, barras de selagem frontal	59
Figura 20 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 2, barra de selagem traseira	60
Figura 21 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 3, barra de selagem frontal	61
Figura 22 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 3, barra de selagem traseira	62
Figura 23 – Carta de controle para temperatura de selagem superior, barra de selagem frontal	63
Figura 24 – Carta de controle para temperatura de selagem superior, barra de selagem traseira	64
Figura 25 – Delta de temperatura entre IHM e média dos subgrupos de temperatura medida com termômetro de contato, barras de selagem inferior	66
Figura 26 – Delta de temperatura entre IHM e média dos subgrupos de temperatura medida com termômetro de contato, barras de selagem vertical 1	66
Figura 27 – Delta de temperatura entre IHM e média dos subgrupos de temperatura medida com termômetro de contato, barras de selagem vertical 2	67

Figura 28 – Delta de temperatura entre IHM e média dos subgrupos de temperatura medida com termômetro de contato, barras de selagem vertical 3	67
Figura 29 – Diagrama de causa e efeito	69
Figura 30 – Carta de controle para temperatura de selagem inferior, barra de selagem frontal	76
Figura 31 – Carta de controle para temperatura de selagem inferior, barra de selagem traseira	77
Figura 32 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 1, barra de selagem frontal	78
Figura 33 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 1, barra de selagem traseira	78
Figura 34 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 2, barra de selagem frontal	79
Figura 35 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 2, barra de selagem traseira	80
Figura 36 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 3, barra de selagem frontal	81
Figura 37 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 3, barra de selagem traseira	81
Figura 38 – Carta de controle para pressão de selagem vertical 1	83
Figura 39 – Carta de controle para temperatura da água de retorno do <i>chiller</i>	84
Figura 40 – Plano de Controle.....	86
Figura 41 – Framework com etapas gerais para implementação de Lean Six Sigma	90

1. Introdução

A indústria de alimentos é considerada fundamental no cenário econômico de diversos países, no que se refere à manutenção da segurança alimentar e na geração de oportunidades de trabalho diretas e indiretas (SILVA *et al.*, 2021). No Brasil, trata-se do setor industrial que mais cresce, correspondendo a 10,8% do Produto Interno Bruto (PIB) do país e gerando 1,8 milhão de empregos diretos em 2023 (LIMA, 2024).

Este setor tem vivenciado diversos desafios globalmente, o que implica em uma grande busca por produtividade e destaque perante a concorrência. As empresas precisam de uma estratégia robusta para se manterem competitivas, sobretudo pela demanda de novos produtos, serviços e experiências, alinhadas com a necessidade de redução de preços e uma concorrência sólida (COSTA *et al.*, 2018; KURNIA; PURBA, 2021). Dentre os diversos nichos da indústria alimentícia, está a produção de alimentos atomatados, que também reflete desafios relacionados à competitividade.

O tomate consiste em um alimento versátil e de altas propriedades nutritivas, podendo ser consumido de forma *in natura*, considerando o consumo direto do fruto ou de seus produtos derivados, em geral processados, sendo uma das hortaliças mais consumidas no mundo (CHADA, 2021; NOALE, 2015; ROSA FILHO, 2014). A produção de tomate no mundo totaliza mais de 150 milhões de toneladas, e 25% desta produção é direcionada exclusivamente para a indústria. No cenário industrial, a predominância é para a produção de polpas de tomate e molhos (NOALE, 2015). Observou-se um crescimento nessa produção, sobretudo a partir da década de 1980, com o aumento no consumo de alimentos como pizzas e molhos prontos. A produção mundial saiu de um patamar de aproximadamente 76 milhões de toneladas em 1990 para aproximadamente 170 milhões de toneladas em 2020, representando um aumento de 123% (CHADA, 2021; TAVARES, 2017).

Os cinco maiores produtores de tomate no mundo em 2020 foram os Estados Unidos, China, Itália, Espanha e Turquia, com um volume somado de 26,8 milhões de toneladas produzidas. O Brasil figurou, no respectivo ano, na oitava posição mundial e na primeira posição na América Latina, como consumidor de tomate industrial desta região (CHADA, 2021).

A cadeia de produção de tomate tem importância significativa no contexto socioeconômico do Brasil, sobretudo devido à grande geração de empregos que promove, seja no plantio, manejo,

colheita, processamento ou comercialização. Os estados de Goiás, São Paulo e Minas Gerais figuram entre os maiores produtores do fruto, concentrando mais de 50% da área produtiva e volume produzido. As características de solo e clima são fatores predominantes para a alta produção de tomate nesses estados. O estado de Goiás é o líder em produção e área cultivável, contemplando cerca de 20% da produção nacional, e aproximadamente 70% deste volume é destinado para o processamento industrial, com safra superior a 1,2 milhões de toneladas em uma área de aproximadamente 15 mil hectares (CHADA, 2021; CONAB, 2019; ROSA FILHO, 2014).

No Brasil, o setor de produtos atomatados movimenta mais de R\$ 2,6 bilhões por ano, montante que é diretamente relacionado com o crescimento constante na venda de produtos processados de tomate, ainda que o consumo de tomate e derivados pelos brasileiros seja considerado baixo quando comparado com os países de maior produção mundial (MUNHOZ, 2016).

Tendo em vista o crescimento dessa categoria frente ao crescimento demográfico e à situação econômica da população consumidora, bem como novos padrões de consumo, faz-se necessário buscar metodologias com foco na otimização do uso de recursos, especialmente quando se trata de produtos com baixo valor agregado, como é o caso dos produtos atomatados (LIMA, 2024). Tais metodologias estruturadas visam alcançar um alto nível de qualidade do produto e aumentar a eficiência da produção, redução de custos e eliminação de desperdícios (IYEDE; FALLON; DONNELLAN, 2017; SILVA *et al.*, 2020).

Existem várias metodologias passíveis de serem implementadas. Entre elas convém destacar os métodos relacionados com a melhoria contínua, que está diretamente relacionada à eliminação de desperdícios e identificação de oportunidades, criando uma mentalidade de classe mundial nas organizações. A metodologia *Lean Six Sigma* (LSS), neste contexto, é um dos pilares para a prática de melhoria contínua nas empresas (AZIZ *et al.*, 2021; NANDAKUMAR; SALEESHYA; HARIKUMAR, 2020), sendo uma combinação das metodologias *Lean* e *Six Sigma*. Tanto o *Lean* quanto o *Six Sigma* foram concebidos anteriormente em empresas de manufatura – *Lean* na indústria automotiva e *Six Sigma* em uma indústria de comunicação. Essas metodologias não competem entre si, trazendo benefícios expressivos quando fundidas (MCELROY, 2022).

O “*Lean*” desenvolveu-se na Toyota Company, entre as décadas de 1940 e 1950, sendo a base do Sistema Toyota de Produção (TPS). Está relacionado à eliminação de atividades que não agregam valor a um produto ou processo – os desperdícios. A metodologia *Lean* foi inicialmente aplicada num contexto pós-guerra, em que a escassez de recursos era evidente e as exigências do mercado eram muito variáveis (COSTA *et al.*, 2018; DESHMUKH *et al.*, 2022; MUGHAL *et al.*, 2020;). O *Lean* tem como princípio reduzir tempos, materiais, estocagem e demais recursos envolvidos em um ambiente produtivo, possibilitando o fluxo do próprio processo (RIFQI *et al.*, 2021). Um conceito importante em relação à metodologia *Lean*, conforme mencionado por Deshmukh *et al.* (2022), são os “sete desperdícios”, que se referem aos sete tipos típicos de desperdícios, a saber: espera (pessoas esperando por análises, resultados, peças de reposição, serviços, equipamentos esperando por limpeza ou manutenção, etc.); superprodução (sistema de produção puxada, sem necessidade do cliente); processamento inadequado (processamento sem valor agregado); transporte (movimento de pessoas ou objetos em grandes distâncias); movimento (movimentos indesejados de pessoas ou equipamentos); produtos em processo (estoque) e produtos defeituosos (produtos com qualquer tipo de não conformidade). Ao eliminar ou reduzir esses sete desperdícios, a organização pode garantir que apenas etapas de valor agregado ocorram.

Por outro lado, a metodologia *Six Sigma* (6σ) foi aplicada pela primeira vez dentro da empresa Motorola, na década de 1980, com foco na aplicação de técnicas estatísticas e no uso adequado dos dados, visando a redução da variabilidade e, assim, um aumento na qualidade percebida e na satisfação dos clientes internos e externos (DESHMUKH *et al.*, 2022; RIFQI *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2021). No *Six Sigma* existe uma abordagem disciplinada para resolução de problemas sistêmicos, resumida na sigla DMAIC: definir, medir, analisar, melhorar e controlar. Seguindo essas etapas, espera-se obter resultados que conduzam ao aumento da satisfação do cliente e redução de defeitos (NANDAKUMAR; SALEESHYA; HARIKUMAR, 2020). O nível sigma do processo, representado pela letra grega “sigma (σ)”, é muito importante para o pleno entendimento desta filosofia, e significa a taxa de “defeitos por milhão de oportunidades”. Quanto maior o nível sigma de um processo, menor é a quantidade de defeitos gerados por ele, e menor é a variabilidade deste mesmo processo (MURALIRAJ *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2021).

A metodologia *Lean Six Sigma* integra técnicas e ferramentas provenientes do *Lean* e *Six Sigma* de forma sinérgica, visando encontrar as causas raízes de problemas complexos nas

organizações, aplicando análises robustas e implementando ações que eliminem desperdícios e perdas, consequentemente, reduzindo o número de falhas. Também é possível aumentar a velocidade de resposta das organizações frente à oscilação da demanda e mudanças de mercado (COSTA *et al.*, 2018; DESHMUKH *et al.*, 2022; NADER 2022). A integração dessas duas metodologias potencializa resultados nas organizações, aumentando as possibilidades de economia (MUGHAL *et al.*, 2020; MURALIRAJ *et al.*, 2018; RIFQI *et al.*, 2021) e permitindo equilíbrio entre flexibilidade, robustez de processos, agilidade e eficiência em gestão de custos, itens que geralmente estão em conflito e precisam ser balanceados para garantir a viabilidade das organizações (ANDERSSON *et al.*, 2014).

Diversas pesquisas evidenciam os benefícios decorrentes da aplicação desta metodologia: aumento da eficiência do processo (RIFQI *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2021; TRAN *et al.*, 2020), redução da taxa de rejeição (AZIZ *et al.*, 2021; RIFQI *et al.*, 2021), identificação de parâmetros ideais para operação (HAKIMI; ZAHRAEE; ROHANNI, 2018; NADER, 2022), remoção de gargalos no processo e aumento da satisfação do cliente (NANDAKUMAR; SALEESHYA; HARIKUMAR, 2020).

Ainda que a aplicação da metodologia LSS seja vista como desafiadora na indústria de alimentos devido a algumas particularidades do setor, muitas empresas produtoras de alimentos adotam LSS em seus processos produtivos e conseguem obter melhorias significantes a partir da eliminação de seus gargalos operacionais (TELENCHANA *et al.*, 2024). Neste contexto, entende-se que seja possível aplicar a metodologia *Lean Six Sigma* no contexto da indústria de alimentos para a obtenção de ganhos em qualidade, financeiros e de produtividade. Desta forma, o presente trabalho se concentra na implementação de LSS em uma linha de envase de uma indústria de processamento de tomate, a partir de uma pesquisa, segundo uma proposta estruturada considerando as particularidades deste ambiente, de modo a adaptar o conceito de LSS a tal realidade.

2. Contextualização do estudo

A primeira seção do presente trabalho visa contextualizar o tema e introduzir o problema de pesquisa, assim como definir o objetivo geral e objetivos específicos. Na segunda seção é realizada uma revisão bibliográfica, apresentando o histórico de implementação da metodologia *Lean Six Sigma*, aplicações encontradas na literatura, setores que utilizam a metodologia e ferramentas relevantes. A terceira seção apresenta a metodologia aplicada

visando atingir os objetivos anteriormente definidos. Na quarta seção, são trazidos os resultados e discussões, relacionados ao contexto de implementação da metodologia *Lean Six Sigma*. Por fim, a última seção traz as conclusões obtidas a partir da condução da pesquisa-ação.

2.1 Problema de Pesquisa

O presente trabalho tem como tema a execução de uma pesquisa-ação na indústria de processamento de tomate, com o objetivo de reduzir desvios de qualidade dos produtos acabados a através da diminuição da ocorrência de desvios dos parâmetros críticos para qualidade (CTQs) de um processo de envase de atomatados em embalagens flexíveis. Neste sentido, a pergunta norteadora de pesquisa é: de que forma a metodologia *Lean Six Sigma* pode ser utilizada para a redução de desvios de qualidade no contexto do processo produtivo de uma indústria de alimentos, especificamente no envase de alimentos atomatados em embalagens flexíveis.

2.2 Objetivos

Visando responder o problema de pesquisa do presente trabalho foi possível definir o objetivo geral e objetivos específicos que são apresentados nos tópicos seguintes.

2.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo conduzir um processo de implantação do LSS em uma indústria de alimentos de processamento de tomate, através de uma pesquisa-ação, aplicando ferramentas específicas da metodologia para melhoria de índices de qualidade dos produtos acabados e desenvolver uma abordagem de aplicação de *Lean Six Sigma* voltada a essa realidade organizacional produtiva, de modo que possa ser aplicada em futuros projetos e em outras organizações industriais de produção de alimentos, com devidas adaptações.

2.2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, o presente trabalho propõe como objetivos específicos:

- Realizar uma revisão sistemática acerca da metodologia *Lean Six Sigma* e sua aplicação na indústria de alimentos;
- Definir uma área piloto para aplicação de LSS na organização estudada;

- Mapear o processo produtivo área piloto previamente definida, para identificação de oportunidades de melhoria e vulnerabilidades no processo;
- Definir os parâmetros críticos para qualidade e analisar as causas envolvidas em suas variações ou desvios de especificação;
- Propor soluções de engenharia para mitigar os desvios de qualidade ou identificá-los de forma preventiva no processo produtivo;
- Avaliar os pontos críticos e desafios na implementação do Lean Six Sigma na área piloto definida.
- Desenvolver uma adaptação de implementação de *Lean Six Sigma*, que possa ser aplicada em futuros projetos na organização em que a metodologia será utilizada e em outras organizações industriais de produção de alimentos.

2.3 Justificativa

A produção de alimentos consiste em uma atividade imprescindível para a economia de qualquer nação, tanto pelo aspecto de manutenção da vida humana quanto pelo aspecto de relação com outros setores, como a área agrícola, distribuição, fornecimento de insumos, bens de capital e embalagens (GOUVEIA, 2006).

A indústria de alimentos representa a maior atividade em termos de valor agregado e empregabilidade nos Estados Unidos e representa a maior porcentagem no setor de produção da União Europeia (FRANC; KUJEVAC, 2021). No Brasil, a indústria de alimentos tem alta influência no PIB do país e na geração de empregos. Tal fato se confirma pelo faturamento médio do setor em 2022, que atingiu R\$ 1,075 trilhão, e na expansão de investimentos nas unidades produtivas, tanto nas áreas de manufatura quanto inovação e desenvolvimento de produtos (VIANA, 2023). Portanto, pode-se inferir que esse setor possui alta relevância na sociedade a nível mundial, desta forma, sendo um setor de grande potencial receptor de estratégias de melhoria contínua para melhoria de indicadores estratégicos.

Costa *et al.* (2018) corroboram com esta inferência, ao mencionar que foi observada uma tendência de aumento pela busca das indústrias produtoras de alimentos pela aplicação da metodologia LSS. Este fato indica que este setor vem buscando entregar resultados além do atendimento regulatório, e buscando atingir melhores desempenhos em redução de custo, perdas e resolução de problemas sistêmicos.

Apesar de tais conclusões, alguns autores contradizem este ponto de vista, ao citar que a adoção de LSS na indústria de alimentos vem se mostrando lenta, se comparada à aplicação da metodologia em outros segmentos industriais (HALIM-LIM *et al.*, 2021; KOLAWOLE; MISHRA; HUSSAINA, 2021). Isso pode ser explicado por algumas características da indústria de alimentos, por exemplo: incerteza de demanda, variedade de produtos oferecidos ao mercado, baixo prazo de validade, sazonalidade, alta variação de qualidade em ingredientes e diferentes padrões de consumo por região geográfica (COSTA *et al.*, 2018; SHARMA *et al.*, 2023).

Essas características fazem com que a padronização não seja um processo natural para esse segmento industrial, e, conseqüentemente, o modelo de aplicação de LSS em outro setor produtivo pode não ser efetivamente reproduzido na indústria de alimentos (McDERMOTT *et al.*, 2024). Azalanzazllay *et al.* (2022) corroboram com esta constatação, ao mencionar que, apesar do aumento de pesquisas relacionadas a *Lean Six Sigma*, a relevância de aplicação da metodologia na indústria de alimentos ainda não é completamente representada.

Desta forma, o presente trabalho se justifica ao possibilitar o alcance de resultados que extrapolam o atendimento regulatório na organização em que será conduzida a pesquisa-ação, podendo permitir a redução de desvios de qualidade que possam gerar a insatisfação de clientes e consumidores, a redução de perdas e retrabalhos durante produção, a identificação de desvios de forma proativa e o aumento no nível de conhecimento e capacitação das pessoas envolvidas nesta implementação. Portanto, esse estudo contribui no preenchimento de uma lacuna de pesquisa nesta área, que é a adaptação da metodologia *Lean Six Sigma* no contexto da indústria de alimentos, considerando uma série de peculiaridades desse setor e da organização em si.

3. Revisão bibliográfica

3.1 Surgimento da metodologia *Lean Six Sigma*

A metodologia *Lean Six Sigma* (LSS) se tornou um alicerce para o desenvolvimento da melhoria contínua em diversos setores, com o objetivo de permitir a ascensão e estabilidade das organizações, em termos de desempenho e excelência operacional. Apesar de ser muito aplicada atualmente na indústria, serviços e outros setores, o uso de LSS apenas se tornou amplo a partir da década de 1980, nos Estados Unidos, na organização George Group (ALBLIWI *et al.*, 2014; SREEDHARAN; RAJU, 2016).

Antes da década de 1980, as metodologias *Lean* e *Six Sigma* eram tratadas de maneira separada e isolada. Segundo Patel e Patel (2021), diversas organizações aplicaram *Lean Manufacturing* ou *Six Sigma* de maneira individual ao longo dos últimos 20 anos, tendo observado resultados satisfatórios em termos de performance. Desta forma, as seções a seguir trazem a definição e contexto de surgimento do *Lean Manufacturing* e *Six Sigma*, e como ambas as abordagens são combinadas.

3.1.1 *Lean Manufacturing*

De acordo com Albliwi *et al.* (2014), a origem do *Lean* advém do *Toyota Production System* (TPS), traduzido como Sistema Toyota de Produção, desenvolvido por Taiichi Ohno, na década de 1940 (PAVLOVIĆ; BOŽANIĆ, 2010). O TPS é a fundação do *Lean*, que se desenvolveu em um período de término da Segunda Guerra Mundial. Nesse contexto, Ohno e outros funcionários da Toyota reinventaram a filosofia de trabalho da organização, tendo em vista as restrições constantes em capital e recursos materiais e humanos (PEPPER; SPEDDING, 2010) e a crise econômica grave na qual a empresa estava submetida, o que colocava em risco suas operações (SÁNCHEZ; ZAPATA, 2021).

Segundo Chen (2022), não apenas a Toyota, como o Japão de forma geral, estava em depressão econômica. Desta forma, havia uma movimentação em torno da comunidade acadêmica e empresários de buscarem maneiras de reestabelecer o patamar econômico do país. A ideia primária de Ohno era focada na sobrevivência da Toyota, mas suas iniciativas serviram para reerguer diversas organizações no território de seu país. A estratégia de Ohno era clara e objetiva, ao afirmar que a empresa apenas deveria produzir os produtos e partes unitárias conforme demanda, filosofia que ficou conhecida como “*Just In Time*” (SIREGAR *et al.*, 2019).

Os desperdícios podem ser definidos como atividades ou materiais não essenciais e que não agregam valor aos produtos e processos (PEPPER; SPEDDING, 2010). Pacheco *et al.* (2015) citam sete desperdícios: superprodução, espera, transporte, processamento ineficiente, estoque excessivo, movimentação e defeitos. Tais desperdícios também são citados por Sodhi, Singh e Singh (2019). Todos esses desperdícios têm a característica em comum de serem relacionados a operações e movimentos que incrementam o custo e podem ser eliminadas sem impacto no produto ou na percepção dos clientes. Segundo esses autores, outros dois desperdícios podem ser adicionados, por exemplo: a subutilização da criatividade humana e perdas ambientais. A

grande aplicação do *Lean Manufacturing* reside no fato de que é possível encontrar, através de seu uso, toda e qualquer oportunidade de melhoria desconhecida (SÁNCHEZ; ZAPATA, 2021). Segundo Pacheco *et al.* (2015), apenas na década de 1990 o *Lean Manufacturing* foi adotado no continente americano, após o sucesso atingido no contexto da Toyota.

3.1.2 *Six Sigma*

Durante os anos 1970, houve uma forte demanda americana de elevar a qualidade de seus produtos para um patamar superior ao dos produtos japoneses. Os produtos provenientes do Japão eram conhecidos e aceitos pelo mercado por terem qualidade superior, o que era originário da metodologia de trabalho local, focada na qualidade em todas as etapas produtivas e não apenas no produto, conforme faziam os americanos. Desta forma, na década de 1980, o Japão se tornou referência para diversas empresas americanas, incluindo a Motorola, que passou a observar grande variabilidade em seu processo produtivo após conhecer o método de trabalho oriental (SILVA *et al.*, 2020).

A metodologia *Six Sigma* (SS) teve sua origem na Motorola, entre os anos 1985 e 1987, tendo sido desenvolvida pelo engenheiro Bill Smith. Após a aplicação de SS na Motorola, a companhia conquistou um importante prêmio associado à qualidade, em 1988, o que representou um marco na história da organização (CONCEIÇÃO *et al.*, 2019; DESHMUKH; KHANDVE, 2020; IDRISSE; BENAZZOUZ, 2019; SIREGAR *et al.*, 2019). Logo após a consolidação da metodologia SS na Motorola, diversas companhias, por exemplo, Sony e General Electric, passaram a adotar as práticas SS em suas organizações, tendo observado ganhos significativos (HAKIMI; ZAHRAEE; ROHANI, 2018).

Pacheco *et al.* (2015) definem a metodologia SS como uma estratégia focada em identificar defeitos ou falhas no processo que geram variabilidade, interferem na qualidade e consequentemente impactam na percepção do consumidor final. Desta forma, ao se aplicar SS a organização pode experimentar um aumento de capacidade de processo e redução de custos. Laureani e Antony (2012) acrescentam que a metodologia SS utiliza dados como fundamentos para que se atinja estabilidade e resultados confiáveis, por meio da redução de variabilidade no processo. Além disso, permite a identificação das causas que geram erros e falhas durante processamento, focando nos parâmetros críticos para qualidade (CTQs).

A menção à letra grega “Sigma (σ)” no nome da metodologia é explicada pela associação da letra com o desvio padrão, que é uma medida estatística que indica a capacidade e

variabilidade de determinado processo em produzir itens isentos de defeitos. O nível sigma do processo, dessa forma, diz respeito ao índice de defeitos por milhão de oportunidades (BOTTANI *et al.*, 2021; DESHMUKH; KHANDVE, 2020; SILVA *et al.*, 2020). Um processo com nível 6σ , desta forma, é capaz de produzir apenas 3.4 unidades de defeitos por milhão de unidades produzidas, o que é equivalente a um rendimento de 99.99966% (BOTTANI *et al.*, 2021).

A metodologia SS utiliza o método referenciado pelo acrônimo inglês DMAIC (*define, measure, analyze, improve and control* – definir, medir, analisar, melhorar e controlar) como estratégia sistemática de implementação (SILVA *et al.*, 2020). Esse método garante a condução a implementação segundo uma perspectiva lógica e objetiva, orientando o negócio no atingimento de metas (BUGOR; LUCCA FILHO, 2021). A Tabela 1 a seguir traz os conceitos de cada uma das etapas do método, segundo a perspectiva de alguns autores.

Tabela 1. Fases do método DMAIC

Definir/Define	Entender com profundidade, os requisitos dos clientes, identificar o problema final, identificar benefícios esperados (HAKIMI; ZAHRAEE; ROHANI, 2018; SORDAN <i>et al.</i> , 2020), definir e validar escopo da iniciativa (COSTA <i>et al.</i> , 2021), formar equipe de implementação (SILVA <i>et al.</i> , 2020).
Medir/Measure	Identificar variáveis relacionadas com o problema anteriormente definido (SILVA <i>et al.</i> , 2020), utilizar parâmetros mensuráveis para traduzir o problema (HAKIMI; ZAHRAEE; ROHANI, 2018), coletar dados e avaliar tendências (SORDAN <i>et al.</i> , 2020).
Analisar/Analyze	Avaliar os dados coletados, identificar e investigar causas raízes associadas ao problema (HAKIMI; ZAHRAEE; ROHANI, 2018; SORDAN <i>et al.</i> , 2020), verificar fatores que movem o processo da condição desejada para a condição real, (COSTA <i>et al.</i> , 2021; MCELROY, 2022), priorizar ações que solucionarão as causas raízes (SILVA <i>et al.</i> , 2020).
Melhorar/Improve	Propor soluções para o problema e melhorias no processo, avaliar ganhos financeiros e ganhos de qualidade, (MCELROY, 2022; SORDAN <i>et al.</i> , 2020), propor novas ações de melhoria se necessário (SILVA <i>et al.</i> , 2020), definir parâmetros ótimos de operação (HAKIMI; ZAHRAEE; ROHANI, 2018).
Controlar/Control	Acompanhar a estabilidade do processo, criar medidas de prevenção e erros, treinar envolvidos no processo (SORDAN <i>et al.</i> , 2020), garantir que as melhorias implementadas sejam sustentáveis (HAKIMI; ZAHRAEE; ROHANI, 2018) e estabelecer novos modelos de trabalho (MCELROY, 2022).

Fonte: elaborado pela autora.

3.1.3 *Lean Six Sigma* e ferramentas utilizadas

A partir do início do século 21, a combinação de *Lean* e *Six Sigma* se tornou mais conhecida no contexto da melhoria contínua, sendo adotada nas organizações e tornando-se objeto de estudo na comunidade acadêmica, ao unir práticas da metodologia *Lean*, associada à redução de atividades que não agregam valor e remoção de desperdícios; e a metodologia *Six Sigma*, focada na redução de variabilidade no produto e no processo produtivo (PATEL; PATEL, 2021).

O *Lean Manufacturing* e *Six Sigma* são considerados complementares, tornando a metodologia *Lean Six Sigma* (LSS) mais buscada nos últimos anos. O aumento da procura por esta metodologia está ligado à crescente competitividade imposta pelo mercado, fazendo com que as organizações busquem atender de forma eficiente e eficaz as demandas dos consumidores, em termos de requisitos de qualidade, tempo, custo e melhor uso de recursos (ANDERSSON *et al.*, 2014; MUGHAL *et al.*, 2020; SHASHANK; POONIA, 2020).

Segundo Muraliraj *et al.* (2018), essa competitividade atrelada a mudanças no ambiente de negócios fez com que, para muitas empresas, o *Lean* ou *Six Sigma* não entregassem os resultados esperados separadamente. Tal fato se justifica uma vez que o *Lean*, conforme mencionado pelo autor, não seria capaz de manter a estabilidade do processo, assim como o *Six Sigma* não seria capaz de trazer ganhos rápidos às organizações, criando resistência em sua aplicação. Racolça-Paina e Bunea (2020) corroboram com essa visão ao afirmar que o *Lean Manufacturing* não é recomendado para solucionar problemas complexos com alta carga de dados, e a metodologia *Six Sigma* não se adequa a problemas de baixo grau de complexidade.

Em alinhamento com as limitações expressas da aplicação das metodologias *Lean* e *SS* de forma separada, o uso da metodologia *Lean Six Sigma* nas organizações faz uma combinação das ferramentas de ambas as filosofias, ao longo da resolução dos problemas-alvo. Entre as ferramentas utilizadas, Aziz *et al.* (2021), Costa *et al.* (2018), Iyede, Fallon e Donnellan (2017), Nandakumar, Saleeshya e Harikumar (2018) e Sordan *et al.* (2020) mencionam a aplicação das seguintes ferramentas, listadas na Tabela 2 a seguir e conceituadas pelos autores, enquadradas em cada uma das etapas do DMAIC.

Tabela 2. Ferramentas aplicadas no método DMAIC

Fase DMAIC	Ferramentas Aplicadas
------------	-----------------------

Definir/Define	<p>Project Charter: Sumário do projeto, com informações amplas de objetivos, ganhos esperados, escopo e recursos necessários (AZIZ <i>et al.</i>, 2021).</p> <p>Árvore de CTQs: identificação das variáveis ou fatores críticos para qualidade, que exercem interferência na percepção do cliente e são impactados pelas variáveis do processo (SORDAN <i>et al.</i>, 2020).</p> <p>SIPOC (<i>supplier, input, process, output, customer</i>): mapa de processo preliminar para apoiar o entendimento do problema a ser solucionado, permitindo visualizar alguns possíveis fatores que impactam no problema (AZIZ <i>et al.</i>, 2021).</p>
Medir/Measure	<p>VSM (Value Stream Mapping): mapeamento do processo com foco na identificação de atividades que agregam ou não agregam valor ao processo avaliado, visando o fluxo de materiais e informações (NANDAKUMAR; SALEESHYA; HARIKUMAR, 2018)</p> <p>Cálculo do nível sigma: identificação da quantidade de desvios por milhão de oportunidades (AZIZ <i>et al.</i>, 2021).</p> <p>Gráficos de Pareto: representação gráfica usada para Identificação das variáveis que mais influenciam na ocorrência do problema (SORDAN <i>et al.</i>, 2020).</p>
Analisar/Analyze	<p>Diagrama de Causa e Efeito (ou Diagrama de Ishikawa): ferramenta para estratificar e relacionar o efeito (problema) com as possíveis causas raízes que geram o fenômeno alvo (COSTA <i>et al.</i>, 2018).</p> <p>Brainstorming: discussão em grupo que permite a explanação e identificação das possíveis causas raízes do problema e soluções, por meio do compartilhamento de observações do processo, experiências e ideias (AZIZ <i>et al.</i>, 2021).</p> <p>5 Porquês: exercício para identificação de causas raízes de um problema, focado na repetição da pergunta “por que” ao longo da avaliação dos efeitos e causas (IYEDE; FALLON; DONNELLAN, 2017).</p> <p>Matriz de Priorização: modelo sistemático utilizado para priorizar causas raízes ou soluções que, preferencialmente, apresentam maior impacto na solução do problema e menor esforço de resolução (SORDAN <i>et al.</i>, 2020).</p>
Melhorar/Improve	<p>5S (Sort, Set in Order, Shine, Standardize, Sustain): ferramenta base para a aplicação de outras melhorias, tendo a disciplina como fomentador, permitindo a eliminação de desperdícios associados à movimentação, inventário, espera, entre outros (NANDAKUMAR; SALEESHYA; HARIKUMAR, 2018).</p> <p>Single Minute Exchange of Die (SMED): ferramenta aplicada para a redução do tempo de <i>setup</i> e ajustes operacionais em um equipamento ou processo, com foco na eliminação de desperdícios (COSTA <i>et al.</i>, 2018).</p> <p>Kaizen: evento multidisciplinar com objetivo de implementar soluções rápidas</p>

	e de baixo custo de execução para dado problema (SORDAN <i>et al.</i> , 2020).
	Poka Yoke (<i>mistaken-proof</i>): solução que inibe ou elimina a ocorrência de erros em um processo, reduzindo o número de defeitos e perdas (AZIZ <i>et al.</i> , 2021).
	Carta de controle: ferramenta visual que permite o monitoramento em tempo real, da estabilidade do processo e identificação de tendência de desvios (IYEDE; FALLON; DONNELLAN, 2017).
Controlar/Control	Gestão visual: ferramenta que permite a extração de informações rápidas de desempenho, comportamento ou riscos, através da aplicação sistemática de padrões visuais (ex.: cores, formas geométricas, alarmes, entre outros) (NANDAKUMAR; SALEESHYA; HARIKUMAR, 2018).
	CEP (Controle estatístico de processos): técnica aplicada para garantir a estabilidade dos processos, através de análise de dados de processo e tomadas de decisão em tempo real (SORDAN <i>et al.</i> , 2020).

Fonte: elaborado pela autora.

Alguns benefícios visíveis da aplicação da metodologia LSS podem ser citados, tais como: redução de perdas; acuracidade no tempo de entrega e ciclos de produção; utilização ótima de recursos materiais e humanos; aumento na qualidade percebida e satisfação dos clientes; redução de perdas e eliminação de defeitos e desvios de processo; atendimento ao planejamento de produção e suprimentos (HILL *et al.*, 2017; TRAN *et al.*, 2020); eliminação de variabilidade; aumento da lucratividade da organização; valorização da marca e dos produtos da empresa e vantagem competitiva em termos de concorrência de mercado (SHASHANK; POONIA, 2022); aumento da estabilidade do processo com consequente redução de ciclos de produção; elevação de produtividade; utilização adequada de espaço físico da unidade produtiva (TAMPUBOLON; PURBA, 2021); melhoria na gestão financeira e estratégica e desenvolvimento de visão orientada para resultados na organização (SANIDAD; DALIMOT, 2019).

Maleszka e Linke (2016) destacam que, para que se atinjam os resultados mencionados com a aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* nas organizações, deve ser observada uma cooperação dos funcionários da organização, em todas as etapas do processo produtivo. Isso está correlacionado com o fato de que os problemas solucionáveis por meio da implementação de LSS requerem tomadas de decisão e ideias de solução constantes, baseadas sempre em dados coletados e fatos observáveis. Outra vantagem experimentada pela aplicação e LSS nas organizações, segundo esses autores, é o reconhecimento do trabalho em equipe e visão sistêmica dos funcionários sobre os processos em que estão inseridos.

A metodologia *Lean Six Sigma* tem sido implementada em diversos ambientes, de manufatura ou não, podendo-se mencionar, mas não se limitando à(s) / (ao(s)): indústria automotiva e de linhas de montagem; mercado de eletroeletrônicos; laboratórios clínicos; empresas de logística e expedição (TRAN *et al.*, 2020); cuidados à saúde (*healthcare*); extração e beneficiamento de combustíveis naturais e fósseis; indústria farmacêutica; indústria aeroespacial; empresas de telecomunicações (TAMPUBOLON; PURBA, 2021); e indústrias de processamento de alimentos e distribuição varejista (SHASHANK; POONIA, 2022).

A partir do que foi exposto pelos autores citados, constata-se que a fusão das metodologias *Lean* e *Six Sigma* permite a resolução de problemas de diferentes graus de complexidade, ao aliar os conceitos de redução de desperdícios do *Lean Manufacturing* e redução de variabilidade do *Six Sigma*. Desta forma, as diversas ferramentas disponíveis em cada uma das fases do método DMAIC podem ser selecionadas e utilizadas de acordo com o contexto organizacional (setor de atuação, nível de conhecimento dos funcionários e recursos financeiros, temporais e humanos disponíveis) e as características específicas do problema em estudo (perdas materiais elevadas, desvios de qualidade, inventário, superprocessamento, entre outros).

3.2 *Lean Six Sigma* na indústria de alimentos

Com o intuito de verificar como a metodologia LSS tem sido aplicada na indústria de alimentos, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, com a avaliação de publicações acerca do tema, sendo esta abordagem focada em identificar, sintetizar e avaliar criticamente a produção científica em torno de determinado assunto. É categorizada como indispensável para a atividade científica (PANAYIOTOU; STERGIOU, 2020).

A primeira etapa desta revisão consistiu na compreensão do problema e definição das seguintes duas perguntas a serem respondidas:

- Qual é o perfil de evolução da metodologia LSS no mundo?
- Como a metodologia LSS está sendo implementada na indústria de alimentos?

A partir destas perguntas, foi feito o planejamento da revisão. As plataformas de pesquisa utilizadas foram a “*Web of Science*” e o “*Google Acadêmico*”, considerando-se trabalhos datados entre 2018 e 2022. As palavras-chave utilizadas foram “*Lean Six Sigma*” e “*food industry*”. Após as pesquisas, foi feita uma primeira seleção de trabalhos com base no título e

palavras-chave, em seguida, uma seleção com base nos resumos; os trabalhos selecionados nesta etapa foram então lidos por completo, onde foi feita uma nova seleção. Trabalhos que não eram direcionados à indústria de alimentos foram descartados previamente do presente estudo.

Através da *string* (“*Lean Six Sigma*” and “*food industry*”) utilizada e do filtro de datas entre 2018 e 2022, foi obtido um total de 1.380 trabalhos. Após a leitura dos títulos e palavras-chave, foram selecionados 54 trabalhos para leitura do resumo. Após a leitura dos resumos, 19 trabalhos foram selecionados para leitura completa. Desses 19 trabalhos, foram selecionados mais quatro trabalhos provenientes das referências bibliográficas desta seleção, totalizando 23 trabalhos para análise crítica.

Para responder à primeira pergunta anteriormente proposta, considerando a evolução da metodologia LSS no mundo, foram avaliados os 23 trabalhos, considerando-se os seguintes aspectos: ano de publicação, país/continente de publicação e objetivo de publicação (artigos, monografias, dissertações e teses). Tais critérios são adotados em trabalhos de mesma natureza como adequados para mapeamento do perfil de publicações (PANAYIOTOU, STERGIU, 2020; KURNIA, PURBA, 2021; COSTA *et al.*, 2018). Para responder à segunda pergunta, referente à implementação de LSS na indústria de alimentos, foram filtrados os trabalhos classificados como exploratórios, e nestes, avaliados os seguintes aspectos: tipo de indústria de alimentos; objetivo da aplicação de LSS; resultados alcançados; benefícios observados; ferramentas utilizadas; fatores críticos de implementação; características do time de implementação; e estratégias de controle pós-implementação. Estes critérios foram também adotados por outros trabalhos de mesma natureza (COSTA *et al.*, 2018; MUGHAL *et al.*, 2020). Ao todo, foram encontradas quatro revisões de literatura, treze estudos de caso, duas entrevistas semiestruturadas, uma entrevista estruturada, uma criação de modelo de validação e duas aplicações de *survey*.

3.2.1 Perfil evolutivo de publicações

Os trabalhos encontrados apresentam a evolução ilustrada a seguir na Figura 1 entre 2018 e 2022. Há uma crescente procura e interesse pela metodologia LSS na indústria de alimentos, e percebe-se, a partir dessa evolução, que houve um pico de publicações no ano de 2021.

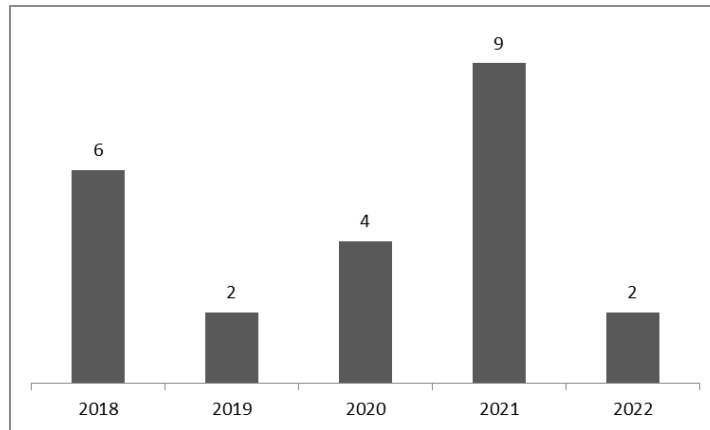


Figura 1 – Perfil de publicação

Fonte: Elaborado pela autora.

Tendo em vista a grande quantidade de requisitos regulatórios que devem ser atendidos pela indústria de alimentos, Costa *et al.* (2018) e Halim-Lim *et al.* (2021) associam este fato com a ainda incipiente procura do setor e baixa priorização na aplicação a metodologia *Lean Six Sigma*. De acordo com esses autores, a indústria de alimentos se mostra conservadora no que diz respeito à melhoria de processos. Ainda com relação à priorização do atendimento regulatório por parte desse setor, esses requisitos legais variam de acordo com a região produtora, o que pode demandar uma flexibilização da metodologia para atender a tais particularidades e ser encarado como um obstáculo para sua implementação (TELENCHANA *et al.*, 2024).

Este comportamento da indústria de alimentos no que diz respeito à aplicação de LSS não está alinhado com o comportamento das organizações de modo geral, observando-se ainda uma procura incipiente das companhias processadoras de alimentos pelo tema, estando focadas na aplicação separada de princípios *Lean* ou *Six Sigma* (MURALIRAJ *et al.*, 2018). Esta aplicação de *Lean* ou *SS* de forma isolada é confirmada pela pesquisa de Costa *et al.* (2018), em sua revisão sistemática da literatura, apontando que, em uma avaliação de artigos científicos sobre LSS na indústria de alimentos, 74% dos trabalhos encontrados tratam da implementação de *Lean Manufacturing*, 16% tratam da aplicação de *Six Sigma* e apenas 10% apresentam a implementação de *Lean Six Sigma*. Kurnia e Purba (2021) corroboram com esta visão, e acrescentam que, tendo em vista o panorama cultural das indústrias de alimentos, esse setor está atrasado na adoção de LSS, comparando a outros setores, como por exemplo: vestuário e têxtil, automotivo, eletrônico, *healthcare* e embalagens.

Os trabalhos retomados pelas buscas se dividem entre o continente Latino-americano (38%) Asiático (33%), Europeu (21%) e Africano (8%). A distribuição por países pode ser vista na Figura 2 a seguir. Conforme Costa *et al.* (2018), revisões envolvendo a produção científica relativa a *Lean*, *Six Sigma* e *Lean Six Sigma* demonstraram a predominância dos continentes Europeu (54%) e Asiático (30%). Já revisões focadas em *Lean Six Sigma* em setores diversos demonstraram hegemonia de publicações nos Estados Unidos (13%) e na Ásia (aproximadamente 54%), asseveram Muraliraj *et al.*, (2018) e Kurnia e Purba (2021).

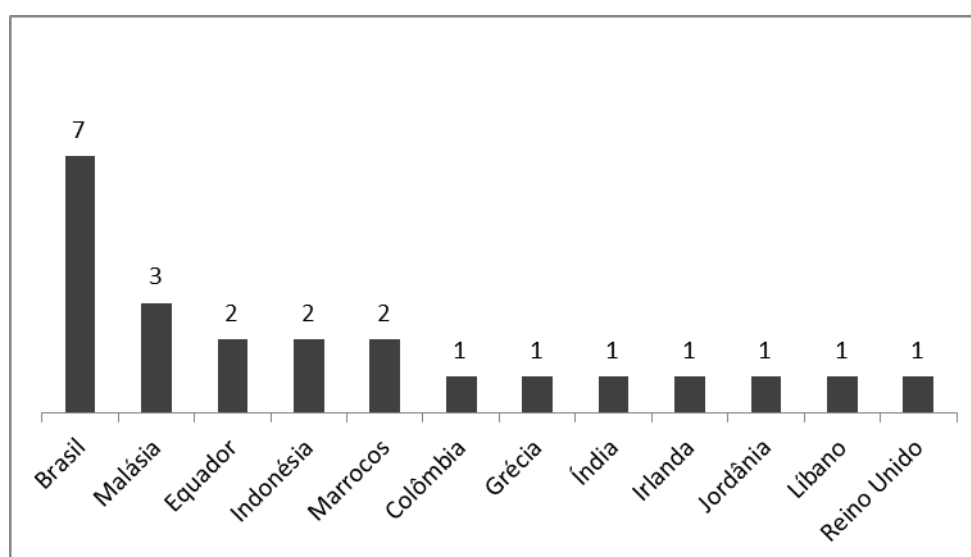


Figura 2 – Países dos autores dos trabalhos publicados

Fonte: Elaborado pela autora

O método predominante encontrado nos artigos selecionados foi o exploratório, com estudos de caso (57%). O resultado é compatível com o encontrado em estudos anteriores de Costa *et al.* (2018), que investigaram a aplicação de *Lean*, *Six Sigma* e *Lean Six Sigma* na indústria de alimentos e na revisão de Muraliraj *et al.* (2018) que investiga a aplicação de LSS em indústrias diversas. Um estudo feito considerando o perfil de implementação da metodologia LSS na Europa trouxe os estudos de caso em segundo lugar, com 17% de aplicação, (PANAYIOTOU; STERGIU, 2021). Tais dados são expressos na Figura 3 a seguir.

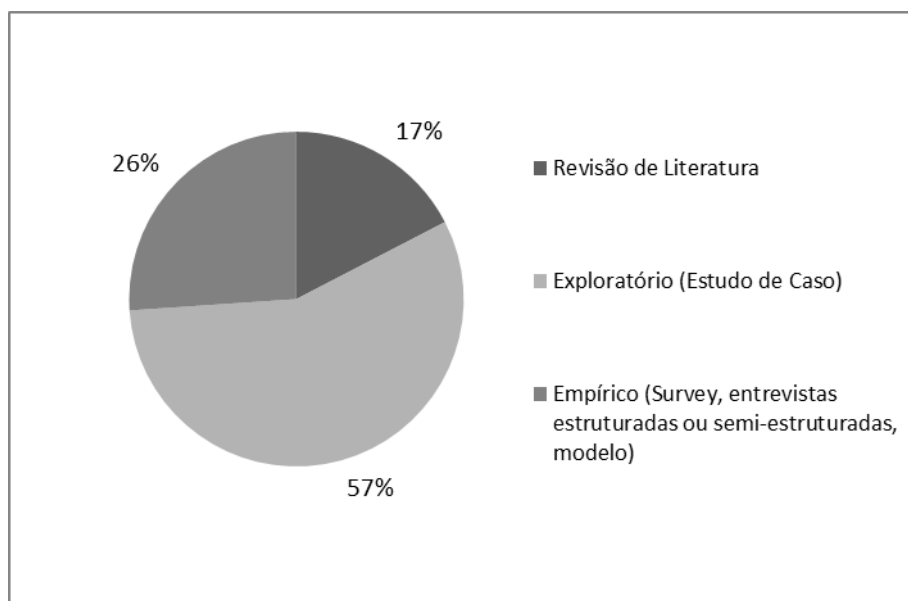


Figura 3 – Método científico adotado pelos autores nos trabalhos publicados

Fonte: elaborado pela autora

3.2.2 Como a metodologia LSS tem sido implementada na indústria de alimentos

A Tabela 3 a seguir traz o detalhamento das aplicações de LSS nas indústrias de alimentos, obtido a partir da avaliação dos trabalhos classificados como exploratórios (estudo de caso) nesse intervalo de tempo. Não foram encontrados trabalhos situados na indústria de alimentos atomatados.

Tabela 3. Estudos de caso com aplicação de LSS na indústria de alimentos

Título	Autor/ Ano de Publicação	Continente	Setor	Resultados alcançados e benefícios observados
Gestão da produtividade na indústria cervejeira	Alves 2018	América do Sul	Cervejaria	Crescimento de 11,2% na aderência média do plano de manutenção, aumento de 7,9% na eficiência de linha, aumento de 9,3% na produtividade.
Addressing food waste and loss in the Nigerian food supply chain Use of <i>Lean Six Sigma</i> and Double-Loop Learning	Kolawole, Mishrb, Hussain 2021	Europa/Ásia	Biscoitos/Pães	Perdas reduzidas, alinhamento da gerência sobre fatores de perda, causas raízes da geração de perdas identificadas, área mais organizada, redução de erros no processo.

Aplicação da metodologia <i>Lean Six Sigma</i> na unidade de massas de uma indústria alimentícia do oeste do Paraná	Moraes 2018	América do Sul	Massas	Aumento da produtividade, diminuição de perdas, redução de índice de sobrepeso.
Aplicación de la metodología <i>Lean Six Sigma</i> en una empresa de lácteos. Caso de estudio en la fabricación de quesos frescos, queso mozzarella y mantequilla	Torres, Coba 2018	América do Sul	Laticínios	Melhora de 2,9% no rendimento da matéria-prima de uma classe de produto e 3,7% em outro produto, incremento de receita bruta.
Application of <i>Lean Six Sigma</i> in the Ecuadorian dairy industry variability reduction of the net weight of cheeses	Segovia, Jarrín, Pérez 2021	América do Sul	Laticínios	Redução de sobrepeso, diminuição no número de paradas por quebra, redução no tempo de <i>set-up</i> , redução na frequência de retrabalhos.
Application of <i>lean six sigma</i> methodology to improve the weight inconsistency problem of coffee powder packaging	Aziz <i>et al.</i> 2021	Ásia	Pó de café	Redução de 6% de rejeição de produtos para 0%, nível sigma reduzido. Foi possível controlar o peso para dentro da faixa aceitável e ainda trazer os valores de processo para mais próximo do target ideal.
Bottleneck identification and process improvement by <i>lean six sigma</i> DMAIC	Nandakumara, Saleeshyab, Harikumarc 2020	Ásia	Cereais	Foi possível aumentar a produtividade e reduzir a flutuação de produção, identificar e eliminar gargalos produtivos.

Methodology

<i>Lean Six Sigma</i> and Design of Experiments An Empirical Case Study From the Dairy Industry	Nader 2022	Ásia	Laticínios	Foi possível definir os parâmetros ótimos de operação para maximizar o OEE: Velocidade de 125 garrafas/min e pressão de vapor de 0.77 bar, OEE 73,45%.
<i>Lean Six Sigma</i> in agribusiness: A case study in a cookie production plant	Rifqi <i>et al.</i> 2021	África	Biscoitos	Decréscimo de 5,96% da taxa de defeitos, aumento de 5,6% na eficiência operacional, melhorias intangíveis em higiene, ambiente de trabalho.
Reducing the percentage of broken drops using the <i>lean six sigma</i> methodology	Sordan <i>et al.</i> 2020	Europa/América do Sul	Doces/ Biscoitos	Aumento de 4.79% no índice de rendimento final do processo e nível sigma de 2.87σ para 3.25σ , redução de custos de não qualidade, redução de reprocessos, aumento de satisfação de clientes.
Reduksi Waste dan Peningkatan Kualitas pada Proses Produksi Brownies Kukus Cokelat dengan Menggunakan Metode <i>Lean Six Sigma</i>	Nurfaidah 2021	Ásia	Bolos	Aumento no nível sigma de 2,84 para 2,95, aumento da qualidade do produto brownie cozido a vapor.
Desenvolvimento de um projeto <i>Lean 6 Sigma</i> aplicado à área de carregamento de uma indústria de alimentos	Strapasson, 2018	América do Sul	Trigo	Os gargalos do processo de carregamento de produtos acabados da empresa foram mapeados e medidos, porém, as ações de melhoria não foram implementadas até o fim do trabalho do autor.

Reducción de kilogramos desperdicios sobrantes rosquitas en el proceso de producción de Socaticas S.A.S. mediante la metodología <i>Lean Six Sigma</i>	Forero 2019	América do Sul	Rosquinhas	Não foram compartilhados números relativos às melhorias, mas foram implementadas ferramentas de padronização e identificação de falhas no processo produtivo, como o uso de cartas de controle e poka-yoke para rejeitar e alertar sobre a ocorrência de rosquinhas fora do padrão aceitável.
--	-------------	----------------	------------	---

Fonte: Elaborado pela autora.

Dentre os estudos de caso analisados, seis trabalhos não trouxeram resultados numéricos práticos que evidenciassem o sucesso da aplicação de LSS (KOLAWOLE, MISHRA, HUSSAIN, 2021; SEGOVIA, JARRÍN, PÉREZ, 2021; NANDAKUMAR, SALEESHYA, HARIKUMAR, 2020; STRAPASSON, 2018; FORERO, 2019), mas mesmo nestes trabalhos, foi confirmado que os resultados esperados foram alcançados. A falta dessas informações nestes trabalhos pode ter sido em decorrência de confidencialidade estabelecida pela organização em que o estudo de caso foi conduzido. Além disso, nenhum estudo de caso mencionou ganhos financeiros de forma numérica.

As motivações que levaram as empresas a aplicarem a metodologia LSS estão diretamente relacionadas com o aumento de qualidade, satisfação de clientes e redução de desperdícios, conforme foi possível observar. Ao reduzir a variabilidade e definir parâmetros ótimos de operação, é esperado que os produtos atinjam níveis de qualidade satisfatórios (NADER, 2022; KOLAWOLE, MISHRA, HUSSAIN, 2021). É válido ressaltar que os objetivos descritos estão interligados, visto que, ao reduzir perdas, desperdícios e retrabalhos, a organização está, consequentemente, reduzindo custos produtivos.

Os resultados alcançados são coerentes com o exposto na literatura (PANAYIOTOU, STERGIOU, 2021; KURINA, PURBA, 2021; IYEDE, DONNELLAN, 2018; HALIM-LIM *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2018). Entretanto, não fica evidente se os resultados se mantiveram após o término do projeto, ou se foram necessários ajustes após a fase de controle. De fato, do total de trabalhos, 46% não apresentaram de forma clara ou não trouxeram nenhuma informação sobre as estratégias de controle implementadas. Isso corrobora o exposto por Costa *et al.* (2018), ao evidenciar que a aplicação de LSS na

indústria de alimentos ainda é incipiente, e que não há priorização nas organizações para a sustentabilidade das melhorias propostas pelas fases anteriores.

Um percentual de 15% dos trabalhos trouxe informações acerca dos fatores críticos de implementação de LSS, percentual também baixo frente aos desafios enfrentados pela indústria de alimentos, anteriormente mencionados. Os estudos que apresentaram informações trazem os seguintes fatores: a experiência do time de implementação; priorização das ações do projeto frente às demandas de rotina da organização; e a falta de treinamento (SEGOVIA, JARRÍN, PÉREZ, 2021; RIFQI *et al.*, 2021). Esses fatores estão fortemente relacionados à ação humana, sendo esta preponderante para a resolução de problemas e atingimento dos resultados esperados na implementação de LSS nas organizações.

Os fatores críticos de sucesso da aplicação de LSS nas organizações foram pouco mencionados, mas estão relacionados com estudos anteriores (COSTA *et al.*, 2018; HALIM-LIM *et al.*, 2021). A compreensão da metodologia LSS e a execução de um pré-trabalho podem ser decisivos para o sucesso, visto que organizações que começam a implementação de LSS sem que seus membros entendam completamente a metodologia apresentam grande dificuldade em manter os resultados obtidos, uma vez que o sucesso da iniciativa depende de um trabalho colaborativo entre os membros da equipe (HALIM-LIM *et al.*, 2021; BIÇER, 2022). Além disso, o comprometimento da alta liderança é um fator primordial para o sucesso do LSS. Desta forma, a capacitação também precisa ser focada nesses recursos (IYEDE, DONNELLAN, 2018). No caso de pequenas e médias empresas (SMEs), a barreira voltada para recursos financeiros se mostra também como um fator crítico (KURNIA, PURBA, 2021).

Dos trabalhos retomados nas buscas, em cinco foi mencionada a composição multidisciplinar contendo: Gerente de planta, Técnico de pesquisas, Engenheiro, Supervisor, operador e assistente (AZIZ *et al.*, 2021); Gerência da empresa, operador e assessor financeiro (FORERO, 2019); Trainee, operador de máquina, supervisor de manutenção, analista de processos e assistente de qualidade (SORDAN *et al.*, 2020). A presença de operadores como membros da equipe ressalta a importância do alto nível de conhecimento demandado para representar a implementação de LSS na organização (FORERO, 2019). Os outros oito trabalhos não mencionam informações acerca do time de implementação de LSS na organização. Isto evidencia que há pouca consciência das empresas acerca da importância da composição do time para o atingimento dos objetivos de LSS (COSTA *et al.*, 2018).

A partir da investigação teórica realizada, depreende-se que a fase Controle, ligada à manutenção dos resultados obtidos após a implementação de LSS nas organizações, representam um grande desafio, ainda pouco explorado se comparado com as fases Definir, Medir, Analisar e Melhorar. Tal constatação também pode estar correlacionada com o fato de haver uma predominância de estudos de caso no mapeamento do perfil de publicações, apontando que as organizações demonstram maior preocupação com a execução da metodologia e obtenção de resultados visíveis no curto prazo. De forma complementar, algumas decisões tomadas na fase Definir, como por exemplo, a definição do time multidisciplinar de implementação; o alinhamento com a alta liderança acerca dos resultados esperados e recursos necessários; e o treinamento dos envolvidos no projeto LSS se mostram cruciais para o atingimento de resultados e melhoria, podendo levar ao fracasso ou a uma piora de resultados da organização caso não sejam corretamente avaliadas.

3.3 Embalagens flexíveis

Os materiais de embalagem são componentes imprescindíveis na indústria de alimentos. O uso de embalagens pelo ser humano é datado de aproximadamente 10.000 anos atrás, em um período em que esses materiais serviam como recipiente para consumo direto e estocagem. Nesse contexto, eram utilizados materiais como cascas de frutos e folhas para desempenhar esta função (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

As embalagens são importantes meios de divulgação e criação de identidade visual de um produto, uma vez que é através delas que se dá o primeiro contato do consumidor com o produto, podendo ser decisivo na hora da aquisição por parte do consumidor. É um fator predominante para a fidelização de uma marca no mercado de bens de consumo (NOGUEIRA *et al.*, 2008). A embalagem é um elemento fundamental para que as organizações produtoras de bens de consumo atinjam o sucesso na comercialização de seus produtos, em qualquer seguimento, aumentando a rentabilidade do negócio (ZAMBONIN *et al.*, 2023).

Apesar do importante papel comercial representado pelas embalagens, esta não é sua função principal, conforme mencionado por Barão (2011). A função primitiva de uma embalagem consiste em proteger o alimento, manter sua conservação por um período pré-determinado e informar o consumidor a respeito de informações nutricionais e formas de utilização. Chaicouski (2022) complementa que, a depender do tipo de embalagem à qual um produto é acondicionado, o tempo de vida útil do produto pode se tornar maior ou menor. Prasad e

Kochhar (2014) especificam que a embalagem deve funcionar como uma barreira à exposição de oxigênio, água, luz e contaminantes químicos ou microbiológicos. Além do aspecto de conservação, Duncan (2011) ressalta que a embalagem deve ser inerte ao produto que acondiciona, uma vez que não pode prejudicar a segurança do alimento. Deve também ter custo de produção viável, estratégias claras de reutilização ou reciclagem, bom desempenho e interação com as máquinas e condições de processo e resistirem ao transporte logístico.

As embalagens podem ser utilizadas para acondicionar produtos envasados a quente ou a frio. Independente desta característica, para garantir que as embalagens exercerão a proteção completa ao produto, é necessário que sejam hermeticamente fechadas no processo produtivo, evitando a contaminação física, química ou microbiológica do produto após processamento (CHAICOUSKI, 2022). A condição não hermética dos produtos leva à contaminação microbiológica e ação do oxigênio ambiente, sendo a condição não-hermética causada, possivelmente, por processamento inadequado, dano à estrutura física do material de embalagem, falha na selagem, marcações na superfície, rebarbas ou falhas de acabamento provenientes do fabricante do material (PRASAD; KOCHHAR, 2014).

As embalagens, em geral, são classificadas de acordo com a espessura e material de composição. Segundo essa perspectiva, as embalagens podem ser divididas em rígidas ou flexíveis, sendo as primeiras inalteráveis de acordo com o produto que acondicionam, podendo ser formada por metal, vidro ou plásticos rígidos; e as segundas, moldáveis conforme o produto que acondicionam, constituídas geralmente por folhas de alumínio, filmes plásticos, papéis ou uma combinação desses materiais (BARÃO, 2011). O uso de materiais plásticos em embalagens alimentícias vem crescendo continuamente, tendo enfrentado resistência no início da aplicação, e rompendo com esta resistência por oferecerem redução de custos significativa no setor produtivo de alimentos (TRIBST; SOAES; AUGUSTO, 2008). A Figura 4 a seguir demonstra diferentes tipos de embalagens e suas classificações.



Figura 4 - Embalagens alimentícias, (A, B, C): Embalagens rígidas; (D, E, F): Embalagens flexíveis.

Fonte: adaptado pela autora a partir de Leopol Plásticos (2023); Vidrado (2023); H Packing (2023); EVox Pack (2023); Jovipel (2023).

As embalagens plásticas flexíveis, em especial, são aquelas que dependem do formato do produto a ser embalado, ou seja, elas se aderem à forma do produto, podendo ser fabricadas de vários formatos, medidas, cores e matérias-primas (PEAD, PEBD, PEBDL, PP). Conforme citam Cabral *et al.* (1984), as embalagens plásticas flexíveis enquadram:

“(...) sacos ou sacarias, envoltórios fechados por torção e/ou grampos, *pouches* autossustentáveis (...), bandejas flexíveis que se conformam ao produto, filmes encolhíveis (shrink) (...), filmes esticáveis (stretch) (...), sacos de rafia, etc.”.

O setor produtivo de embalagens flexíveis apresenta tendência de crescimento nos últimos anos, segundo um estudo realizado pela Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis (ABIEF). Esse estudo também demonstra que, comparando-se a produção de flexíveis de 2021 e 2020, houve um aumento de 2,9% na produção. Este resultado foi alavancado, sobretudo, pelas indústrias de alimentos e produtos de limpeza (ZAMBONIN *et al.*, 2023).

Dentre as embalagens plásticas flexíveis, a embalagem *stand-up pouch* apresenta tendência de expansão de mercado a nível mundial. O mercado global de *stand-up pouches* correspondeu a US\$ 11,13 bilhões em 2018, com projeção de alcance de US\$ 20,12 bilhões até o ano de 2026, com uma taxa de crescimento mapeada em 7,73% neste período (SCARPETA, 2023). Um ponto fundamental que justifica essa expansão é a menor utilização de plástico nesse tipo de embalagem – entre 70 a 75% a menos se comparada à quantidade de plástico utilizada nas embalagens rígidas. As vantagens no aspecto de logística, distribuição e armazenamento dessas embalagens também contribuem para a maior adesão às embalagens flexíveis, uma vez que esse tipo de embalagem ocupa menos espaço, sendo possível transportar um volume

maior de embalagens em um mesmo frete. Ao se reduzir a quantidade de fretes, reduz-se também a quantidade de emissão de gases como CO₂, trazendo o apelo de sustentabilidade à sua utilização (NEGER; SERRALVO, 2023). A Figura 5 a seguir representa alguns formatos de embalagem *stand-up pouch*.



Figura 5 – Embalagens *stand-up pouch*

Fonte: adaptado de HMVM Embalagens (2023).

Com relação à tecnologia de envase utilizando embalagem *stand-up pouch*, a embalagem pode ser fornecida pré-formada ou ser formada no próprio equipamento de envase (tecnologia *form, fill and seal - FFS*), sendo que a pré-formação dá maior flexibilidade ao processo e minimiza perdas, enquanto no modelo FFS é esperada uma maior velocidade de produção e menor custo produtivo. A produção *de stand-up pouch* utilizando FFS é mais aplicada, devido à facilidade para operação e menor custo de manutenção e aquisição de componentes (VLOK; FOURIE, 2010).

Atualmente, a embalagem *stand-up pouch* não está aplicada apenas no acondicionamento de alimentos, mas em outros nichos de mercado, podendo-se citar: produtos de limpeza, cosméticos, produtos farmacêuticos, alimentos para animais de estimação, entre outros, sejam estes produtos líquidos ou em pó (GUALAPACK, 2016). Em se tratando especificamente do mercado de produtos atomatados, desta categoria em embalagem *stand-up pouch* cresce nos últimos anos, sobretudo devido à priorização deste tipo de embalagem nas aquisições das classes D e E, que experimentam uma ascensão econômica e maior acesso a bens de consumo e focam primeiramente no preço final do bem de consumo (NOLETTO *et al.*, 2019).

4. Procedimentos Metodológicos

A pesquisa em questão se classifica como qualitativa, sobretudo pelo fato de contar com a *expertise* e vivência dos indivíduos que participam da pesquisa para gerar conhecimento e de suas respectivas interpretações. Segundo Silva e Ferreira (2022), a abordagem qualitativa não tem como objetivo a produção de trabalhos “assépticos”, justamente por depender fortemente das interpretações do pesquisador e dos indivíduos relacionados, bem como suas interações com o ambiente investigado na execução do trabalho. Trata-se também de uma pesquisa de caráter intervencionista, uma vez que foi aplicada uma pesquisa-ação em uma empresa do setor de produção de alimentos atomatados. Segundo Rosa et al. (2023), este método de pesquisa é definido como um método com abordagem prática, que se propõe a resolver problemas reais através da intervenção dos pesquisadores envolvidos. No ambiente organizacional, a pesquisa-ação foca em resolver problemas, sobretudo, de ordem técnica, por exemplo, introduzindo novas tecnologias. De forma complementar, o pesquisador tem um duplo papel – observar e intervir. Silva, Oliveira e Ataídes (2021) complementam ao mencionar que pesquisadores e participantes cooperam com a solução do problema estabelecido, e o pesquisador ultrapassa a compreensão para um estado de mudança da situação estudada e produção de conhecimento.

A pesquisa-ação foi conduzida em uma indústria de alimentos multinacional de grande porte, localizada na região centro-oeste do Brasil, no estado de Goiás. Para este trabalho, considerou-se a aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* em uma área piloto da indústria, definida a partir de aspectos estratégicos, por exemplo, o volume produzido e demanda de vendas. Sendo assim, o trabalho contempla a aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* para a melhoria de um processo produtivo específico, e foi utilizado o método DMAIC no decorrer da pesquisa-ação, seguindo as fases: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar.

Para a fase definir, foi delimitado o escopo de atuação da pesquisa-ação, com a utilização de dados preliminares do processo produtivo e indicadores do processo (perdas, rendimentos, descartes, número de desvios de qualidade, entre outros). Foi também formada uma equipe multidisciplinar com as seguintes áreas: qualidade e segurança de alimentos; manutenção; otimização de processos; manufatura e pesquisa e desenvolvimento. Durante esta fase, foram definidas as estratégias de governança e avaliação de riscos para a execução, bem como construído o *Project Charter*. Também foi definida a “Voz do Cliente” e parâmetros críticos para qualidade (CTQs) que foram acompanhados e aprofundados quantitativamente durante a fase medir.

Na fase medir foram coletados os dados relativos ao problema definido na etapa anterior. Os dados necessários para a condução deste estudo foram capturados dos fornecedores de embalagem laminada flexível e fabricantes dos equipamentos de envases; relatórios físicos ou digitais internos de fechamento de produção, perdas e descartes; e de medições dos CTQs. Para esta fase, os dados deveriam, preferencialmente, atender a um histórico de 12 meses, quando possível.

Após a fase de medição, foi executada a análise dos dados e posteriormente, análise das causas do problema abordado, utilizando ferramentas de análise de causa raiz e priorização. A partir da priorização de ações para resolução do problema, iniciou-se a fase de melhoria, com a implementação das ações definidas anteriormente e acompanhamento dos resultados após as mudanças.

Por fim, a fase de controle definiu as estratégias para manter as melhorias sustentáveis no longo prazo, transferir as responsabilidades do time multidisciplinar para o time de operação de fábrica e criar o plano de controle. A Figura 6 a seguir descreve sistematicamente os passos adotados para esta implementação.

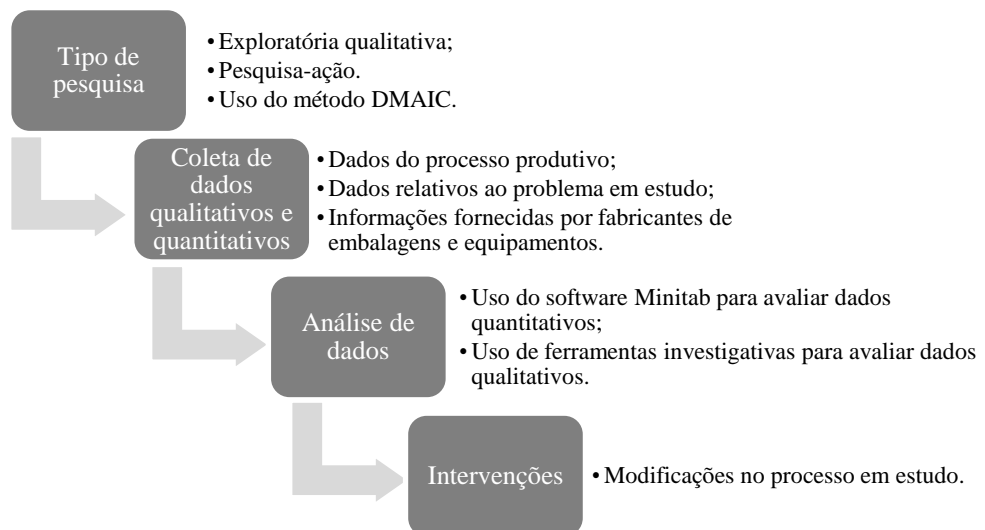


Figura 6 – Representação sistemática da implementação de *Lean Six Sigma*

Fonte: elaborado pela autora.

5. Resultados e discussões

5.1 O contexto objeto desse estudo

5.1.1 Considerações gerais sobre a organização estudada

A pesquisa-ação foi conduzida em uma indústria de alimentos multinacional de grande porte, localizada, no estado de Goiás. A empresa em questão produz produtos de tomate: molhos e extratos para o mercado *retail e food service* (B2C – *business to customer*) e polpa de tomate para outras unidades produtivas (B2B – *business to business*).

Cerca de 600 funcionários trabalham na organização, que possui operação ativa em três turnos, durante seis dias na semana. No sétimo dia, é executada a limpeza e sanitização de todas as linhas produtivas e atividades de manutenção são programadas e executadas. As linhas de produção são divididas em assépticas – com o envase dos produtos acondicionados em embalagem rígida plástica (tecnologia de pote) e embalagem cartonada (tecnologia *Tetra Pak*) – e não assépticas – com o envase dos produtos acondicionados em embalagem metálica rígida (tecnologia lata) e laminado flexível (tecnologia *stand-up pouch*).

As linhas de envase da tecnologia *stand-up pouch* para o mercado *retail* são responsáveis pelo maior volume produzido da planta, maior quantidade de envasadoras e maior demanda de vendas.

5.1.2 Fluxo produtivo da indústria objeto do estudo

Durante o período de safra do tomate, ocorre a colheita do fruto, de forma automatizada nas plantações. As colheitadeiras fazem o corte, elevação, separação de frutos e carregamento dos caminhões. A separação visa coletar o fruto com o menor índice de terra, galhos, folhas e ramas. Nesta etapa do processo, os danos ao tomate podem ser reduzidos, sobretudo com a redução da velocidade de colheita (NOALE, 2015). Há uma recomendação de que a colheita proceda quando a porcentagem de frutos de coloração vermelha (maduros) tenha percentual entre 80 e 85%. Porém, pode haver diferentes estratégias a depender do manejo e prioridades de produção de cada organização (RODRIGUES, 2017). A qualidade dos frutos, depois de colhidos, não pode ser melhorada, ou seja: será mantida ou reduzida, e a manutenção da qualidade está diretamente relacionada com os métodos de colheita, processos de fertilização e manejo durante plantio e os métodos de descarga do fruto (AYALA, 2017).

O percurso percorrido pelo tomate das plantações até o processo produtivo varia a depender da distância das fazendas até a unidade industrial. Ao chegar à fábrica, as cargas de tomate são classificadas, por meio de uma amostragem feita no laboratório de classificação agrícola. Neste local, uma amostra de aproximadamente 20 kg é retirada do caminhão e direcionada a análises qualitativas e físico-químicas. Noale (2015) menciona que as primeiras normativas de

classificação de tomate industrial foram publicadas na década de 1920, nos Estados Unidos. A partir dessa publicação, as análises do tomate passaram a serem critérios para pagamento de bonificações ou descontos aos produtores.

A partir desta amostra, são separados os frutos por categorias: frutos verdes, desintegrados ou descoloridos. Também são separadas da amostra as impurezas provenientes do campo, por exemplo: torrões de terra, sabugos, ramas, pedras e outros materiais que possam ter sido coletados juntamente com os tomates. Esta classificação e separação servem para presumir a qualidade global da carga e estimar percentuais de cada um dos desvios. Após esta separação, parte do tomate da amostra é triturada, e são feitas análises de pH, °brix e cor. Segundo Noale (2015), a análise de pH é um importante parâmetro de qualidade, pois está associado à faixa de inibição de crescimento microbológico, devendo ser inferior a 4,40. A faixa de pH do tomate processado é determinante para se estabelecer a temperatura de esterilização, em etapas posteriores de processamento.

Rodrigues (2017) ressalta a importância das análises de grau brix e cor. Sobre a primeira, o autor afirma que se refere à quantidade de sólidos solúveis presentes, e por isso, quanto mais elevado seu valor, maior concentração de massa existe no tomate e maior sua qualidade e rendimento, uma vez que é necessário despende uma menor energia para concentrar o tomate através da remoção de água. Sobre a segunda, o autor menciona que está diretamente associada ao aspecto visual dos produtos, sendo uma medida fundamental para a satisfação dos consumidores. A cor é diretamente ligada ao teor de carotenoides, sobretudo o licopeno.

Todos os resultados das análises são inseridos em um sistema eletrônico e, após isto, a carga é direcionada ao processo produtivo. Após a liberação do laboratório de classificação, o caminhão segue para a área de descarregamento. Noale (2015) ressalta duas possíveis formas de descarregamento: por via seca ou via úmida, mas enfatiza que os métodos de via úmida de descarregamento tendem a reduzir a degradação dos frutos. Para o caso da descarga úmida, que é aplicada na indústria objeto do estudo, há uma injeção de água diretamente no topo da carga, fazendo com que os tomates sejam deslocados por via hídrica ao longo de canais.

Em seguida, o tomate passa por esteiras, que visam fazer uma primeira separação de contaminantes. Nestas esteiras, o tomate também recebe uma lavagem com água clorada. Depois desta lavagem preliminar, os tomates são direcionados à área de moagem, onde há também uma separação de possíveis contaminantes que ainda possam restar.

Imediatamente após esta etapa de separação, o tomate cai em reservatórios de moagem, com rotores que fazem a trituração dos frutos. O produto desta etapa é o suco de tomate, que passa por um peneiramento e pelo processo de inativação enzimática. Este processo, segundo Chada (2021) tem o objetivo de inativar as enzimas do tomate e adequar a consistência do produto ao fim do processo. O autor detalha duas possibilidades de inativação: a modalidade “*hot break*”, que utiliza temperaturas próximas a 95°C, e a modalidade “*cold break*”, com temperaturas próximas a 65°C. Quanto mais elevadas as temperaturas nesse processo, maior a viscosidade atingida, porém, ocorre uma perda maior de cor e aroma. Na indústria onde o estudo foi conduzido, é possível executar a inativação em ambas as modalidades.

Após a inativação, o suco de tomate passa para os concentradores, que são equipamentos de evaporação que fazem a retirada da água do suco, dando origem à polpa de tomate, que é posteriormente esterilizada a partir de técnicas que visam preservar as características físico-químicas e organolépticas do produto (CHADA, 2021; NOALE, 2015). O processo de produção da polpa de tomate na indústria em questão pode ser observado na Figura 7 a seguir. Tal processo descrito é similar ao expresso por Ayala (2017) e Munhoz (2016).

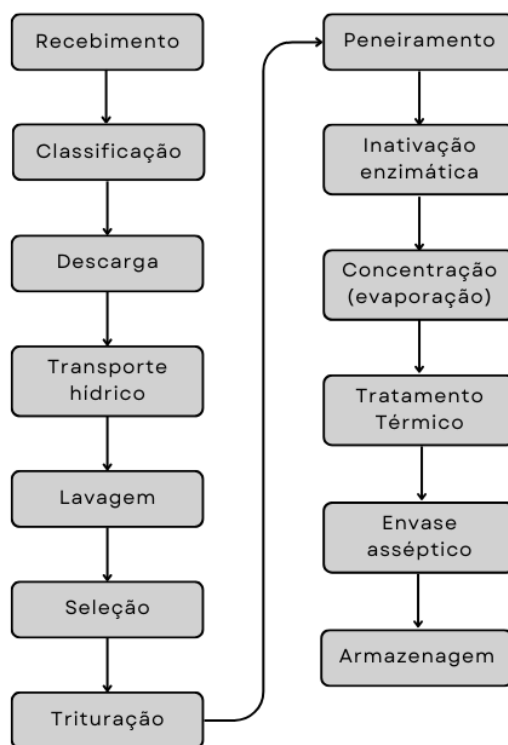


Figura 7 – Fluxograma de produção de polpa de tomate

Fonte: adaptado pela autora a partir de Ayala (2017) e Munhoz (2016).

Caso os tomates sejam direcionados para a produção de tomate em pedaços, os frutos passam por uma fatiadora, que corta os tomates em pequenos pedaços não maiores que dois centímetros, semelhantes a cubos, que posteriormente são envasados em seu próprio suco ou com purê de tomate, processo semelhante ao descrito por Noale (2015). Estes pedaços passam por uma etapa de seleção, visando retirar materiais diferentes dos pedaços de tomate, e posteriormente são tratados termicamente e envasados de maneira asséptica.

Munhoz (2016) enfatiza a etapa de armazenamento como relevante no que diz respeito ao impacto sobre a qualidade dos produtos assepticamente envasados de tomate. No Brasil, de forma geral, o armazenamento da polpa de tomate se dá em pátios abertos, à temperatura ambiente, semelhante às condições de armazenamento da produção americana. Entretanto, nos Estados Unidos, a polpa fica exposta a temperaturas brandas de inverno, enquanto no Brasil, a exposição ocorre no verão, a altas temperaturas e incidência solar. Nessas condições, conforme corroborado pela autora, a validade deste produto asséptico é de 24 meses, em média, quando submetida a tais condições de armazenamento.

Na área de formulação, ocorre a mistura da polpa de tomate com outros ingredientes (açúcar, amido, condimentos, sal, aromas, entre outros), conforme a ficha técnica de cada produto. Após a adição de todos os ingredientes, ocorre o tratamento térmico, e após esta etapa, o produto formulado é direcionado à área de envase, podendo ser acondicionado em embalagem laminada flexível *stand-up pouch*. O processo de formulação é representado na Figura 8 a seguir:

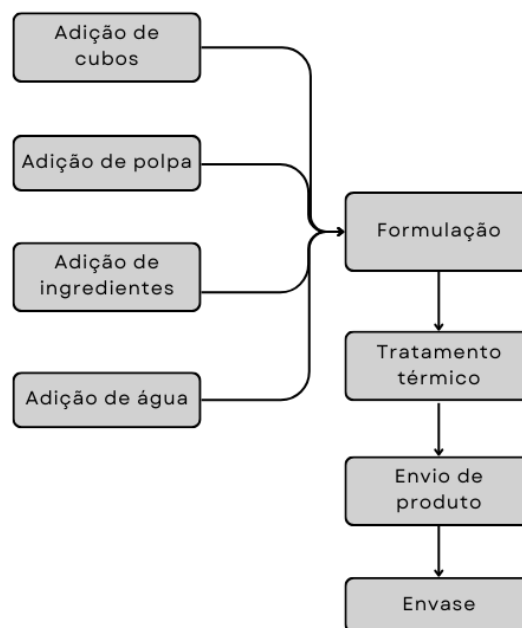


Figura 8 - Fluxograma do processo de formulação

Fonte: elaborado pela autora.

Para a organização em questão, a embalagem laminada flexível (filme) alimenta as envasadoras em forma de bobinas, segundo a tecnologia *form, fill and seal (FFS)*. Essas bobinas são desbobinadas em rolos, para esticar a embalagem e posicioná-la. Após a abertura do laminado e conformação do mesmo em duas faces (frontal e traseira), é feita a selagem inferior e lateral da embalagem. A selagem é feita em barras metálicas com a aplicação de temperatura, a uma dada pressão e por um determinado tempo, semelhante ao processo descrito por Vlok e Fourie (2010). Tal processo consiste na termosoldagem, em que determinados materiais são submetidos a condições que permitam a fusão dos mesmos, sendo a técnica mais utilizada para selar embalagens flexíveis (JORGE, 2013). Cada dimensão da embalagem (superior, lateral e inferior) é fechada por um conjunto de barras de selagem distintas.

Estudos de Syuya e Eisaku (2004) destacam que o índice de desvios de qualidade relacionados a falhas de selagem está diretamente associado ao tempo de selagem (associado à velocidade de envase) e à temperatura aplicada sobre a área de selagem. Merabtene *et al.* (2023) e Miguel (2003) acrescentam a pressão como um parâmetro importante para garantir a qualidade de selagem, ao aplicar o desdobramento da função qualidade (QFD) no desenvolvimento de filmes flexíveis para embalagens.

Em seguida, o laminado é resfriado, ao passar por uma chapa de resfriamento, que visa interromper a soldagem das faces do laminado, dando resistência e rigidez à selagem. Neste ponto, também são requeridos padrões de temperatura e pressão. Com as selagens resfriadas, o laminado passa para a seção de corte, em que serão formadas as unidades de sachês. Os sachês são sequencialmente abertos, envasados com produto quente e selados na parte superior, seguindo requisitos semelhantes às selagens inferior e lateral. Este processo de envasamento se assemelha ao descrito por Ramírez (2016). A Figura 9 a seguir mostra as dimensões de fechamento da embalagem.



Figura 9 – Dimensões de fechamento da embalagem flexível

Fonte: adaptado pela autora a partir EVox Pack (2023).

Depois de concluído todo este processo, os produtos são direcionados a uma estação de resfriamento, visando o controle de microorganismos termorresistentes. Após o resfriamento, os sachês entram em uma secadora, que faz a remoção da água de resfriamento da superfície externa da embalagem. Posteriormente, há a formação de caixas e acondicionamento dos sachês nas caixas, que em seguida são paletizadas e direcionadas para o depósito de produtos acabados, para então serem expedidas conforme a programação de pedidos dos clientes.

5.2 Aplicação do método DMAIC no setor estudado

Para a condução da pesquisa ação, foram aplicadas as fases do método DMAIC: *Define* (definir), *Measure* (medir), *Analyze* (analisar), *Improve* (melhorar) e *Control* (controlar), conforme descrito nos procedimentos metodológicos, sendo aplicada como um projeto de

duração de um ano na organização em questão. Desta forma, a aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* nas linhas de produção de produtos atomatados em embalagem flexível *stand-up pouch retail* está descrita conforme a cronologia do DMAIC.

A implementação foi conduzida entre julho de 2022 e setembro de 2023. A fase Definir foi conduzida entre julho e agosto de 2022; a fase Medir entre setembro e dezembro de 2022; a fase Analisar, entre janeiro e março de 2023; a fase Melhorar, em abril de 2023; e a fase Controlar, entre maio e junho de 2023.

5.2.1 Atividades prévias ao DMAIC

Na fase preliminar da aplicação da metodologia LSS no cenário exposto anteriormente, foi delimitado o escopo de atuação do projeto, a partir da necessidade estratégica do negócio. A impulsão para o surgimento deste projeto na organização veio antes do início do DMAIC, a partir da definição da estratégia anual de 2022 (*Annual Operations Planning*). Essa definição ocorre todos os anos, momento em que são elencadas as prioridades do negócio, indicadores de performance que devem ser acompanhados para garantir o atingimento da estratégia e projetos que impactam esses indicadores, bem como áreas e responsáveis por liderar tais projetos.

Naquele contexto, o projeto LSS foi fomentado sobretudo pela conexão com o pilar estratégico de “ser orientado ao cliente (*be customer driven*)”. A liderança da planta produtiva tinha a necessidade de aumentar a *expertise* na tecnologia de produção *stand-up pouch FFS*, responsável pela maior demanda de vendas e maior projeção de crescimento, e uma possível redução do índice de vazamentos dos produtos produzidos por estas linhas.

Outro aspecto que favoreceu a implementação foi o apelo da organização pela modernização de ativos. Essa tendência foi observada a nível global, sendo endossada pela criação de áreas dedicadas à disseminação de tecnologias de operação, controle, automação, manutenção e confiabilidade. Além disso, projetos que requeressem investimento e tivessem a característica de modernização do negócio poderiam ser priorizados de forma mais ágil, caso tivessem um *business case* atrativo e propositivo.

5.2.2 Definir

5.2.2.1 Problema em estudo: vazamentos

O índice de vazamentos foi visto pela organização como um dos principais desafios para alavancar o crescimento da categoria *retail* nas regiões norte e nordeste, nas quais se prevê uma expansão de presença da marca ao longo dos próximos cinco anos. Entre os meses de junho de 2021 a maio de 2022, foram devolvidas 1.650 toneladas de produto acabado da tecnologia *stand-up pouch* por motivo de vazamentos, o equivalente a uma perda financeira de aproximadamente R\$ 680.000,00, que representa 46% de todo o valor devolvido considerando todos os demais motivos de devolução por qualidade.

Os vazamentos acontecem, de forma simplificada, quando há uma falha no fechamento hermético das embalagens cheias de produto, seja por um desvio nos parâmetros de selagem, desvios nas especificações da embalagem primária ou por causas relacionadas ao enchimento (excesso de produto, sujidade na região de selagem da embalagem, entre outros), ou ainda por causas combinadas e/ou desconhecidas. Quando este desvio ocorre, há um impacto negativo para os clientes, e o produto precisa ser repostado, o que gera perdas para a organização, por exemplo, custos extras de fabricação, transporte e distribuição.

5.2.2.2 Escolha das linhas de produção

Foi definido pela liderança da planta que, dentre as linhas de fabricação de produtos em envasadora *stand-up pouch FFS* descritas de maneira hipotética como A, B, C, D e E, o projeto excluiria apenas a linha E do escopo, por se tratar de uma linha que apresentava complexidade adicional devido à quantidade elevada de formatos que são produzidos por ela e, conseqüentemente, embalagens com diferentes especificações, o que demandaria a implementação separada da metodologia para a linha em questão. Além disso, as linhas A, B, C e D possuíam demanda de produção completamente comprometida com o mercado, ou seja, toda a produção dessas linhas tinha demanda de vendas prevista pelo time comercial.

Após esta definição preliminar, foi feita uma avaliação dos dados de eficiência de produção, quantidade de produtos (SKUs) produzidos, índice de não conformidades de produção nas linhas A, B, C e D, taxa de vazamento de produtos acabados e particularidades de produção, e foi definido, ainda, que para este estudo, qualquer intervenção necessária seria primeiramente executada na linha A. Foi definido que, caso fosse possível, algumas ações de melhoria provenientes da implementação de LSS poderiam ser replicadas nas envasadoras B, C e D.

Nesse ponto da implementação, foi levantada uma possível dificuldade de medição da redução da taxa de vazamento apenas da linha A. Isso porque a taxa de vazamentos era medida em conjuntos de linhas, ou seja: as linhas A e B, em conjunto, possuíam o seu índice de vazamento, uma vez que os produtos de cada uma das linhas eram encaixotados juntos. Dessa forma, a taxa de vazamentos da linha A era desconhecida, e ao final da implementação, não seria possível ter um valor acurado de taxa de vazamentos para essa linha, uma vez que, se houvesse uma elevação no índice de vazamentos, isso poderia ser atribuído a falhas na envasadora B, e não na A. Esse risco foi exposto para a liderança, que decidiu assumi-lo entendendo que a implementação poderia trazer outros benefícios à organização, como a modernização dos ativos.

Com a definição da linha de produção, foi definido um líder para a implementação da metodologia *Lean Six Sigma* neste ambiente produtivo.

5.2.2.3 Formação da equipe multidisciplinar e Project Charter

A equipe do projeto foi formada em acordo entre a líder de implementação e os supervisores das áreas de produção, melhoria contínua, manutenção, qualidade e pesquisa e desenvolvimento. Os participantes da equipe formação em engenharia mecânica, engenharia elétrica, engenharia de alimentos e engenharia química, todos com experiência no processo produtivo a ser avaliado. Para a escolha dos membros da equipe, foi considerado o conhecimento técnico, participação em projetos anteriores na organização e algumas habilidades interpessoais, como trabalho em equipe, capacidade de resolver problemas de forma inovadora e foco em resultado.

O escopo do projeto foi apresentado para os membros da equipe, bem como as entregas esperadas em cada uma das fases do DMAIC. Foi definida em conjunto com os membros da equipe uma estratégia de governança, conforme apresentado pela Tabela 4 a seguir.

Tabela 4. Estratégia de governança de reuniões

Fórum	Público participante	Frequência	Duração
Reunião da equipe multidisciplinar	Membros da equipe multidisciplinar: produção, melhoria contínua, manutenção, qualidade e pesquisa e desenvolvimento.	Semanal	1 hora
<i>Follow-up</i> de execução	Gerentes de produção, melhoria contínua, manutenção, qualidade, pesquisa e desenvolvimento e melhoria contínua.	Mensal	1 hora

importância, visto que permitiu um alinhamento de expectativas entre as áreas envolvidas no projeto.

5.2.2.4 Análise de *Stakeholders*

Ainda na fase Definir, foi feita uma avaliação de todos os *stakeholders*, internos e externos à organização. O objetivo desta análise foi determinar o papel que cada *stakeholder* teria no decorrer do projeto, o grau de comprometimento, o nível de resistência e o grau de impacto no projeto. Para esta implementação, os *stakeholders* internos foram: os membros da equipe multidisciplinar; supervisores e gerentes das áreas envolvidas; operadores e gestores de produção; mecânicos e instrumentistas; e consultores técnicos. Já os *stakeholders* externos foram representantes dos fabricantes das envasadoras e fornecedores de material de embalagem. Os critérios de classificação feitos para cada um dos *stakeholders* podem ser vistos na Tabela 6 a seguir. Tais critérios são os mesmos usados pela organização em análises de *stakeholders* para projetos de uma forma geral.

Tabela 6. Critérios para análise de *stakeholders*

Papel desempenhado	Dono da mudança (DM) Líder da mudança (LM) Usuário Final (UF) Participante da mudança (P)
Estado inicial de comprometimento	Consciência (CS) Entendimento (E) Aceitação (A) Comprometimento (C) Defensor (D)
Estado desejado de comprometimento	Consciência (CS) Entendimento (E) Aceitação (A) Comprometimento (C) Defensor (D)
Nível de resistência	Alta (A) Média (M) Baixa (B)
Importância da influência	Alta (A) Média (M) Baixa (B)

Fonte: elaborado pela autora a partir de dados da organização.

Para a execução da análise de *stakeholders*, utilizou-se uma planilha com pontuações para cada um dos estados iniciais, desejados, nível de resistência e importância da influência. Essas pontuações representam uma forma de quantificar a porcentagem de membros em cada estado de comprometimento. A partir da avaliação da análise de *stakeholders*, observou-se que, para

o estágio inicial do projeto, mais de 60% dos *stakeholders* tinham baixo nível de comprometimento, representado pelo estado de “consciência” sobre a mudança, e 15% dos *stakeholders* tinham nível alto de comprometimento, representado pelos estados de “comprometimento” e “defensor”. Este cenário era esperado, uma vez que, ao início da implementação, os stakeholders ainda precisam de um aprofundamento sobre a motivação do projeto, impactos da não execução e relevância.

Como estado futuro, esperava-se que entre 40 e 50% dos *stakeholders* avaliados estivessem no nível de “aceitação” e cerca de 30% estivessem no nível de “comprometimento” e “defensor”. A partir desta análise, foi possível verificar quais *stakeholders* deveriam ser monitorados, quais deveriam ser constantemente informados e qual nível de detalhamento do andamento do projeto deveria ser formalizado a cada um, de acordo com os níveis de comprometimento, influência e resistência. A Figura 10 a seguir demonstra, de forma gráfica, como foi executada a análise de *stakeholders*.

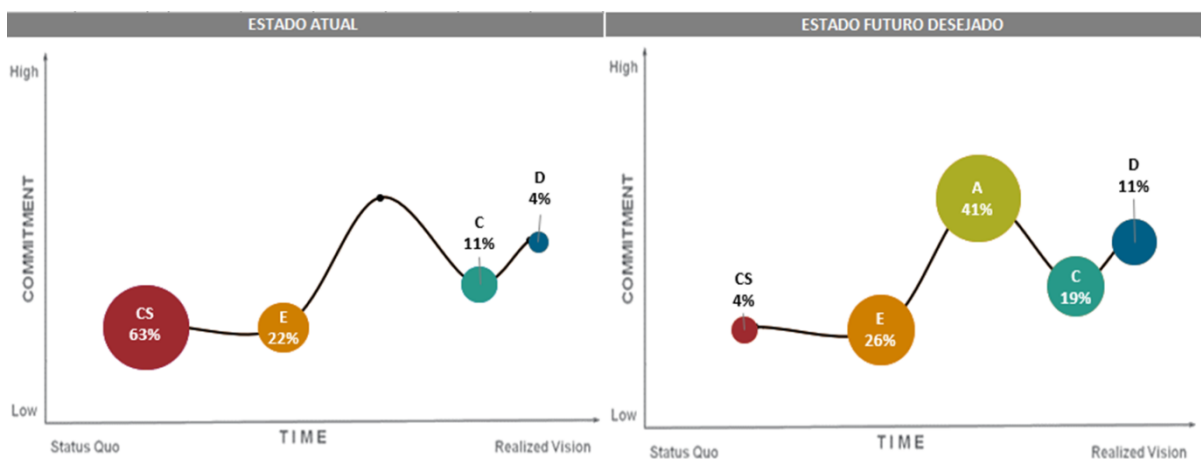


Figura 10 – Análise de Stakeholders

Fonte: elaborado pela autora.

5.2.2.5 Voz do Cliente (VOC) e Parâmetros Críticos para Qualidade (CTQs)

Para que fosse possível mapear os parâmetros críticos para a qualidade associados ao problema de vazamento de produtos acabados, foi feita a construção da “Voz do Cliente” (*Voice of Customer*), definida por Miguel *et al.* (2003) como sendo a tradução dos requisitos, expectativas e necessidades exigidos pelos clientes. A partir da voz dos clientes, é possível converter os aspectos desejados a parâmetros de processo ou especificações. O mapeamento da VOC foi feito de forma semelhante ao modelo proposto por Miguel *et al.* (2003), e pode ser visto conforme a Figura 11 a seguir.

Voz do Cliente			Características Traduzidas em Especificações								
			Cor	Consistência	Teor de pedaços	pH	° Brix	Resistência de selagem	Resistência de laminação	Temperatura de envase	Peso
Item	Expectativa Primária	Expectativa Secundária									
Produto	Produto com qualidade e saboroso	Bom sabor									
		Boa textura									
		Boa aparência visual									
	Produto saudável	Sem contaminações									
		Hermeticamente fechado									
Embalagem	Embalagem preserva o produto	Mantem sabor, odor, cor									
		Impede contato do produto com ar									
		É inerte ao produto									



 Alta correlação
 Baixa correlação

Figura 11 – Voz do Cliente (VOC)

Fonte: elaborado pela autora.

Considerando que o problema delimitado para esta pesquisa foi o índice de vazamentos (%), a equipe multidisciplinar considerou que a voz do cliente associada ao “produto hermeticamente fechado”, “sem contaminações” e “embalagem impede contato do produto com o ar” eram mais associados ao problema a ser tratado, e, portanto, as especificações correlacionadas definidas foram a “resistência de selagem” e “resistência de laminação”, sendo a primeira associada às condições de máquina e embalagem, simultaneamente e segunda associada apenas ao processo de fabricação da embalagem flexível, ou seja, de responsabilidade do fabricante de embalagens.

Após a definição da voz do cliente e priorização, foi feito um segundo desdobramento, visando estratificar quais parâmetros estariam associados às especificações mencionadas, e que seriam críticos para a qualidade (CTQs). De acordo com Irawan, Ratnawati e Dilla (2021), os CTQs são diretamente relacionados à conformidade de produtos acabados, por isso sua grande relevância e necessidade de definição. A partir da experiência da equipe multidisciplinar, em complementaridade com o exposto por Merabtene *et al.* (2023), Miguel (2003), Syuya e Eisaku (2004) e Vlok e Fourier (2010), foram definidos três parâmetros como CTQs, dentre diversos parâmetros: temperatura de selagem, pressão de selagem e tempo de selagem. A equipe optou por escolher parâmetros mensuráveis como CTQs, como uma maneira de tornar mais fácil a avaliação de resultados após a fase de melhoria.

Durante a definição de CTQs, a priorização foi um desafio, tendo em vista que a selagem é formada pela consonância de vários parâmetros. A equipe multidisciplinar tinha conhecimento do risco de não priorizar um parâmetro que também fosse importante e as implicações disso no sucesso do projeto. Porém, tendo em vista a complexidade do problema, recursos disponíveis e tempo para execução do projeto, optou-se por manter os três CTQs anteriormente mencionados como os únicos dentro dessa implementação.

5.2.3 Medir

Na fase de medição foi construído o mapa do processo visando a identificação de oportunidades rápidas, ou seja, com baixo esforço de execução e impacto significativo – e nivelamento de conhecimento na equipe multidisciplinar sobre o processo de envase e apontamento de variáveis que poderiam ter impacto sobre a qualidade do produto. Através do mapa, foi também feito o mapeamento de quais atividades, leituras ou ajustes dependiam de intervenção humana, e quais eram realizadas de maneira automática. Torres e Coba (2018) comentam que o mapa de processo consiste em uma representação gráfica de um processo produtivo, que permite um aprofundamento nas operações envolvidas no processo de fabricação e facilita tomada de decisões sobre melhorias propostas ao respectivo processo.

O mapa do processo foi construído no software Microsoft Visio, em forma de diagrama de blocos simples, podendo ser observado na Figura 12 a seguir. Para esta construção, foi considerado apenas o mapeamento do processo de envase, ou seja, processos anteriores ou posteriores ao envase não foram considerados para esse fluxo. Para melhor visualização da equipe multidisciplinar, o mapa foi impresso em formato A0 (841x1189 mm), e, em cada uma das etapas do processo foram descritas quais variáveis teriam impacto na qualidade do produto, quais já eram medidas, monitoradas ou controladas. Nesta etapa, operadores do envase puderam deixar suas contribuições ao mapa de processo em papéis adesivados, que puderam ser fixados ao mapa.

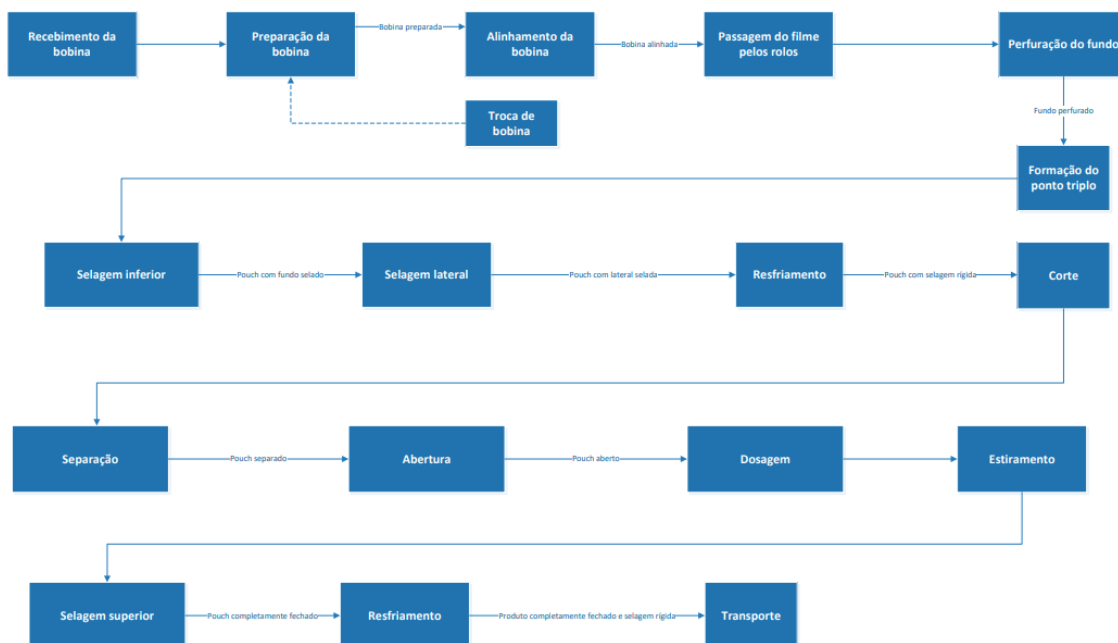


Figura 12 – Mapa de processo

Fonte: elaborado pela autora.

As etapas de selagem (inferior, lateral e superior), que estão diretamente relacionadas com os CTQs previamente definidos, são realizadas em conjuntos de barras de selagem. A selagem inferior visa o fechamento do fundo da embalagem, e é feita por duas barras paralelamente situadas, que atuam como mordentes, ou seja: uma barra fica posicionada à frente do laminado (barra frontal) e a outra fica posicionada na no verso do laminado (barra traseira). A selagem vertical visa o fechamento das laterais direita e esquerda da embalagem, e é feita por um conjunto de três mordentes (três barras frontais e três barras traseiras). Por fim, a selagem superior tem o objetivo de fechar o topo da embalagem, por onde a mesma é aberta durante o consumo final do produto, sendo feita por duas barras paralelas, uma frontal e uma traseira, semelhante à selagem inferior.

As etapas de resfriamento, que ocorrem imediatamente após a selagem vertical e após a selagem superior, ocorrem em placas dispostas similarmente às barras de selagem, ou seja, uma placa à frente do laminado e uma na parte traseira dele. No interior dessas placas circula água resfriada, proveniente de um equipamento denominado *chiller*. O *chiller* é alimentado com a água da rede de distribuição da fábrica, e a transfere de uma temperatura de aproximadamente 25°C para uma temperatura entre 6°C e 14 °C. Essa água entra e sai das placas de resfriamento, de forma contínua. Essas etapas são importantes porque o resfriamento visa interromper a termossoldagem que acontece nas barras de selagem. Uma

falha nessa etapa implica em uma continuidade da fusão das faces da embalagem, o que gera deformações nos materiais que compõem o filme flexível e enrugamento na zona de selagem.

A disposição das barras de selagem é exemplificada na Figura 13 a seguir, que trata de um exemplo não proveniente da organização em estudo. As barras de selagem estão destacadas em amarelo.



Figura 13 – Barras de selagem inferior, vertical e superior

Fonte: adaptado pela autora a partir de Allied Pharma Technologies LTD (2024).

Durante a identificação de variáveis, foi percebido que para o CTQ “temperatura de selagem”, tal variável já era medida em tempo real, através de um instrumento de medição de temperatura denominado PT-100, inserido em uma dada posição de cada uma das barras de selagem, porém, os valores não eram capturados para leitura histórica devido a uma restrição de automação, não permitindo análises de tendência com base em histórico de medição.

Tendo em vista esta limitação, para que fosse possível analisar os dados de temperatura, optou-se pelo levantamento dos dados históricos de medição desse parâmetro usando termômetro de contato, no intervalo de janeiro a dezembro de 20Pr22. A medição de temperatura usando esse método era feita em um domingo de cada mês, por meio do posicionamento de um termômetro de contato devidamente calibrado, de responsabilidade da área de confiabilidade, na superfície interna da barra de selagem. O objetivo da captura dessas informações era permitir a comparação entre os valores obtidos pela leitura instantânea do PT-100 – visível na IHM (Interface pessoa-máquina) do equipamento – e do termômetro de contato, possibilitando a identificação de possíveis desvios no alcance da temperatura de selagem. Esse procedimento era realizado aos domingos, por se tratar do único dia em que a fábrica se encontrava inoperante, condição imprescindível para a execução dessa atividade.

A coleta destas temperaturas com o termômetro de contato foi feita em três pontos de cada uma das barras de selagem: um ponto em cada extremidade da barra e um ponto ao centro. Em cada mês eram coletadas três leituras de cada barra de selagem com este método (leitura

do ponto 1, ponto 2 e ponto 3), conforme ilustrado Figura 14 a seguir. Este método de medição não era considerado ideal, porque não permitia visualizar, ao longo do mês, se havia desvios de temperatura durante a produção. Porém, eram os únicos dados relativos ao CTQ “temperatura de selagem” disponíveis. Foi considerado aumentar a frequência dessa coleta, sendo impossibilitada porque geraria paradas de aproximadamente quatro horas de duração durante a produção, o que não era possível devido à alta demanda de vendas da linha em estudo. Juntamente com a coleta das temperaturas nos três pontos da barra de selagem, era feita a leitura do valor de temperatura obtido pelo PT-100 e lido através da IHM da envasadora.



Figura 14 – Pontos de medição de temperatura nas barras de selagem

Fonte: elaborado pela autora.

Para o CTQ “tempo de selagem”, observou-se que esta variável estava associada à velocidade da máquina, e a velocidade, por sua vez, era um parâmetro com valor definido e conhecido, e invariável ao longo da produção. Portanto, entendeu-se que o tempo de selagem, apesar de ser um CTQ, era uma variável fixa. Já para o CTQ “pressão de selagem”, observou-se que esta variável era medida de maneira analógica, e seu valor era coletado de maneira diária, por um operador de produção. Desta forma, não era possível avaliar a regularidade de atendimento desse parâmetro durante todo o período de produção. Assim como para a temperatura, cada barra de selagem tinha uma medição de pressão.

O parâmetro de temperatura de resfriamento, apesar de não ter sido tratado como um CTQ, também foi avaliado em termos de medição. Foi identificado que a única informação relativa a essa temperatura, era o *set-point* do *chiller*. A temperatura de envio e de retorno da água não eram mensuradas, ou seja, também não havia histórico de medição de parâmetro, não sendo possível avaliar seu atendimento à especificação.

O estado desejado para os CTQs do processo e da temperatura de resfriamento era de que fosse possível fazer a leitura de maneira digital, com coleta de informações em tempo real para armazenamento em softwares e avaliação de tendências, e que fosse possível uma identificação de desvios automática desses parâmetros pela máquina em operação, com uma sinalização visual (ex.: alarme de cores), auditiva, com atuação de descartes de desvios ou

com parada de máquina em casos extremos. Desta forma, ainda nesta fase da implementação, foi feito um mapeamento do custo envolvido para a conversão do estado atual no estado desejado, quais instrumentos e componentes do equipamento deveriam ser substituídos ou adequados para permitir a mudança. Essas informações foram apresentadas para a liderança juntamente com o *Project Charter* e plano de execução no *follow-up* mensal, e o investimento foi aprovado, bem como o cronograma preliminar de parada das máquinas para realização das alterações.

O custo orçado para a execução das atividades foi de, aproximadamente, 80.000 dólares. Tal custo incluía todas as intervenções necessárias, podendo-se mencionar: instalação de instrumentos digitais de medição e painel elétrico, aquisição de novo PLC (controlador lógico programável), redesenho da IHM, isolamento das tubulações de resfriamento do *chiller*, acompanhamento técnico terceirizado e treinamento. Uma vez que o investimento foi considerado como uma manutenção capitalizada para manter o funcionamento adequado do ativo a ser modificado, não foi considerado um retorno sobre o investimento. O planejamento detalhado de execução foi agendado para ser feito na fase “melhorar”, juntamente com o planejamento das demais ações de melhoria que pudessem surgir posteriormente.

5.2.4 Analisar

Nesta fase da implementação de LSS foi feita avaliação dos dados de temperatura das barras de selagem medidas com termômetro de contato. Nessa etapa, foram utilizadas cartas de controle, que, segundo Smaniotto, Rosa e Bemvenuti (2020), figuram entre as principais técnicas utilizadas usadas para monitorar o desempenho de um processo e encontrar possíveis causas especiais, permitindo eliminar a variabilidade. Os gráficos gerados apresentados no decorrer dessa seção foram obtidos com o software Minitab. Foram geradas cartas de controle do tipo “X-barra-R”, recomendada pelo Minitab (2024) em situações em que se deseja monitorar a média do processo (carta Xbarra) e avaliar se os limites de controle são precisos a partir do intervalo dos subgrupos (carta R).

As coletas ocorreram entre os meses de janeiro a dezembro de 2022, portanto, o mês de janeiro correspondia à amostra 1, fevereiro à amostra 2, e assim sucessivamente, totalizando 12 amostras. Considerando que cada barra de selagem possuía três pontos de medição, foi considerado o tamanho do subgrupo igual a três.

Foi realizado o teste 1, disponibilizado pelo Minitab, que sinaliza quando uma amostra apresenta valor superior a três desvios padrão em relação à média, sendo que, o teste tivesse

status “reprovado”, significaria que, para aquele ponto, causas especiais poderiam estar ocorrendo e deveriam ser investigadas.

Além da avaliação do status de controle do processo, foi feita a análise do atingimento dos limites de especificação (LE) para cada barra de selagem.

Os limites de especificação no contexto estudado foram definidos anteriormente ao projeto, em alinhamento com informações fornecidas pelos fabricantes do equipamento e embalagem. Por isso, não foi feito um aprofundamento nos valores dos limites de especificação. Os valores do limite inferior de especificação (LIE) e limite superior de especificação (LSE) são mostrados na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7. Limites de especificação temperatura das barras de selagem

Barra de selagem	LIE (°C)	LSE (°C)
Inferior frontal	170	200
Inferior traseira		
Vertical 1 frontal	160	175
Vertical 1 traseira		
Vertical 2 frontal		
Vertical 2 traseira		
Vertical 3 frontal		
Vertical 3 traseira		
Superior frontal	185	200
Superior traseira		

Fonte: elaborado pela autora.

5.2.4.1 Avaliação das temperaturas das barras de selagem quanto ao atendimento dos limites de controle e limites de especificação

A partir da carta R de todas as barras de selagem, identificou-se que a amplitude dentro dos subgrupos estava sob controle, e, portanto, os limites de controle não eram imprecisos, sendo possível prosseguir com a avaliação da carta Xbarra. Os resultados particulares de cada carta Xbarra estão expostos nos tópicos a seguir.

- *Barras de selagem inferior frontal*

Para a carta Xbarra dessa barra de selagem, observou-se que quatro pontos reprovaram no teste 1, sendo dois pontos (amostra 1 e amostra 7) acima do limite de controle superior e dois pontos (amostras 11 e 12) abaixo do limite de controle inferior. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Os resultados podem ser vistos na Figura 15 a seguir. Com relação aos limites de especificação, quatro pontos (amostras 2, 8, 11 e 12) ficaram abaixo do LIE de 170°C, sendo inclusive o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE. Isso significa que, ainda que o processo estivesse sob controle, as especificações não necessariamente seriam atendidas.

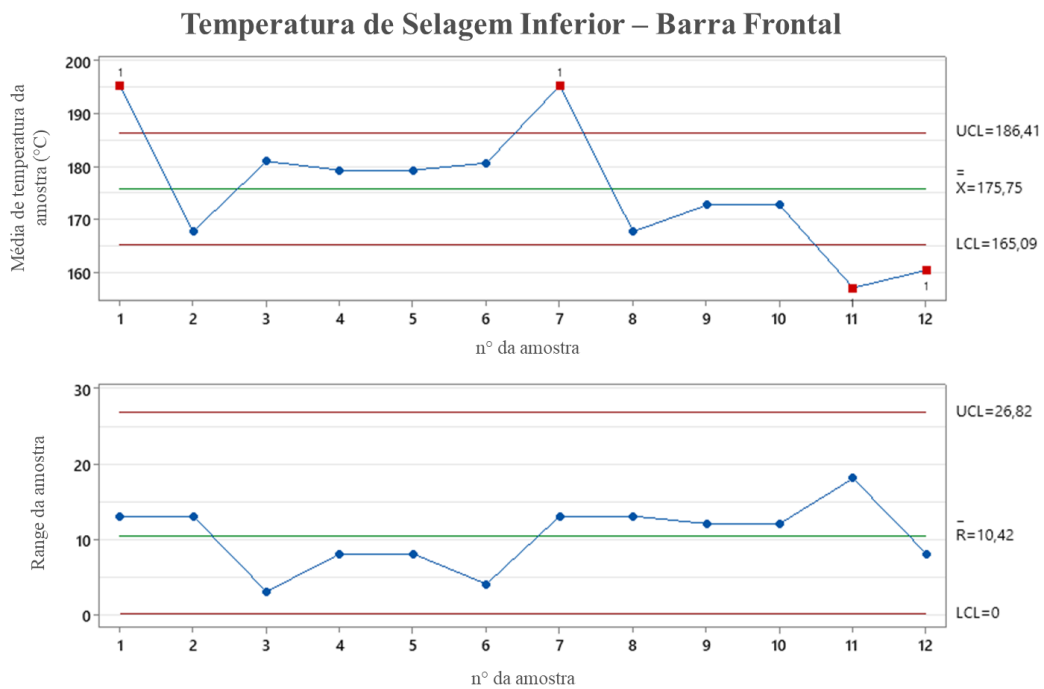


Figura 15 – Carta de controle para temperatura de selagem inferior, barra de selagem frontal

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem inferior traseira*

Na carta Xbarra desse objeto, observou-se que três pontos reprovaram no teste 1, sendo um ponto (amostra 7) acima do limite de controle superior e 2 pontos (amostras 11 e 12) abaixo do limite de controle inferior. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Os dados podem ser vistos na Figura 16 a seguir. Com relação aos limites de especificação, dois pontos (amostra 11 e 12) ficaram abaixo do LIE de 170°C, sendo inclusive o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE. Assim como no cenário da barra de selagem inferior frontal, ainda que o processo estivesse sob controle, as especificações não necessariamente seriam atendidas.

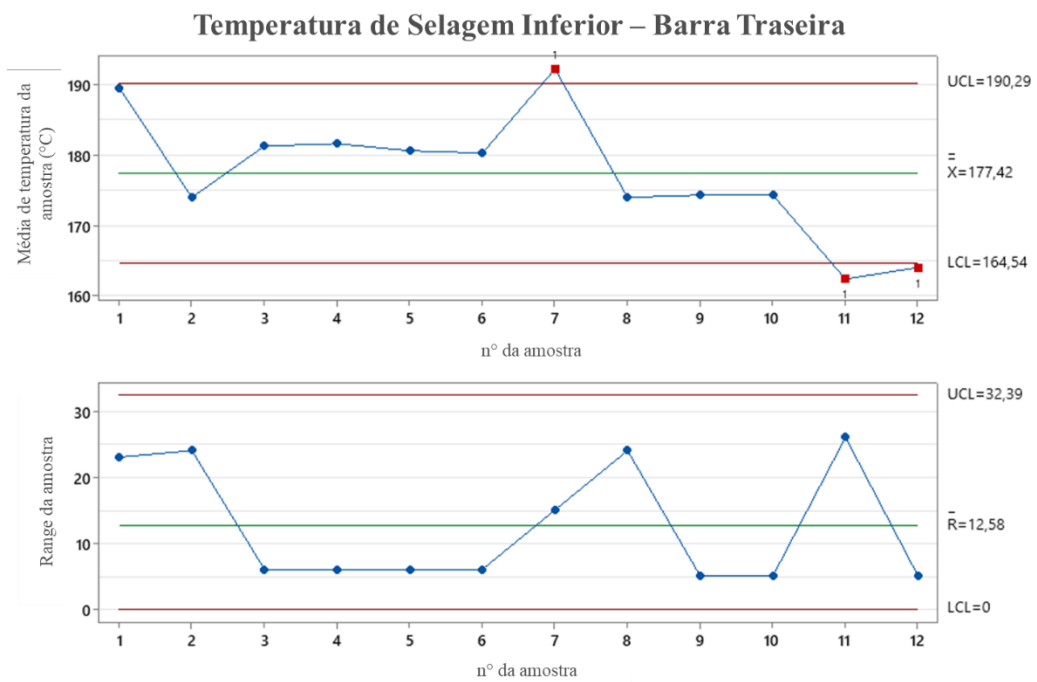


Figura 16 – Carta de controle para temperatura de selagem inferior, barra de selagem traseira

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem vertical 1 frontal*

Para esta barra, a avaliação da carta Xbarra indicou quatro pontos de reprova no teste 1, sendo dois pontos (amostras 1 e 7) acima do limite de controle superior e dois pontos (amostra 11, 12) abaixo do limite de controle inferior. Pode-se observar os resultados na Figura 17 a seguir. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Com relação aos limites de especificação, apenas as amostras 1 e 7 atenderam os limites de especificação, todas as demais amostras ficaram abaixo do limite inferior de especificação, sendo inclusive o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE.

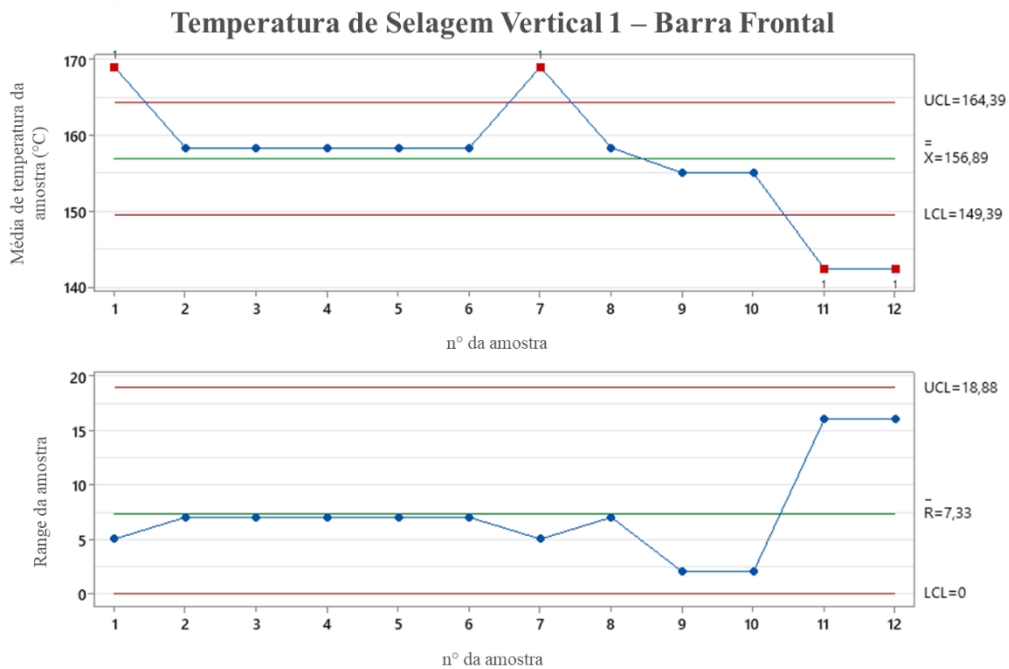


Figura 17 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 1, barra de selagem frontal

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem vertical 1 traseira*

Para esta barra, a avaliação da carta Xbarra indicou todos os pontos dentro dos limites de controle, ou seja, sem reprovos no teste 1. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem estava sob controle. Os resultados podem ser vistos na Figura 18 a seguir. Com relação aos limites de especificação, quatro pontos (amostras 9, 10, 11 e 12) ficaram abaixo do LIE de 160°C, sendo inclusive o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE. Apesar de nenhum ponto ter ultrapassado o limite superior de controle, ele apresenta um valor maior que o LSE, indicando que, se o processo estivesse sob controle, as especificações não necessariamente seriam atendidas.

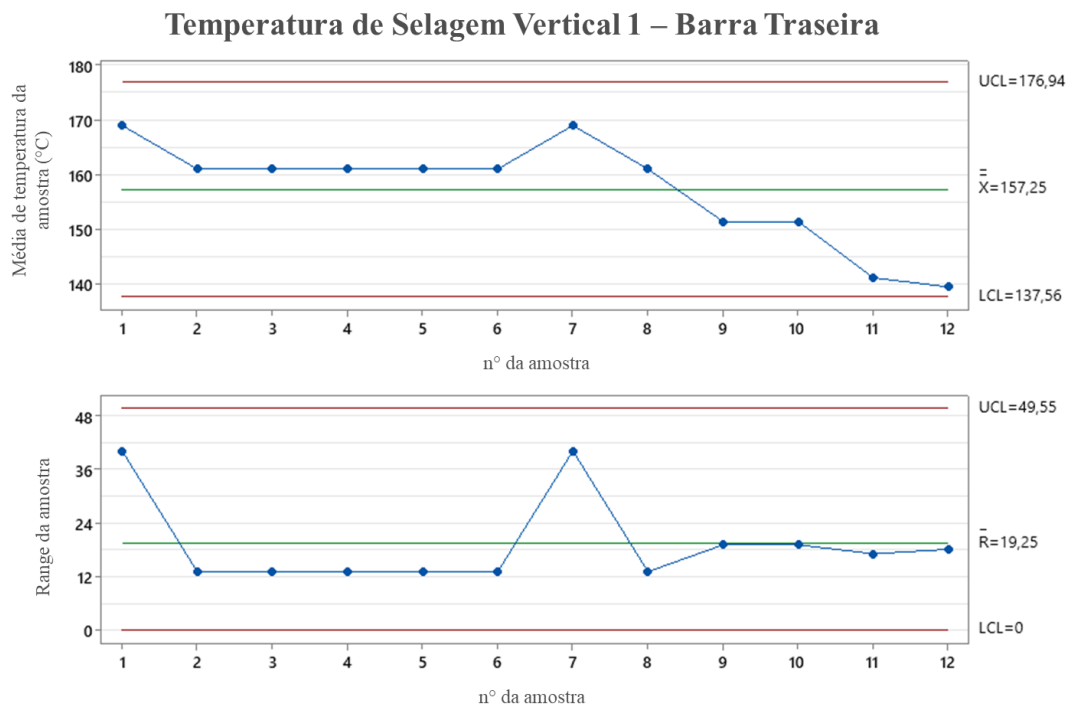


Figura 18 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 1, barra de selagem traseira

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem vertical 2 frontal*

Neste componente de selagem, a avaliação da carta Xbarra apontou a reprova de quatro pontos no teste 1, sendo dois pontos (amostras 1 e 7) acima do limite de controle superior e dois pontos (amostras 11 e 12) abaixo do limite de controle inferior. Os resultados estão expostos na Figura 19 a seguir. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Com relação aos limites de especificação, dez pontos (amostras 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 e 12) ficaram abaixo do LIE de 160°C, sendo inclusive o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE.

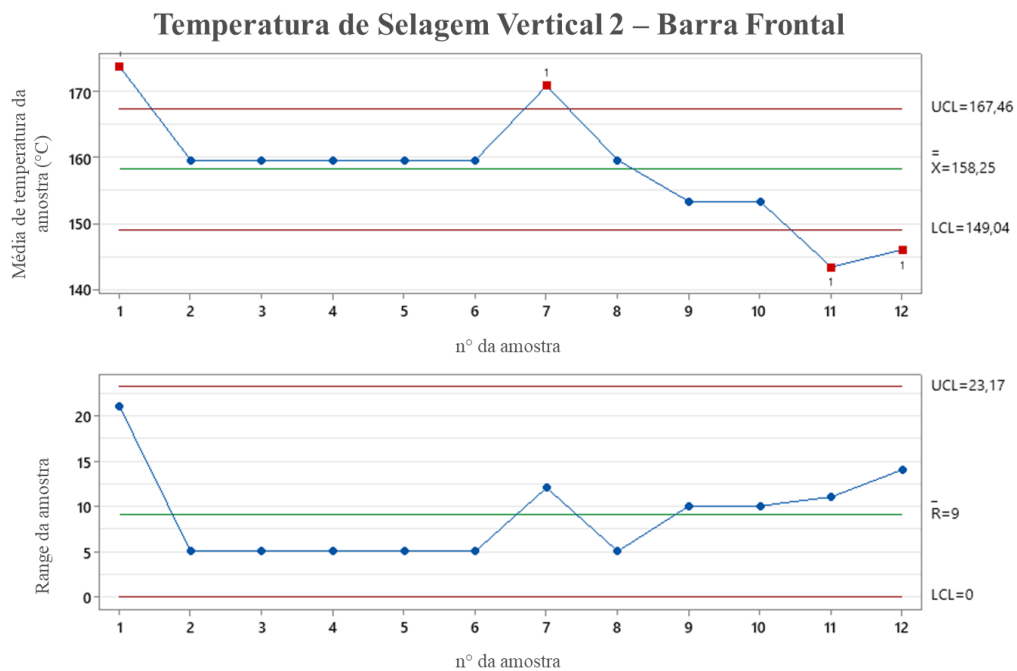


Figura 19 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 2, barras de selagem frontal

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem vertical 2 traseira*

Neste componente de selagem, a avaliação da carta Xbarra apontou a reprova de três pontos no teste 1, sendo um ponto (amostra 1) acima do limite de controle superior e dois pontos (amostra 11 e 12) abaixo do limite de controle inferior. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Os resultados podem ser vistos na Figura 20 a seguir. Com relação aos limites de especificação, oito pontos (amostras 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11 e 12) ficaram abaixo do LIE de 160°C, sendo inclusive o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE.

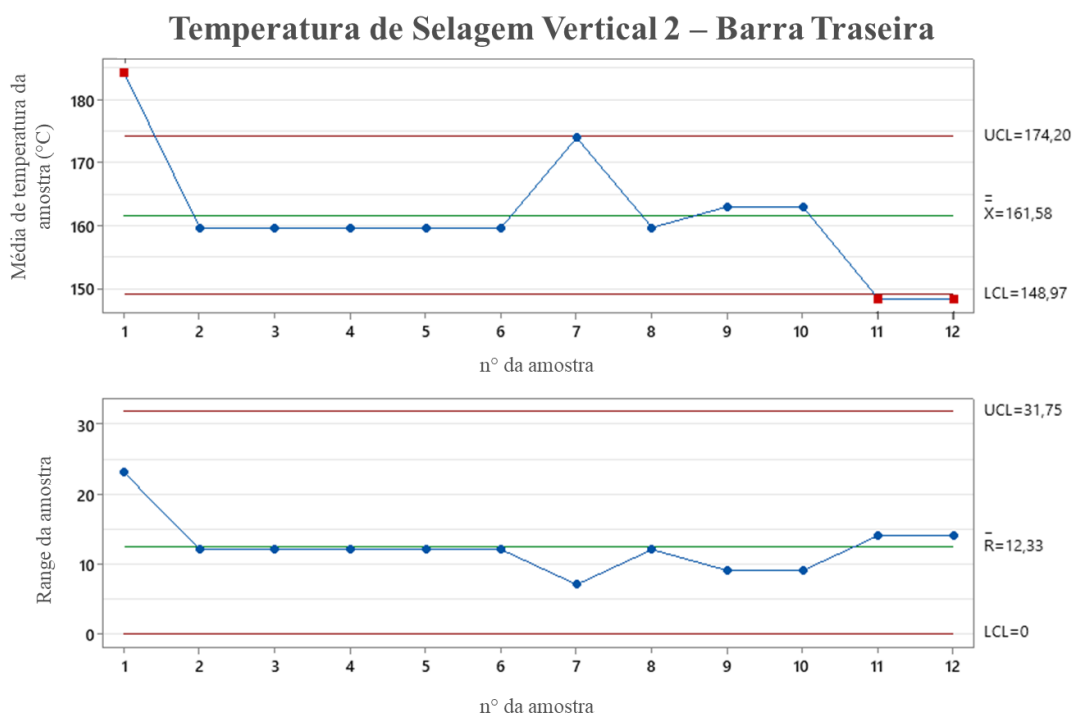


Figura 20 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 2, barra de selagem traseira

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem vertical 3 frontal*

Para a última barra vertical, a avaliação da carta Xbarra apontou a reprova de quatro pontos no teste 1, sendo dois pontos (amostras 1 e 7) acima do limite de controle superior e dois pontos (amostras 11 e 12) abaixo do limite de controle inferior. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Os dados podem ser vistos na Figura 21 a seguir. Com relação aos limites de especificação, dez pontos (amostras 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11 e 12) ficaram abaixo do LIE de 160°C, sendo inclusive o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE. Um ponto (amostra 1) ficou acima do LSE de 175°C.

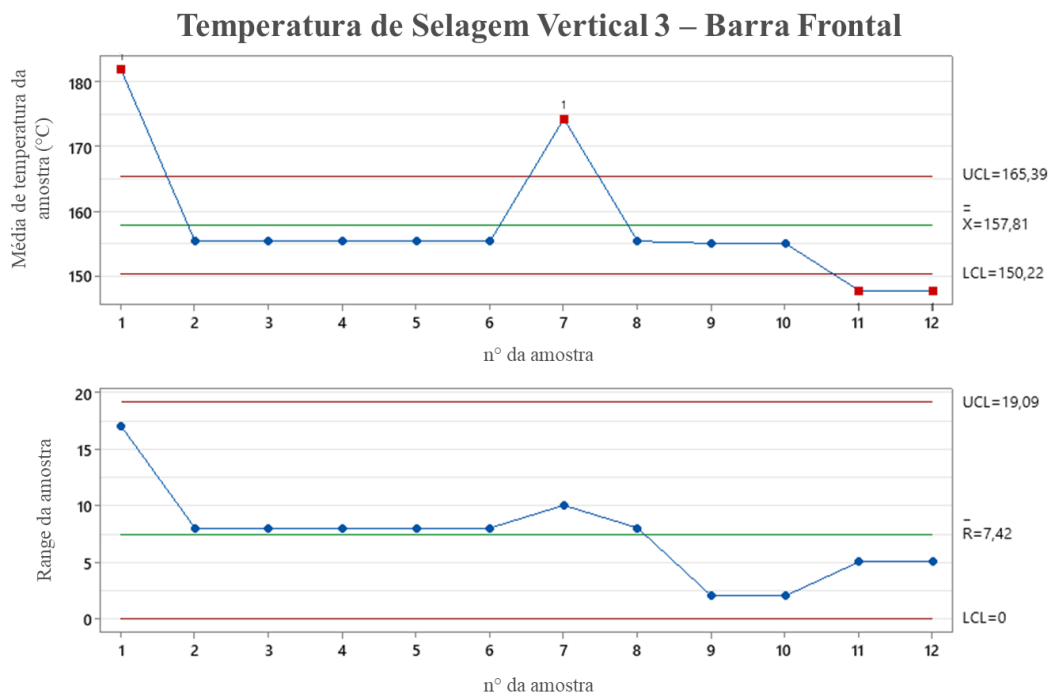


Figura 21 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 3, barra de selagem frontal

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem vertical 3 traseira*

Para a última barra vertical, a avaliação da carta Xbarra apontou a reprova de quatro pontos no teste 1, sendo dois pontos (amostras 1 e 7) acima do limite de controle superior e dois pontos (amostras 11 e 12) abaixo do limite de controle inferior. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Os resultados constam na Figura 22 a seguir. Com relação aos limites de especificação, dois pontos (amostras 11 e 12) ficaram abaixo do LIE de 160°C, sendo inclusive o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE. Dois pontos (amostras 1 e 7) tiveram valores acima do LSE.

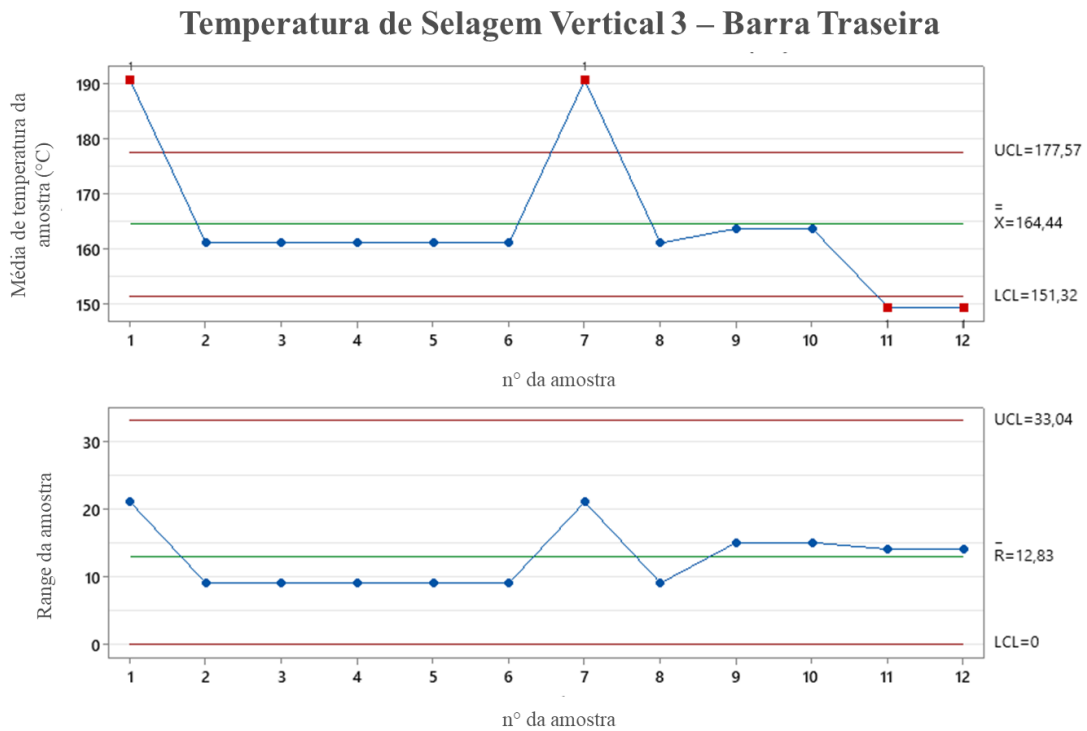


Figura 22 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 3, barra de selagem traseira

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem superior frontal*

Para esse componente de selagem, a avaliação da carta Xbarra indicou todos os pontos dentro dos limites de controle, ou seja, sem reprovas no teste 1. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem estava sob controle. A Figura 23 a seguir ilustra os resultados. Com relação aos limites de especificação, nove pontos (amostras 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11 e 12) ficaram abaixo do LIE de 185°C, sendo inclusive o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE. Apesar de o processo aparentar estar sobre controle, os limites de especificação, sobretudo o limite inferior, não seriam necessariamente atendidos.

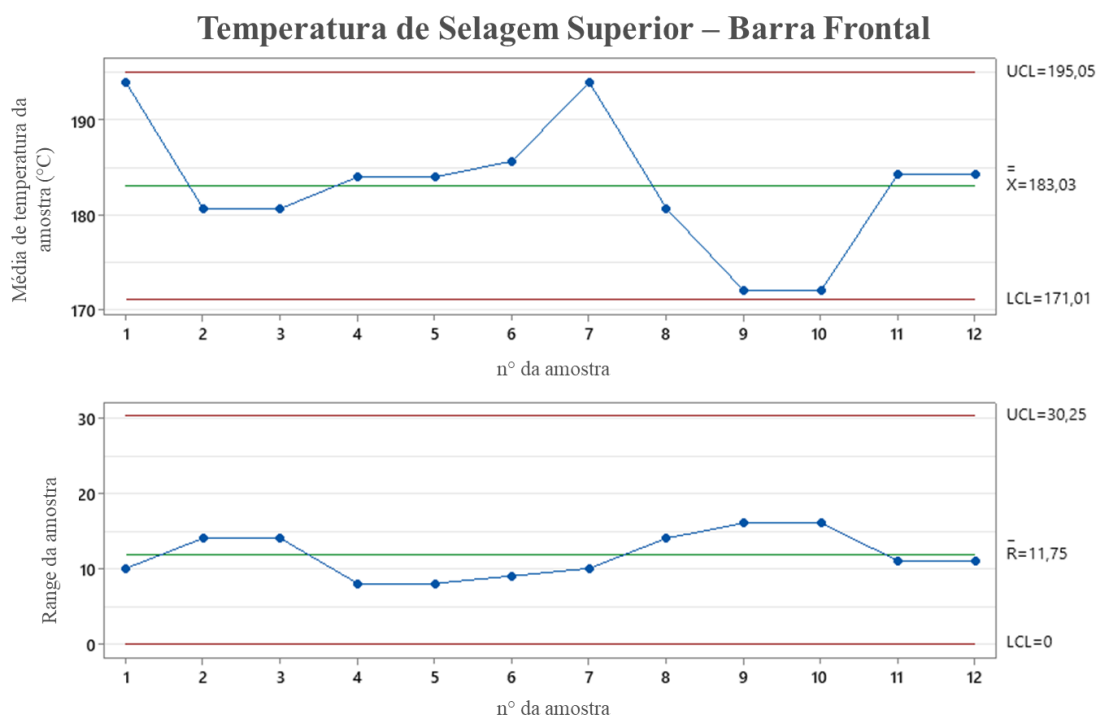


Figura 23 – Carta de controle para temperatura de selagem superior, barra de selagem frontal

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem superior traseira*

Para esse componente de selagem, a avaliação da carta Xbarra indicou todos os pontos dentro dos limites de controle, ou seja, sem reprovas no teste 1. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem estava sob controle. A Figura 24 a seguir traz tais resultados. Com relação aos limites de especificação, seis pontos (amostras 2, 3, 6, 8, 9 e 10) ficaram abaixo do LIE de 185°C, sendo inclusive o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE.

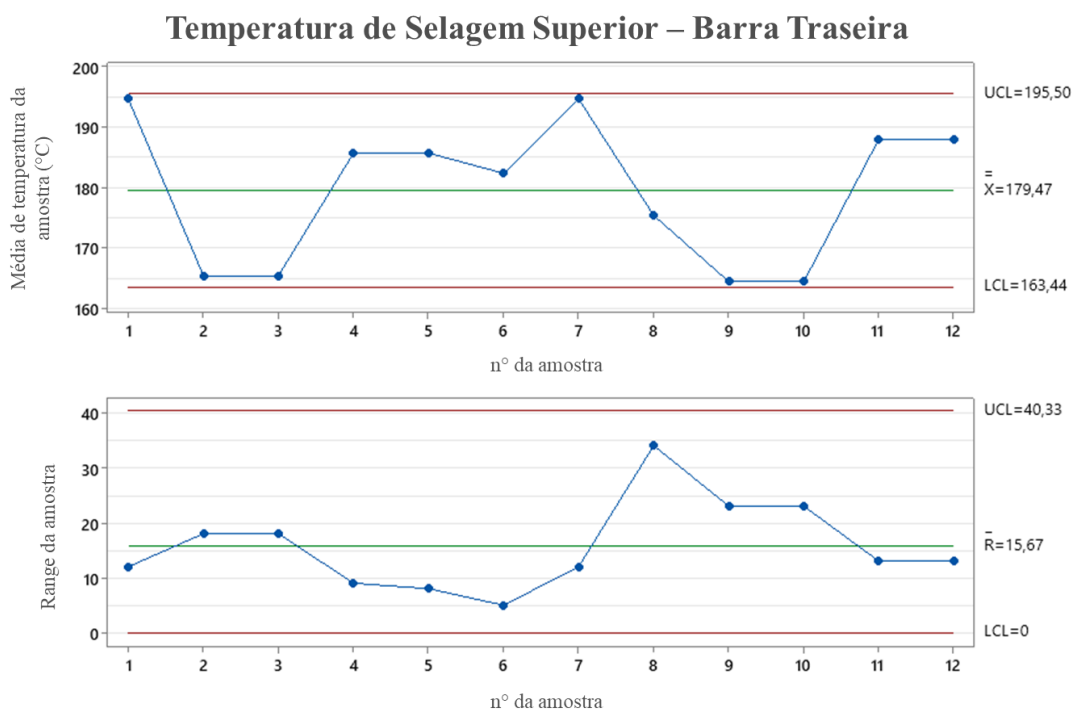


Figura 24 – Carta de controle para temperatura de selagem superior, barra de selagem traseira

Fonte: elaborado pela autora.

Para todas as barras de selagem, observou-se um comportamento similar na amostra número 7. Foi identificado que, no início do mês de julho, antes da data da coleta, houve um aumento substancial na temperatura de selagem medida. Ao avaliar o histórico de intervenções feitas no equipamento nesse intervalo, verificou-se que, em agosto de 2022, houve uma intervenção em todas as barras de selagem do equipamento, incluindo atividades como limpeza, inspeção, revisão de posicionamento do medidor de temperatura e ajuste operacional de temperatura.

Essa intervenção foi solicitada pelo líder da linha de produção, após apontamentos da operação sobre um possível desvio na qualidade da selagem. Apesar da intervenção, observa-se que, após o mês de julho, para todas as barras de selagem, foi observada uma nova queda de temperatura, indicando que as intervenções, apesar de terem sido corretivas, não mantiveram seus resultados.

Observou-se também que as intervenções foram arbitrárias, ou seja, não foram feitas com base em uma investigação do desvio.

Para os demais pontos que estiveram fora dos limites de controle, não foi possível identificar causas especiais a partir dos dados disponíveis de intervenções de manutenção, solicitações da operação ou outros fatores atípicos.

Considerou-se, no início da fase Analisar, performar uma análise de capacidade a partir dos dados de temperatura disponíveis. Entretanto, o Minitab (2024) não recomenda realizar esta

análise para processos que não estejam sob controle, como ilustrado pela maior parte das cartas Xbarra. Essa recomendação é corroborada por Kwilinski e Kardas (2023), uma vez que os indicadores de capacidade são sensíveis à existência de causas especiais, podendo gerar avaliações equivocadas. Para as barras de selagem superior, que apresentaram estar sob controle, foi feita a análise de capacidade, e, a partir do resultado dos coeficientes de capacidade, evidenciou-se que o processo não era capaz de atingir as especificações em um cenário de longo prazo.

Nessa etapa da implementação, identificou-se que a quantidade de dados disponíveis foi um limitante no estudo. Ao produzir os gráficos utilizando o Minitab, o próprio software indica que, para a execução de cartas de controle ou análises de capacidade, é recomendado (porém, não mandatário) que se tenha um número maior de amostras. A justificativa emitida pelo software é que, quanto menos amostras, menos causas especiais podem ser identificadas.

5.2.4.2 Temperatura IHM

Foi feita a leitura da temperatura registrada na IHM da envasadora no mesmo período em que ocorreram as coletas de temperatura das barras de selagem com o termômetro de contato. As temperaturas eram extraídas a partir da visualização da tela de operação da envasadora. A temperatura mostrada na IHM referia-se à temperatura atingida pela barra de selagem.

O parâmetro Delta (°C) é descrito conforme a equação a seguir, em que $T(IHM)$ refere-se à temperatura lida na IHM e $T1$, $T2$ e $T3$ são as temperaturas medidas com termômetro de contato nos pontos 1, 2 e 3, respectivamente. O segundo termo da equação, na prática, é a média do subgrupo.

$$Delta\ (^{\circ}C) = T(IHM) - \left(\frac{T1 + T2 + T3}{3} \right)$$

De acordo com o fabricante do equipamento, era considerado aceitável um delta de temperatura de até 10 °C entre o valor lido na IHM e o valor lido com o termômetro. As Figuras 25, 26, 27 e 28 a seguir exibem os status do Delta (°C) para cada uma das barras de selagem e datas de coleta. O símbolo vermelho indica que o Delta foi superior a 10°C, portanto, não conforme. O símbolo verde indica que o Delta foi igual ou inferior a 10°C, portanto, conforme.

Barra de selagem	Data de coleta	Delta (°C)	Barra de selagem	Data de coleta	Delta (°C)
Inferior frontal	07/01/2022	●	Inferior traseira	07/01/2022	●
	07/02/2022	●		07/02/2022	●
	07/03/2022	●		07/03/2022	●
	07/04/2022	●		07/04/2022	●
	07/05/2022	●		07/05/2022	●
	07/06/2022	●		07/06/2022	●
	10/07/2022	●		10/07/2022	●
	21/08/2022	●		21/08/2022	●
	25/09/2022	●		25/09/2022	●
	29/10/2022	●		29/10/2022	●
	06/11/2022	●		06/11/2022	●
	04/12/2022	●		04/12/2022	●

Figura 25 – Delta de temperatura entre IHM e média dos subgrupos de temperatura medida com termômetro de contato, barras de selagem inferior

Fonte: elaborado pela autora.

Barra de selagem	Data de coleta	Delta (°C)	Barra de selagem	Data de coleta	Delta (°C)
Vertical 1 frontal	07/01/2022	●	Vertical 1 traseira	07/01/2022	●
	07/02/2022	●		07/02/2022	●
	07/03/2022	●		07/03/2022	●
	07/04/2022	●		07/04/2022	●
	07/05/2022	●		07/05/2022	●
	07/06/2022	●		07/06/2022	●
	10/07/2022	●		10/07/2022	●
	21/08/2022	●		21/08/2022	●
	25/09/2022	●		25/09/2022	●
	29/10/2022	●		29/10/2022	●
	06/11/2022	●		06/11/2022	●
	04/12/2022	●		04/12/2022	●

Figura 26 – Delta de temperatura entre IHM e média dos subgrupos de temperatura medida com termômetro de contato, barras de selagem vertical 1

Fonte: elaborado pela autora.

Barra de selagem	Data de coleta	Delta (°C)	Barra de selagem	Data de coleta	Delta (°C)
Vertical 2 frontal	07/01/2022	●	Vertical 2 traseira	07/01/2022	●
	07/02/2022	●		07/02/2022	●
	07/03/2022	●		07/03/2022	●
	07/04/2022	●		07/04/2022	●
	07/05/2022	●		07/05/2022	●
	07/06/2022	●		07/06/2022	●
	10/07/2022	●		10/07/2022	●
	21/08/2022	●		21/08/2022	●
	25/09/2022	●		25/09/2022	●
	29/10/2022	●		29/10/2022	●
	06/11/2022	●		06/11/2022	●
	04/12/2022	●		04/12/2022	●

Figura 27 – Delta de temperatura entre IHM e média dos subgrupos de temperatura medida com termômetro de contato, barras de selagem vertical 2

Fonte: elaborado pela autora.

Barra de selagem	Data de coleta	Delta (°C)	Barra de selagem	Data de coleta	Delta (°C)
Vertical 3 frontal	07/01/2022	●	Vertical 3 traseira	07/01/2022	●
	07/02/2022	●		07/02/2022	●
	07/03/2022	●		07/03/2022	●
	07/04/2022	●		07/04/2022	●
	07/05/2022	●		07/05/2022	●
	07/06/2022	●		07/06/2022	●
	10/07/2022	●		10/07/2022	●
	21/08/2022	●		21/08/2022	●
	25/09/2022	●		25/09/2022	●
	29/10/2022	●		29/10/2022	●
	06/11/2022	●		06/11/2022	●
	04/12/2022	●		04/12/2022	●

Figura 28 – Delta de temperatura entre IHM e média dos subgrupos de temperatura medida com termômetro de contato, barras de selagem vertical 3

Fonte: elaborado pela autora.

Apesar de todas as temperaturas lidas na IHM estarem dentro dos limites inferior e superior de especificação para cada uma das barras de selagem, todas as barras apresentaram, pelo menos, um terço de seus valores de delta fora da faixa de até 10°C.

No que diz respeito aos valores lidos na coleta de julho de 2022, período em que ocorreu uma intervenção em todas as barras de selagem, observou-se que houve uma mudança na conformidade do delta de temperatura em relação ao período anterior. Especificamente nessa data, para a barra de selagem de fundo, houve uma elevação da temperatura lida na IHM, enquanto para as barras verticais e superiores, houve uma queda na temperatura. Em diálogos

com operadores da envasadora, foi constatado que a diminuição de temperatura nas barras de selagem verticais e superiores consistiu em uma tentativa de reduzir o risco de queima dos materiais de embalagem, que ocorreu pontualmente entre a coleta do mês de junho e do mês de julho. Esse risco deformaria a região de selagem e teria potencial de causar vazamentos. Por outro lado, a elevação na temperatura de selagem inferior foi uma tentativa de aumentar a qualidade de selagem dessa região. Ambas as mudanças foram sugeridas no nível operacional, e foram arbitrárias.

Ficou evidente, a partir do demonstrado, que havia uma diferença entre a temperatura medida pelo termômetro de contato e a temperatura que constava na IHM, indicando que não necessariamente a temperatura de selagem ideal estava sendo alcançada durante a produção. Essa diferença de temperatura, em conjunto com a falha no atendimento aos limites de especificação, foi investigada utilizando ferramentas de análise de causa raiz. Também foi identificado que não havia um padrão de tomada de ação em caso de desvios, ou seja, se durante as medições fosse constatado que os valores de temperatura não atingiam os limites de especificação, não era possível definir qual ação preventiva ou corretiva deveria ser tomada para regularizar o parâmetro.

Para avaliar as causas destes problemas, a análise de causa raiz contou com a participação da equipe multidisciplinar, operadores de produção, mecânicos de manutenção e instrumentistas. A análise de causa raiz envolveu o uso das seguintes ferramentas: Diagrama de Causa e Efeito, Brainstorming e 5 Porquês. A escolha por essas ferramentas se deu devido ao fato de já serem ferramentas amplamente utilizadas em investigações dentro do ambiente produtivo. As potenciais causas foram listadas no Diagrama de Causa e Efeito, divididas entre: Medição, Método, Mão-de-Obra, Meio Ambiente, Materiais e Máquinas. Com o Brainstorming, a equipe participante elencou as causas mais prováveis para um aprofundamento. O diagrama é exibido na Figura 29 a seguir.

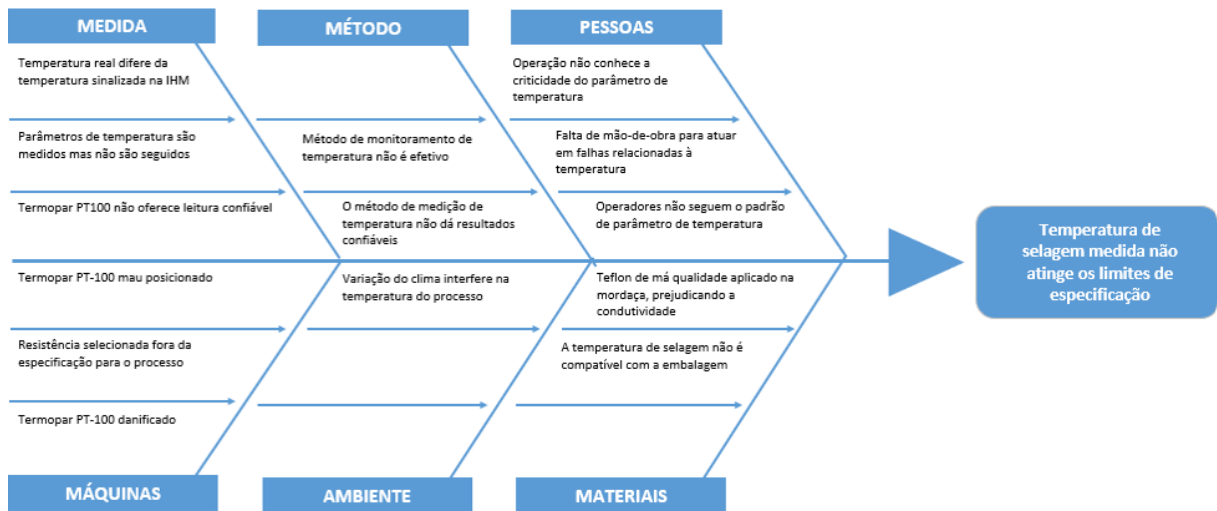


Figura 29 – Diagrama de causa e efeito

Fonte: elaborado pela autora.

Com a construção do diagrama de Ishikawa, foram previamente determinadas 14 possíveis causas raízes. Utilizando a ferramenta 5 porquês, foram descartadas seis causas não procedentes, restando oito possíveis causas raízes para o problema. Dessas oito, cinco causas foram comprovadas, listadas na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8. Saídas do exercício de 5 porquês

Efeito investigado: Temperatura de selagem medida não atinge os limites de especificação e diverge da temperatura da IHM	
Possível causa	Por quês
A temperatura de selagem não é compatível com a embalagem	1º Por quê: Embalagem tem ponto de fusão diferente das temperaturas de selagem da máquina
	2º Por quê: Embalagem fora da especificação
	3º Por quê: Alguns parâmetros não são controlados ou não são amostrados adequadamente pelo fornecedor
	4º Por quê: [Causa Raiz] A especificação da embalagem não inclui parâmetros críticos
	5º por quê: _____
Termopar PT100 não oferece leitura confiável	1º Por quê: Termopar PT-100 mal posicionado
	2º Por quê: A especificação da embalagem não inclui parâmetros críticos
	3º Por quê: O PT-100 é adicionado sem que haja avaliação prévia do orifício
	4º Por quê: [Causa Raiz] Não há padrão de posicionamento do

	5° Por quê: _____
Parâmetros de temperatura são medidos mas não são seguidos	1° Por quê: Operadores e manutentores conseguem fazer alterações pela IHM nos parâmetros de temperatura
	2° Por quê: [Causa Raiz] Parâmetros não são intertravados na máquina
	3° Por quê: _____
	4° Por quê: _____
	5° Por quê: _____
Temperatura real difere da temperatura sinalizada na IHM	1° Por quê: Há perda de calor na barra de selagem
	2° Por quê: Barras de selagem estão riscadas
	3° Por quê: São usados materiais para limpeza que arranham as mordças
	4° Por quê: [Causa Raiz] Procedimento de limpeza de barras de selagem não é adequado
	5° Por quê: _____
Operadores não seguem o padrão de parâmetro de temperatura	1° Por quê: Operadores tentam ajustar a temperatura para compensar algum outro fator
	2° Por quê: Falta de conhecimento do parâmetro de temperatura de selagem como fator crítico do processo
	3° Por quê: [Causa Raiz] Operadores não treinados
	4° Por quê: _____
	5° Por quê: _____

Fonte: elaborado pela autora.

5.2.4.3 Causa n° 1: A especificação da embalagem não inclui parâmetros críticos

Para a confirmação desta causa raiz, foi feita uma avaliação dos formulários que continham as especificações das embalagens, e que eram enviados aos fornecedores de laminado flexível. Essas especificações são definidas pelos times de Packaging e Pesquisa e Desenvolvimento, com base em testes laboratoriais, benchmark com outras regiões e informações de domínio técnico da organização.

Constatou-se que especificações relacionadas à resistência de laminação e coeficiente de atrito não constavam nos formulários, bem como seus limites. Sem esta informação, não era possível ter certeza de que os lotes de embalagens enviados pelo fornecedor resistiriam de forma íntegra ao processo de termossoldagem. Para essa causa raiz, foi mapeada a ação de

incluir na especificação os parâmetros faltantes e seus limites aceitáveis. Ao incluir tais parâmetros na especificação, o fornecedor seria responsável por informar, no laudo de recebimento, os valores desses parâmetros e a metodologia utilizada para testá-los durante o processo de fabricação do laminado.

Além disso, a organização não contava com equipamentos que permitissem fazer uma avaliação *in loco* das embalagens. Isso representava uma grande vulnerabilidade, uma vez que não era possível verificar se os parâmetros medidos pelo fabricante de fato eram conformes. Paralelamente, quando havia uma parada na envasadora e se suspeitava que o motivo era por alguma falha na embalagem, não era possível comprovar essa suspeita. Isso levantou a necessidade de buscar um equipamento que fosse capaz de realizar análises básicas no laminado.

Foi feita uma visita técnica a um dos fabricantes de embalagem flexível, com o intuito principal trocar experiências relacionadas a boas práticas de análise e verificação de qualidade de embalagens. Toda a equipe multidisciplinar esteve presente. Ao visitar o laboratório de análises do fornecedor, identificou-se que o equipamento dinamômetro era uma alternativa viável para realizar análises de resistência de laminação e coeficiente de atrito, dois dos principais parâmetros de qualidade da embalagem. A partir dessa conclusão, a equipe do projeto submeteu uma solicitação de investimento para fazer a aquisição desse equipamento, a um custo de 20.000 dólares. A solicitação foi aprovada.

Durante a visita, foram também levantadas algumas oportunidades de melhoria no processo produtivo do fornecedor, às quais tinham relação com a frequência e quantidade de amostras avaliadas pelo fornecedor e metodologias de análise. Um plano de ação foi consolidado e enviado ao fabricante, que o avaliou e propôs prazos factíveis a cada ação. Esse plano de ação, diferentemente das ações propostas por outras causas, não foi acompanhado dentro das reuniões com a equipe multidisciplinar, e sim pelo time de pesquisa e desenvolvimento, até que todas as ações fossem concluídas.

5.2.4.4 Causa nº 2: Não há padrão de posicionamento dos PT-100

Para a confirmação desta causa raiz foi feita uma avaliação *in loco* em todas as barras de selagem das envasadoras A, B, C e D, pois todas eram da mesma tecnologia de fabricação. Foi coletada a profundidade do orifício que continha os instrumentos, e identificou-se uma variação de até 50% nesta profundidade, para algumas barras de selagem.

Para esta causa raiz, foram mapeadas e priorizadas duas ações: a primeira foi a definição do padrão de profundidade correta do PT-100 em cada uma das barras de selagem; a segunda ação foi a perfuração das barras de selagem, seguindo o padrão determinado. A equipe multidisciplinar definiu que essa ação deveria ser replicável para todas as envasadoras de tecnologia similar. Para garantir que a execução da ação não traria uma piora em outros aspectos, o fabricante do equipamento foi consultado, e ambas as ações foram validadas em conjunto com representantes técnicos do fornecedor.

5.2.4.5 Causa n° 3: Parâmetros não são intertravados na máquina

Para comprovar esta causa, foi feita uma simulação de alteração dos parâmetros de temperatura de selagem na envasadora. Simulou-se a modificação do valor de set-point do parâmetro, considerando os cenários: a) temperatura acima do limite de especificação; b) temperatura igual à média dos limites de especificação; c) temperatura abaixo do limite de especificação.

Para todas as simulações, foi possível alterar os parâmetros, o que indica uma vulnerabilidade no processo, já que era possível intervir no valor do parâmetro arbitrariamente. Dessa forma, foi mapeada a ação de intertravamento desses parâmetros, ou seja, eles só poderiam ser modificados dentro dos limites de especificação. A ação em questão dependia das adequações de engenharia que foram identificadas ainda na fase Medir.

5.2.4.6 Causa n° 4: Procedimento de limpeza de barras de selagem não é adequado

Para a identificação desta causa, foi feita uma observação do processo de limpeza das barras de selagem e, paralelamente, uma consulta aos fabricantes do equipamento de envase. Constatou-se que o método de limpeza seguia os passos corretos, porém, a ferramenta utilizada estava inadequada para o processo devido à alta abrasividade, podendo danificar a barra de selagem e prejudicar a distribuição de temperatura ao longo da mesma.

Para esta causa, foram mapeadas e priorizadas três ações: a identificação e desenvolvimento de um utensílio de limpeza adequado, com abrasividade compatível com o tolerado pelas barras de selagem; a compra imediata do novo utensílio, para todas as envasadoras; e a adição do novo utensílio no estoque, para compra periódica. A segunda e terceira ação foram replicadas para todas as máquinas produtoras de sachês.

5.2.4.7 Causa n° 5: Operadores não treinados

Durante as verificações de treinamentos dos operadores de produção, foi identificado que nem todos possuíam conhecimento sobre quais eram os parâmetros críticos de operação e tomada de ação imediata em caso de desvios. Desta forma, foi mapeada e priorizada uma ação de treinamento para o time operacional de todos os turnos produtivos, instrumentistas e mecânicos de manutenção, das envasadoras A, B, C e D, e inserido o treinamento na matriz de habilidades em uma frequência mínima semestral.

5.2.5 Melhorar

Na fase de melhoria, foi feito o planejamento de execução das ações descritas na fase analisar e o planejamento refinado das ações levantadas na fase medir. A equipe multidisciplinar delimitou prazos e responsáveis para a execução das ações, e a gestão do plano de ação era acompanhada dentro das reuniões semanais com a equipe.

As ações provenientes da fase analisar dependeram, majoritariamente, da mão-de-obra interna da organização, enquanto as ações que envolveram investimento, provenientes da fase medir, requereram a contratação de empresas especializadas em automação e infraestrutura elétrica (empresa 1) e sistemas pneumáticos (empresa 2). Mesmo com a liderança das empresas especializadas para estas ações, a equipe multidisciplinar e o time operacional e de manutenção estiveram envolvidos em todas as etapas, desde o planejamento até a execução. O plano de ação simplificado pode ser visto na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9. Plano de Ação simplificado

Ação	Responsável
Incluir parâmetros críticos no formulário de especificação de embalagens	Especialista de Pesquisa e Desenvolvimento
Acompanhar junto ao fornecedor o atendimento da especificação dos parâmetros críticos adicionados	Especialista de Pesquisa e Desenvolvimento
Definir padrão de profundidade correta do PT-100 em cada uma das barras de selagem	Chefe de manutenção
Perfurar barras de selagem, seguindo o padrão determinado	Mecânico de manutenção
Identificar e desenvolver utensílio de limpeza para barras de selagem	Engenheiro de Processos
Comprar novo utensílio de limpeza das barras de selagem para todas as envasadoras	Assistente de produtividade
Inserir utensílio de limpeza como item de estoque no almoxarifado	Assistente de almoxarifado

Treinar time operacional e de manutenção	Líder do projeto
Adequar instalações elétricas para execução das melhorias de engenharia	Empresa 1
Trocar instrumentos de medição de pressão	Empresa 1
Adequar tela de operação com base nas modificações feitas relacionadas à instrumentação	Empresa 1
Criar lógica de descarte automática com base em falha nos CTQs	Empresa 1
Intertravar parâmetros relativos aos CTQs no equipamento	Empresa 1
Ajustar parâmetros pneumáticos	Empresa 2
Trocar mangueiras de ar comprimido	Empresa 2
Treinar funcionários nas melhorias implementadas	Líder do projeto, Engenheiro de Processos, Empresa 1 e Empresa 2

Fonte: elaborado pela autora.

Foi definido que as ações que não dependiam das empresas 1 e 2 seriam replicadas em todas as envasadoras de tecnologia *stand-up pouch*, enquanto as ações que dependessem de empresas terceiras, seriam feitas apenas na linha A. Durante a fase de melhoria, um grande desafio foi a programação das atividades, que em sua maioria, dependiam de parada dos equipamentos de envase. Este desafio se explica devido à alta demanda de vendas dos produtos produzidos nessas envasadoras. Para garantir a execução com o mínimo de impactos, as atividades foram feitas primeiramente na envasadora A, e depois na envasadora B, C e D, sucessivamente.

As ações que envolveram as empresas 1 e 2 (implementadas apenas na linha A) foram executadas durante uma janela de parada geral da fábrica, de dez dias, em abril de 2023. O controle deste cronograma de parada foi muito rigoroso, visto que qualquer atraso poderia impactar na retomada de produção, e conseqüentemente, impactando na disponibilidade de produto no mercado.

Durante a execução dessas ações, foram feitos testes visando garantir a qualidade do produto envasado. Antes da produção com o produto, foram feitas produções simuladas com a embalagem vazia, com a embalagem cheia com água à temperatura ambiente e com a embalagem cheia com a água com temperatura similar à temperatura de envase. Quando todos os testes apresentaram resultados satisfatórios, a produção com produto regular foi autorizada. Toda a produção do primeiro dia após a parada foi retida para realização de análises físico-químicas e microbiológicas, e após a liberação dos resultados, foi atestado que a produção estava conforme.

Após a parada, foi feito um plano de cadastro das variáveis que correspondiam aos CTQs, no software PI Process Book. Através desse cadastro, os CTQs, além de serem medidos em tempo real, tinham seus valores historiados. Além disso, foi criada uma dashboard contendo gráficos de todos os CTQs definidos, para uso dos engenheiros de envase.

Na IHM, os operadores passaram a visualizar a variação de cada um dos CTQs em tempo real. Com os intertravamentos desses parâmetros, o ajuste de set-point dos CTQs para fora dos limites de especificação ficou impossibilitada. Foi também desenvolvida uma lógica de avisos com base nos valores dos CTQs, que criava alarmes e sinais luminosos na envasadora, em esquema de semáforo. Se algum CTQ atingisse valor próximo ao limite de especificação (em uma faixa de trabalho pré-definida pela equipe multidisciplinar), mas ainda estivesse dentro dos limites, eram emitidos avisos na IHM e uma luz amarela no giroflex da envasadora sinalizava a ocorrência de que um possível desvio poderia acontecer, o que dava ao operador autonomia de ação antes da ocorrência de uma falha. Por outro lado, se algum CTQ ultrapassasse seu limite superior ou ficasse abaixo de seu limite inferior, o descarte de embalagens ocorria, e se esse cenário se mantivesse por um minuto, a produção era interrompida, com uma indicação vermelha no giroflex, cabendo ao operador acionar a manutenção imediatamente para auxiliar na resolução do problema.

Para o CTQ de pressão de selagem, além dos mecanismos recém citados, tornou-se possível conduzir testes de vazamento de ar comprimido automaticamente durante a produção, em uma periodicidade definida pela equipe multidisciplinar. Caso um vazamento ocorresse, isso poderia prejudicar a força de contato entre as barras de selagem frontal e traseira de um mesmo conjunto, implicando em uma má qualidade de selagem. A partir do momento em que um vazamento de ar fosse identificado, o operador acionava a manutenção para intervir e reestabelecer a condição básica do sistema de ar comprimido.

5.2.6 Controlar

A última etapa do método DMAIC se concentrou na comparação e discussão de resultados de temperatura de selagem antes e depois das mudanças feitas na fase melhorar, assim como na demonstração de resultados dos parâmetros que não eram medidos antes das mudanças. Foi também construído o fechamento da implementação, transferência de responsabilidades e criado um plano de controle.

5.2.6.1 Comparação de resultados de temperatura após ações de melhoria

Ao término das ações e liberação dos resultados de análises dos produtos retidos, foi feito o acompanhamento das medições de temperatura com o termômetro de contato durante oito meses. As medições foram feitas entre maio de 2023 e dezembro de 2023.

- *Barras de selagem inferior frontal*

Para a carta Xbarra dessa barra de selagem, observou-se que três pontos reprovaram no teste 1, indicando que tais pontos tiveram mais de três desvios padrão da média cada um, sendo dois pontos (amostras 3 e 8) acima do limite de controle superior e um ponto (amostra 7) abaixo do limite de controle inferior. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Os resultados podem ser vistos na Figura 30 a seguir. Com relação aos limites de especificação, dois pontos (amostras 4 e 7) ficaram abaixo do LIE de 170°C, sendo inclusive o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE. Isso significa que, ainda que o processo estivesse sob controle, as especificações não necessariamente seriam atendidas.

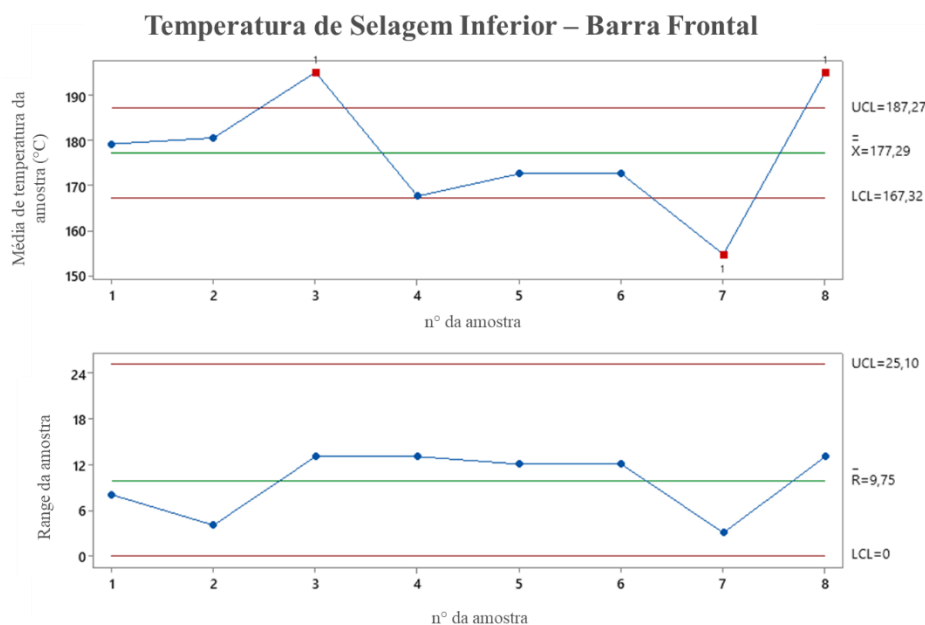


Figura 30 – Carta de controle para temperatura de selagem inferior, barra de selagem frontal

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem inferior traseira*

Para esta barra de selagem, observou-se o mesmo comportamento da barra de selagem frontal, com três pontos reprovaram no teste 1, sendo dois pontos (amostras 3 e 8) acima do limite de controle superior e um ponto (amostra 7) abaixo do limite de controle inferior. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Os resultados podem ser

vistos na Figura 31 a seguir. Com relação aos limites de especificação, um ponto (amostra 7) ficou abaixo do LIE de 170°C, sendo o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE.

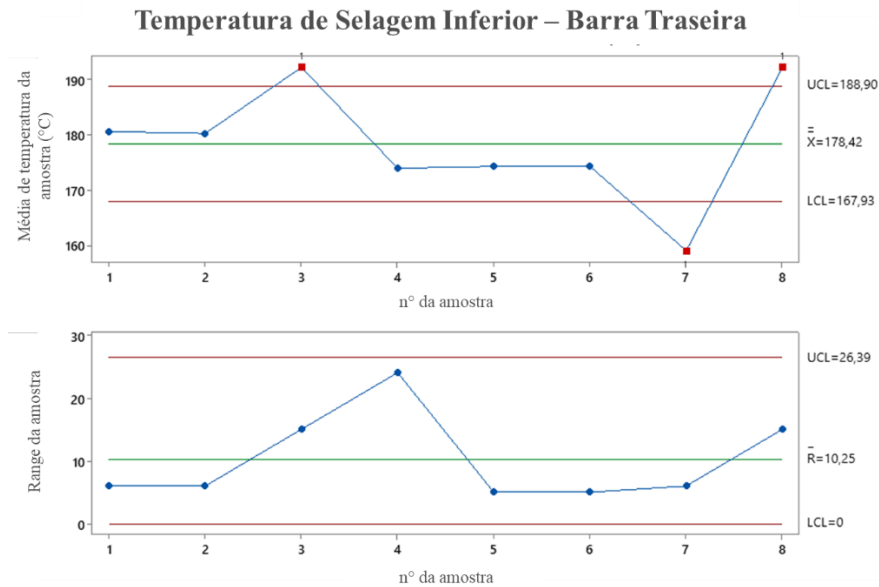


Figura 31 – Carta de controle para temperatura de selagem inferior, barra de selagem traseira

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barras de selagem vertical 1 frontal*

Para a carta Xbarra dessa barra de selagem, observou-se que três pontos reprovaram no teste 1, indicando que tais pontos tiveram mais de três desvios padrão da média cada um, sendo dois pontos (amostras 3 e 8) acima do limite de controle superior e um ponto (amostra 7) ligeiramente abaixo do limite de controle inferior. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Os resultados podem ser vistos na Figura 32 a seguir. Com relação aos limites de especificação, seis pontos (amostras 1, 2, 4, 5, 6 e 7) ficaram abaixo do LIE de 170°C, sendo o limite inferior e superior de controle deste processo, ambos menores que o LIE. Isso significa que, ainda que o processo estivesse sob controle, as especificações não necessariamente seriam atendidas.

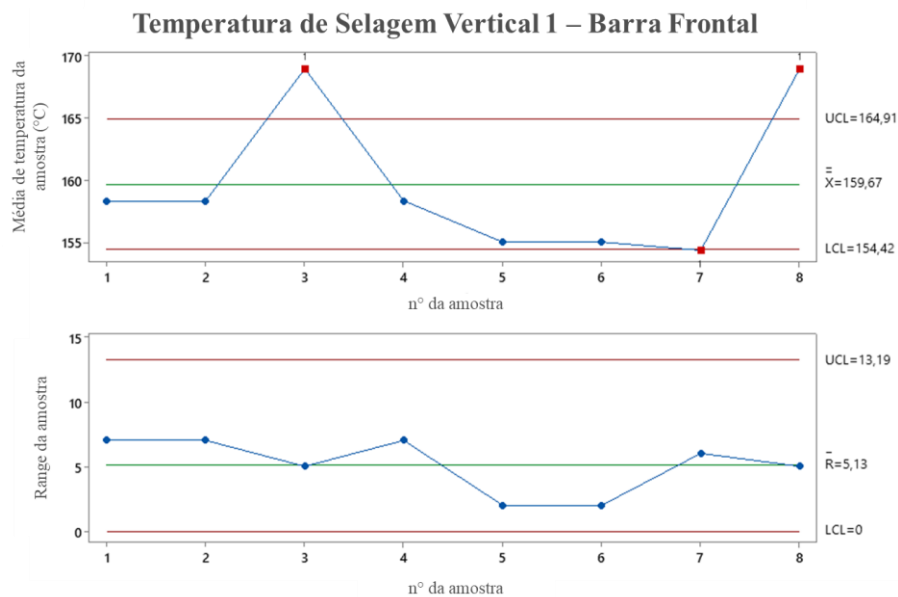


Figura 32 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 1, barra de selagem frontal

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barras de selagem vertical 1 traseira*

Para esta barra, a avaliação da carta Xbarra indicou todos os pontos dentro dos limites de controle. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem estava sob controle. Os resultados podem ser vistos na Figura 33 a seguir. Com relação aos limites de especificação, três pontos (amostras 5, 6 e 7) ficaram abaixo do LIE de 160°C, sendo o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE e o limite superior de controle maior que o LSE.

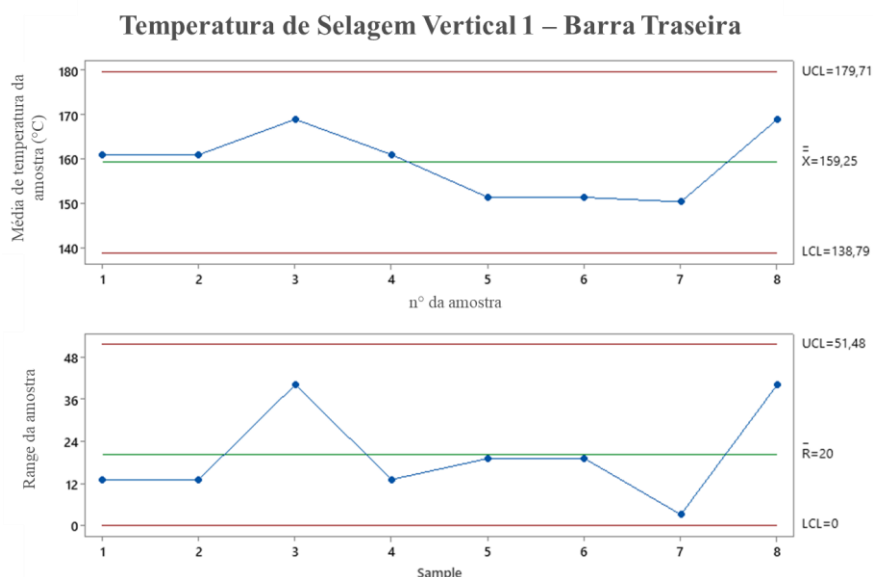


Figura 33 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 1, barra de selagem traseira

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem vertical 2 frontal*

Para a carta Xbarra dessa barra de selagem, observou-se que três pontos reprovaram no teste 1, indicando que tais pontos tiveram mais de três desvios padrão da média cada um, sendo dois pontos (amostras 3 e 8) acima do limite de controle superior e um ponto (amostra 7) abaixo do limite de controle inferior. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Os resultados podem ser vistos na Figura 34 a seguir. Com relação aos limites de especificação, seis pontos (amostras 1, 2, 4, 5, 6 e 7) ficaram abaixo do LIE de 160°C, especificamente as amostras 1, 2 e 4 muito próximas ao LIE, sendo o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE.

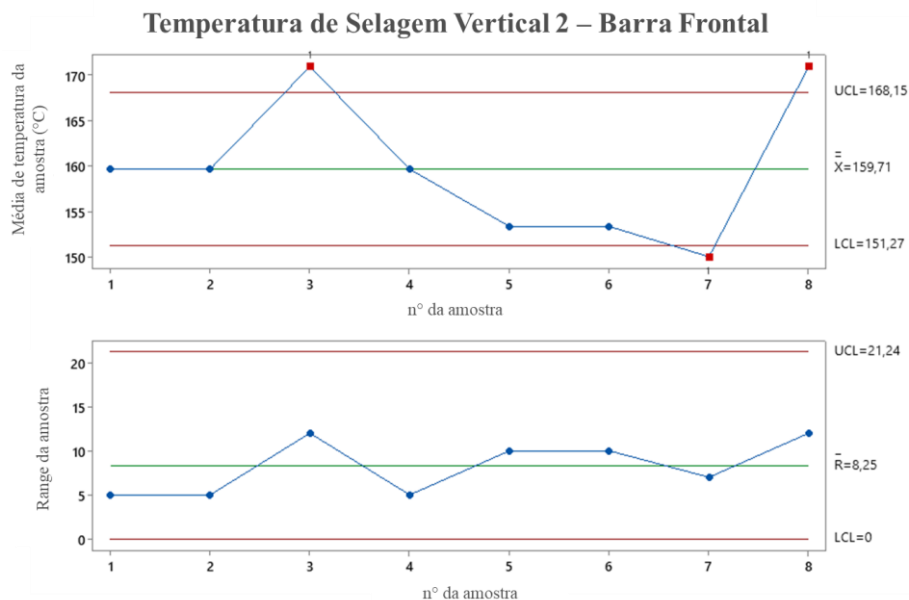


Figura 34 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 2, barra de selagem frontal

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem vertical 2 traseira*

Para a carta Xbarra dessa barra de selagem, observou-se que três pontos reprovaram no teste 1, indicando que tais pontos tiveram mais de três desvios padrão da média cada um, sendo dois pontos (amostras 3 e 8) acima do limite de controle superior e um ponto (amostra 7) abaixo do limite de controle inferior. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Os resultados podem ser vistos na Figura 35 a seguir. Com relação aos limites de especificação, um ponto (amostra 7) ficou abaixo do LIE de 160°C, especificamente as amostras 1, 2 e 4 ficaram muito próximas ao LIE, sendo o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE.

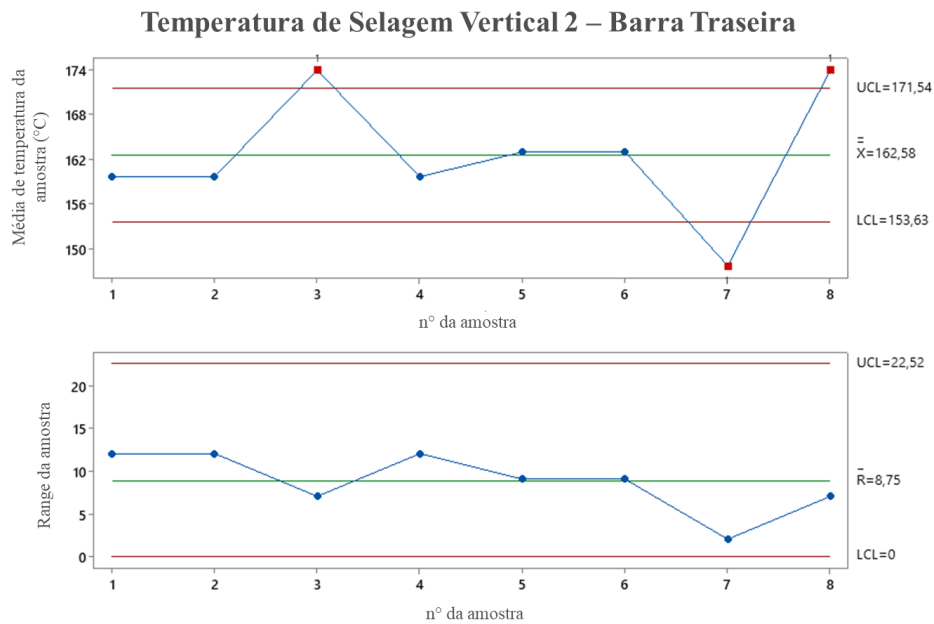


Figura 35 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 2, barra de selagem traseira

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem vertical 3 frontal*

Para a carta Xbarra dessa barra de selagem, observou-se que dois pontos reprovaram no teste 1, indicando que tais pontos tiveram mais de três desvios padrão da média cada um, sendo ambos os pontos (amostras 3 e 8) acima do limite de controle superior. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Os resultados podem ser vistos na Figura 36 a seguir. Com relação aos limites de especificação, seis pontos (amostras 1, 2, 4, 5, 6 e 7) ficaram abaixo do LIE de 160°C, sendo o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE.

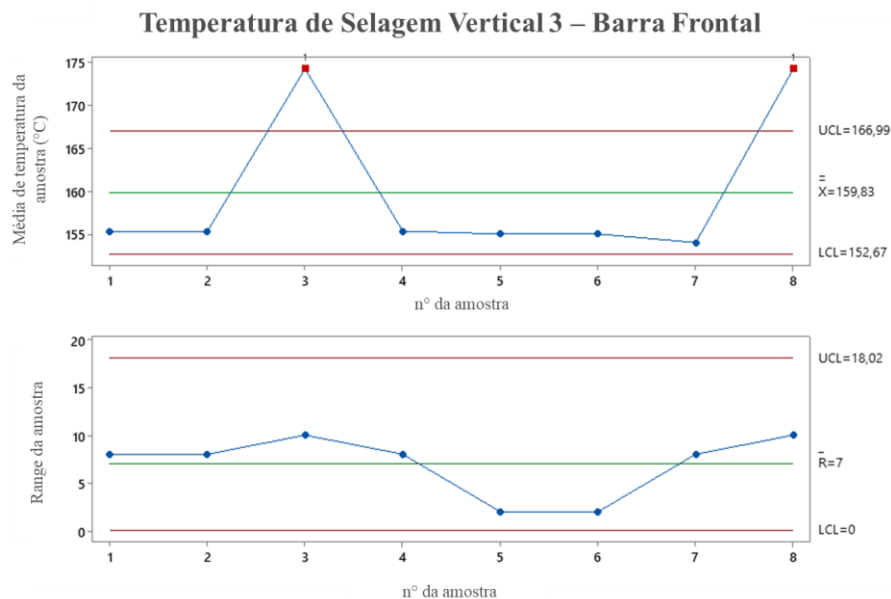


Figura 36 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 3, barra de selagem frontal

Fonte: elaborado pela autora.

- *Barra de selagem vertical 3 traseira*

Para a carta Xbarra dessa barra de selagem, observou-se que dois pontos reprovaram no teste 1, indicando que tais pontos tiveram mais de três desvios padrão da média cada um, sendo ambos os pontos (amostras 3 e 8) acima do limite de controle superior. Dessa forma, a temperatura para essa barra de selagem não estava sob controle. Os resultados podem ser vistos na Figura 37 a seguir. Com relação aos limites de especificação, dois pontos (amostras 3 e 8) ficaram acima do LSE de 175°C, sendo o limite inferior de controle deste processo menor que o LIE e o limite superior de controle maior que o LSE.

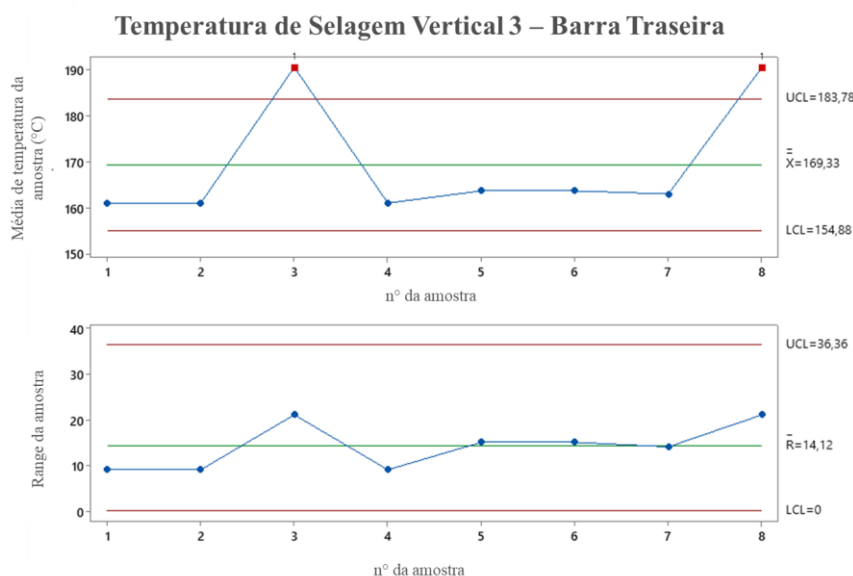


Figura 37 – Carta de controle para temperatura de selagem vertical 3, barra de selagem traseira

Fonte: elaborado pela autora.

Pela comparação dos dados antes e depois das mudanças, não foi observada uma evolução em termos de estabilização do processo, tampouco foi observada uma mudança no delta de temperatura entre as medições e as leituras feitas na IHM. Portanto, apesar dos ganhos em termos de automação e tomadas de ação automáticas em caso de desvio, não é possível inferir que os problemas relacionados ao CTQ temperatura de selagem anteriormente identificados foram solucionados. Este método de medição não era considerado ideal, porque não permitia visualizar, ao longo do mês, se havia desvios de temperatura durante a produção. Porém, eram os únicos dados relativos ao CTQ “temperatura de selagem” disponíveis.

Uma vez que o método de medição de temperatura utilizando o termômetro de contato apresentava vulnerabilidades, sobretudo com relação ao volume de dados disponível, foi

gerada uma ação dentro da equipe multidisciplinar, sob liderança do engenheiro de envase, que consistiu em incluir no diálogo de performance do envase da linha A, uma análise semanal do comportamento da temperatura de selagem das barras, com base nos dados historiados, de forma a avaliar desvios da temperatura do PT-100 em relação aos limites de especificação. O objetivo principal desta ação era garantir que desvios de especificação fossem investigados e ações fossem geradas para evitar a recorrência. Paralelamente, foi levantada a possibilidade de uma segunda fase desta implementação de *Lean Six Sigma*, focada no objetivo de estabilizar os CTQs frente aos limites de controle.

Com relação ao delta de temperatura entre as medições com o termômetro de contato e a temperatura lida pelo PT-100, foi gerada uma ação de contactar o fabricante da envasadora, disponibilizar os dados para avaliação e conduzir uma investigação junto ao mesmo para avaliar quais outras ações deveriam ser postas em prática para reduzir esta variação. O fabricante, após avaliar os dados e a evolução das ações anteriores, sugeriu a troca das barras de selagem. Por uma questão estratégica, a organização optou por não fazer a troca, uma vez que estava sendo planejada uma mudança no dimensional das embalagens flexíveis, para atender a uma demanda de mercado, e essa mudança implicaria, necessariamente, em uma troca das barras de selagem. Portanto, decidiu-se esperar o completo desenvolvimento desta alteração de dimensional, para então prosseguir com a troca das barras de selagem.

5.2.6.2 Avaliação de resultados de pressão após mudanças

Após as mudanças na envasadora A, foi possível acompanhar a medição do CTQ “pressão de selagem”. Para avaliar o comportamento deste CTQ, foi feita a coleta de uma medida de pressão a cada seis horas, entre os dias produtivos de 26 de junho e 5 de setembro de 2023, totalizando quatro medidas coletadas por dia, portanto, com um tamanho de subgrupo igual a quatro, totalizando 60 subgrupos. Para esse CTQ, não foi possível comparar os valores antes e depois das mudanças, pois não se tinha histórico de medição desse parâmetro por nenhum método. A Tabela 10 a seguir apresenta os limites inferior e superior de especificação para a pressão.

Tabela 10. Limites de especificação de pressão das barras de selagem

Conjunto de selagem	LIE (bar)	LSE (bar)
Inferior	1,5	4,0
Verticais	1,5	4,0
Superior	3,0	6,0

Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 38 a seguir traz o exemplo das medições de pressão da barra de selagem vertical 1. Pelo gráfico, observa-se que o processo apresentou apenas uma medida fora dos limites de controle, especificamente acima do limite superior. Adicionalmente, observa-se que, para esse parâmetro, os limites de controle são estreitos. Apesar do desvio em um subgrupo, todos os pontos estiveram dentro dos limites de especificação, ou seja, com valores entre 1,5 e 4,0 bar.

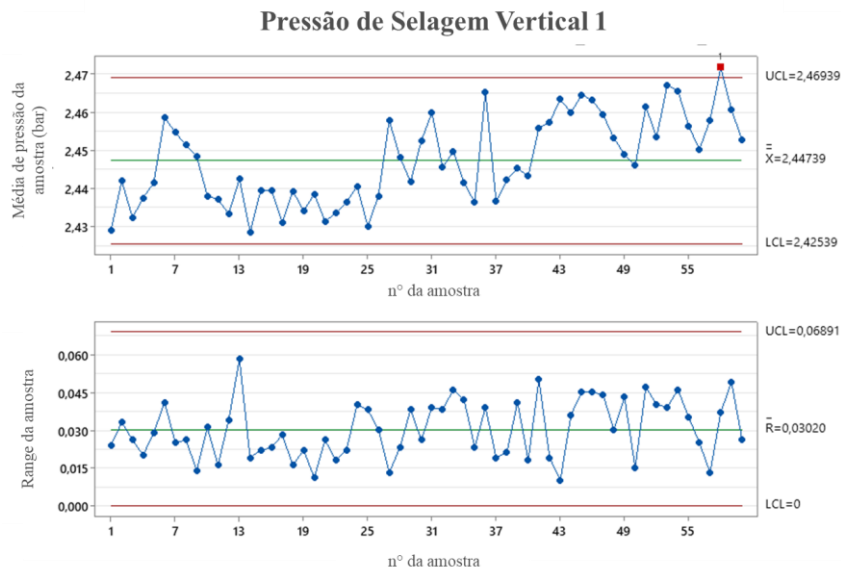


Figura 38 – Carta de controle para pressão de selagem vertical 1

Fonte: elaborado pela autora.

5.2.6.3 Avaliação de resultados da água de retorno de resfriamento após ações de melhoria

A temperatura da água de retorno de resfriamento foi outro parâmetro que teve sua medição e acompanhamento possibilitadas após as mudanças na envasadora A. A equipe multidisciplinar, em conjunto com o fabricante do equipamento, definiu que a medição da temperatura da água de retorno para o *chiller* seria o melhor parâmetro para avaliar a conformidade do sistema de resfriamento. Essa temperatura deveria ser inferior a 14°C, portanto, só havia o limite superior de especificação.

Para avaliar o comportamento deste parâmetro, foi feita a coleta de uma medida de temperatura da água de retorno a cada seis horas, entre os dias produtivos de 26 de junho e 5 de setembro de 2023, totalizando quatro medidas coletadas por dia, portanto, com um tamanho de subgrupo igual a quatro, totalizando 60 subgrupos. Assim como para a pressão, não foi possível comparar os valores antes e depois das mudanças, pois não se tinha histórico

de medição desse parâmetro por nenhum método. A Figura 39 a seguir traz o exemplo das medições de temperatura de retorno, expressas na carta de controle Xbarra-R. Pela avaliação da carta R, infere-se que os limites de controle podem ser imprecisos, e considerando esses limites, avaliando a carta Xbarra, observa-se a ocorrência de quatro pontos fora dos limites de controle, sendo dois (amostras 4 e 30) acima do limite superior e dois pontos (amostras 5 e 6) abaixo do limite inferior. Todos os dados estiveram abaixo do limite superior de especificação de 14°C.

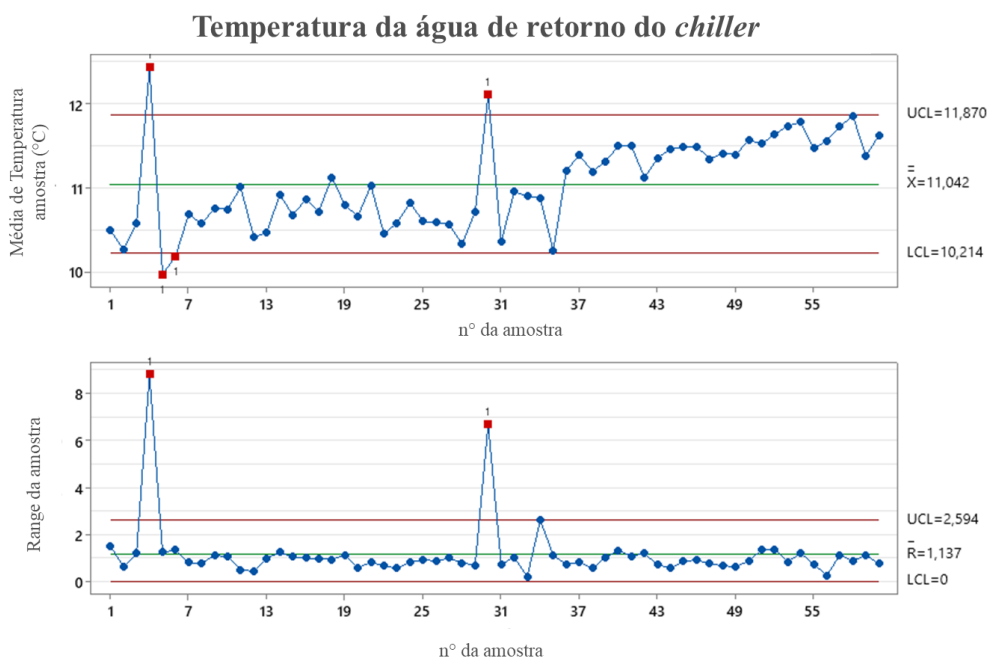


Figura 39 – Carta de controle para temperatura da água de retorno do *chiller*

Fonte: elaborado pela autora.

5.2.6.4 Apresentação dos resultados para a liderança e encerramento do projeto

Ao término das ações do plano de ação gerado na fase melhorar, foi agendada uma reunião de encerramento da implementação de *Lean Six Sigma*, no mês de setembro de 2023. A pauta dessa reunião tratou dos temas apontados na Tabela 11 a seguir. Nessa reunião, foi oficializada a transferência de responsabilidades, da equipe multidisciplinar para o time da fábrica.

Tabela 11. Agenda da reunião de fechamento do projeto com a gerência do site.

Agenda	Comentário
Ações voltadas para embalagem	• Detalhamento das melhorias feitas em especificação e compra do dinamômetro.
Ações voltadas para CTQs	• Detalhamento da execução das ações relacionadas à temperatura de selagem.

Ações voltadas para automação	<ul style="list-style-type: none"> • Demonstração da organização da parada para instalações na envasadora A; • Demonstração da nova tela de IHM; • Detalhamento das novas funcionalidades disponíveis no equipamento, após mudanças: intertravamento e medição completa de CTQs e aumento da capacidade de armazenamento do PLC após a troca; • Treinamento do time operacional e de manutenção; • Construção de telas de apoio para engenheiros.
Fechamento financeiro	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar o custo completo de toda a intervenção, incluindo materiais, serviços, viagens e treinamentos.
Agradecimentos e reconhecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Reconhecimento dos participantes que se destacaram ao longo do projeto.
Próximos passos	<ul style="list-style-type: none"> • Apontar novos desafios após a implementação; • Governança de investigações a partir de desvios nos CTQs; <ul style="list-style-type: none"> • Controle de perdas; • Gerenciamento das informações disponíveis; • Futuros projetos.

Fonte: elaborado pela autora.

5.2.6.5 Taxa de vazamentos

O principal motivador da implementação de *Lean Six Sigma* com o escopo definido anteriormente, foi a possível redução da taxa de vazamentos. Entretanto, tendo em vista a impossibilidade de se medir de forma separada a taxa de vazamentos da envasadora A e da envasadora B, não foi feito o levantamento da taxa de vazamentos depois do término do projeto. Após reconhecimento da liderança dos benefícios em termos de controle e automação trazidos pela implementação de melhorias de engenharia na linha A, a liderança aprovou um investimento de 80.000 dólares para que todas as mudanças fossem executadas também na linha B.

5.2.6.6 Plano de Controle

Como uma exigência da organização, um plano de controle foi criado para garantir que alguns parâmetros críticos relacionados à implementação continuassem sendo acompanhados. Os parâmetros foram definidos pela equipe multidisciplinar e o modelo a seguir era semelhante ao utilizado por outros projetos da empresa. A Figura 40 a seguir exhibe o plano de controle.

What				How		When	Who		Why		
Opportunity / Solution Title (What are you measuring?)	Metric Title (What metric are you going use?)	Metric Operational Definition (How are you going compute the metric?)	Metric Target (What is the metric's target value?)	Upper and Lower Control Limits (UCL/LCL)	Metric Data Source(s) (Where are you going to get the metric data?)	Metric Location (Where will the metric be tracked?)	Metric Measurement Frequency (How often will the metric be computed?)	Responsible (Who will be responsible for updating the metric?)	Accountable (Who will act when metric doesn't meet target)	Potential Failure Modes (In what ways can the solution go wrong?)	Failure Mode Controls (What controls can be implemented to reduce the risk or magnitude of failure?)
Diferença de temperatura de selagem	Delta T (°C)	Temperatura real de selagem – temperatura IHM	< 10°C	UCL = 10 °C	Dados de medição da confiabilidade	Último diálogo diário de performance do mês	Mensal	Confiabilidade	Chefe de Manutenção	Medição não ser feita na frequência certa	Incluir atividade no plano de manutenção do SAP
Produtos revisados após suspeita de vazamentos	n° de caixas	Quantidade de caixas revisadas	104	UCL = 104	Planilha de controle do depósito	Diálogo semanal de performance	Semanal	Qualidade	Supervisor de Qualidade	Revisão não acontecer em uma semana e ser acumulada para semanas posteriores	Realizar reunião semanal de acompanhamento de revisões, para garantir o agendamento das revisões e contabilizar o indicador no período certo.
Paradas de produção por defeitos de embalagem	%	Tempo de parada / Tempo disponível	< 1,2%	UCL = 1,2%	PC factory	Diálogo semanal de performance	Semanal	Qualidade	Analista de Qualidade	Erro na classificação da parada	Disponibilizar book de defeitos para operação. Realizar análise na embalagem com suspeita de não conformidade utilizando o dinamômetro.

Figura 40 – Plano de Controle

Fonte: elaborado pela autora.

5.2.6.7 Procedimentos

Ao longo da implementação, procedimentos foram criados e revisados, para garantir que todas as áreas tivessem acesso às informações inerentes a esse processo produtivo, para registrar as mudanças que ocorreram e para ser usado no treinamento de novos funcionários ou reciclagem de treinamento dos funcionários antigos. Os procedimentos foram aprovados pela supervisão da área de envase, qualidade e manutenção, que foram as principais áreas impactadas. A Tabela 12 a seguir apresenta a lista de procedimentos criados e revisados.

Tabela 12. Procedimentos criados ou revisados

Nome do procedimento	Tópicos abordados	Criado/Revisado
Identificação de desvios em embalagens laminadas	<ul style="list-style-type: none"> Principais desvios de embalagens; Como identificar esses desvios; Ações a serem tomadas em caso de desvio (descarte, devolução ao fornecedor, avaliação de especialista, etc.). 	Criado
Uso da IHM da envasadora A	<ul style="list-style-type: none"> Funcionalidades; Ajustes e interpretação de resultados; Possíveis modos de falha e ações a serem tomadas; 	Revisado
Sistema de pressão pneumática das barras de selagem da envasadora A	<ul style="list-style-type: none"> Funcionamento dos mecanismos de medição e controle de pressão; Como realizar teste de vazamentos de ar de forma não automática; Como interpretar os resultados do teste de vazamentos de ar; 	Criado
Medição de temperatura das barras de selagem utilizando termômetro de contato	<ul style="list-style-type: none"> Passo-a-passo da medição; Como interpretar os dados; Ações a serem tomadas em caso de desvio. 	Revisado

Troca de instrumentos na envasadora A	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimentos de preparação para a troca de instrumentos (medidores de temperatura e pressão de selagem); • Passo a passo para execução da troca; • Teste para avaliar a eficácia da troca. 	Revisado
Limpeza das barras de selagem	<ul style="list-style-type: none"> • Passo a passo para execução da limpeza; • Detalhamento de utensílios e produtos a serem utilizados durante a limpeza. 	Revisado

Fonte: elaborado pela autora.

5.2.6.8 Pontos críticos e desafios na implementação de *Lean Six Sigma* no contexto do presente estudo

Alguns aspectos foram decisivos ao longo da implementação de *Lean Six Sigma* na organização objeto desse estudo, ao longo de todas as fases do DMAIC. Antes mesmo da fase Definir, pode-se mencionar que, para a organização em questão, o fato de o projeto LSS surgir como uma metodologia de melhoria contínua para suportar o atendimento de aspectos estratégicos da organização fez com que as chances de sucesso fossem maiores, uma vez que os esforços envolvidos na implementação poderiam conduzir ao atingimento dessa estratégia.

Para a indústria em estudo, os objetivos estratégicos eram relacionados ao crescimento de uma das categorias comerciais em algumas regiões através do aumento de vendas e redução de desvios de qualidade, bem como a modernização de ativos frente a um cenário de crescente demanda por soluções tecnológicas aliadas ao ambiente de manufatura. Outro fator que motivou a escolha do LSS residiu no fato de a organização ter esquemas de certificação, ou seja, rotineiramente, alguns funcionários são selecionados, treinados e certificados para conduzir projetos LSS visando solucionar problemas diversos.

Na fase Definir, o maior desafio residiu na formação da equipe multidisciplinar, uma vez que as pessoas que formassem a equipe necessitariam desprender, no mínimo, duas horas semanais para esse projeto, o que nem sempre é factível em um ambiente de manufatura. Garantir que a equipe priorizaria a implementação de LSS em detrimento de outros projetos era primordial para que fosse possível conduzir essa aplicação. Esse engajamento foi obtido, sobretudo, pelo convencimento da liderança dos membros da equipe, através da demonstração dos objetivos estratégicos da organização. O apoio da gerência da fábrica também foi imprescindível para garantir que todas as áreas mantivessem o interesse em cumprir as tarefas

no prazo. Além da equipe multidisciplinar, eventualmente era necessário que pessoas de fora da equipe ajudassem na execução de algumas tarefas, por exemplo, o levantamento de dados. Para que isso fosse possível, era necessário alinhar essa demanda com a liderança das pessoas envolvidas, garantindo que elas contribuíssem.

Outro desafio da fase definir consistiu na priorização dos CTQs, uma vez que muitos parâmetros poderiam interferir na qualidade da selagem. Tendo em vista o tempo disponibilizado para o projeto, número de pessoas e áreas envolvidas e restrições de recurso, uma priorização precisou ser conduzida, segundo critérios pré-estabelecidos e conhecimento da equipe multidisciplinar. Foi extremamente importante garantir que todos os membros da equipe e principais *stakeholders* tivessem pleno entendimento das razões pelas quais os CTQs foram escolhidos.

Durante a fase medir, o maior desafio residiu no plano de coleta de dados. Isso porque havia uma restrição na envasadora A, que impossibilitava a coleta e registro de histórico digital de todos os CTQs. Ao se avaliar a possibilidade de realizar coletas manuais, alguns riscos de segurança foram apontados, além de iminentes atrasos na produção, que poderiam afetar o atendimento da demanda comercial. Dessa forma, a organização aceitou trabalhar com os dados disponíveis, entendendo que um menor volume de amostras poderia gerar análises menos precisas e uma maior dificuldade de investigação de causas raízes.

No decorrer da fase analisar, a escolha das ferramentas de análise foi crítica para a evolução do projeto. Isso porque uma gama de ferramentas estava disponível, além de ferramentas expostas em estudos de caso mencionados no presente trabalho, em seções anteriores. Dessa forma, a escolha precisou ser baseada no tamanho das amostras disponíveis, e conhecimento da equipe multidisciplinar acerca das ferramentas. A licença a softwares analíticos, por exemplo, o Minitab, pode ser considerada como um gargalo para o avanço das análises. No caso da organização em estudo, funcionários que conduzissem a aplicação de LSS tinham direito a uma licença para acesso. Um grande desafio vivenciado ao longo da fase Analisar foi a condução das investigações de causas raízes, uma vez que, em algumas discussões, os participantes da investigação apresentavam vieses baseados em suas experiências e conhecimento acerca do tema.

Já na fase Melhorar, o alinhamento com fornecedores – de embalagens e equipamentos – foi considerado crítico. Isso porque era estritamente necessário garantir que qualquer ação

implementada tivesse o aval dos fornecedores, de forma a não alterar padrões de fabricação do equipamento ou da embalagem, ocasionando no surgimento de outros problemas operacionais. O alinhamento entre a mão-de-obra interna da organização e a mão-de-obra terceira demandou um grande esforço da equipe multidisciplinar, de forma a garantir que todos seguissem os mesmos padrões de segurança, qualidade e produtividade enquanto executavam suas tarefas. A equipe multidisciplinar precisou acompanhar cuidadosamente a finalização de cada ação do plano.

Por fim, na fase Controlar, o maior desafio foi o mapeamento de novas ações de melhoria a partir do momento em que se identificava que alguma ação do plano original não conseguia trazer a melhora desejada, bem como ter tempo hábil para executá-las. A ocorrência simultânea de outros projetos foi vista como um fator crítico, por exemplo, o projeto que levaria à troca das barras de selagem para atendimento de uma nova demanda comercial. Na organização em questão, é comum a ocorrência de grandes projetos em paralelo envolvendo um mesmo ambiente de atuação, dessa forma, pode ser difícil diferenciar os ganhos (ou prejuízos) de cada iniciativa implementada.

6. Proposta de framework adaptado para aplicação de *Lean Six Sigma* em futuros projetos na organização estudada ou em outras companhias produtoras de alimentos

A partir da presente implementação de *Lean Six Sigma*, foi possível elencar as etapas seguidas e propor um procedimento de aplicação da metodologia, que pode ser utilizado em futuros projetos LSS na própria organização objeto desse estudo, ou em outras organizações industriais de produção de alimentos. Tais etapas e suas respectivas tarefas estão associadas à realidade da organização estudada. As etapas gerais são listadas na Figura 41 a seguir, assim como o detalhamento das tarefas nos tópicos posteriores.

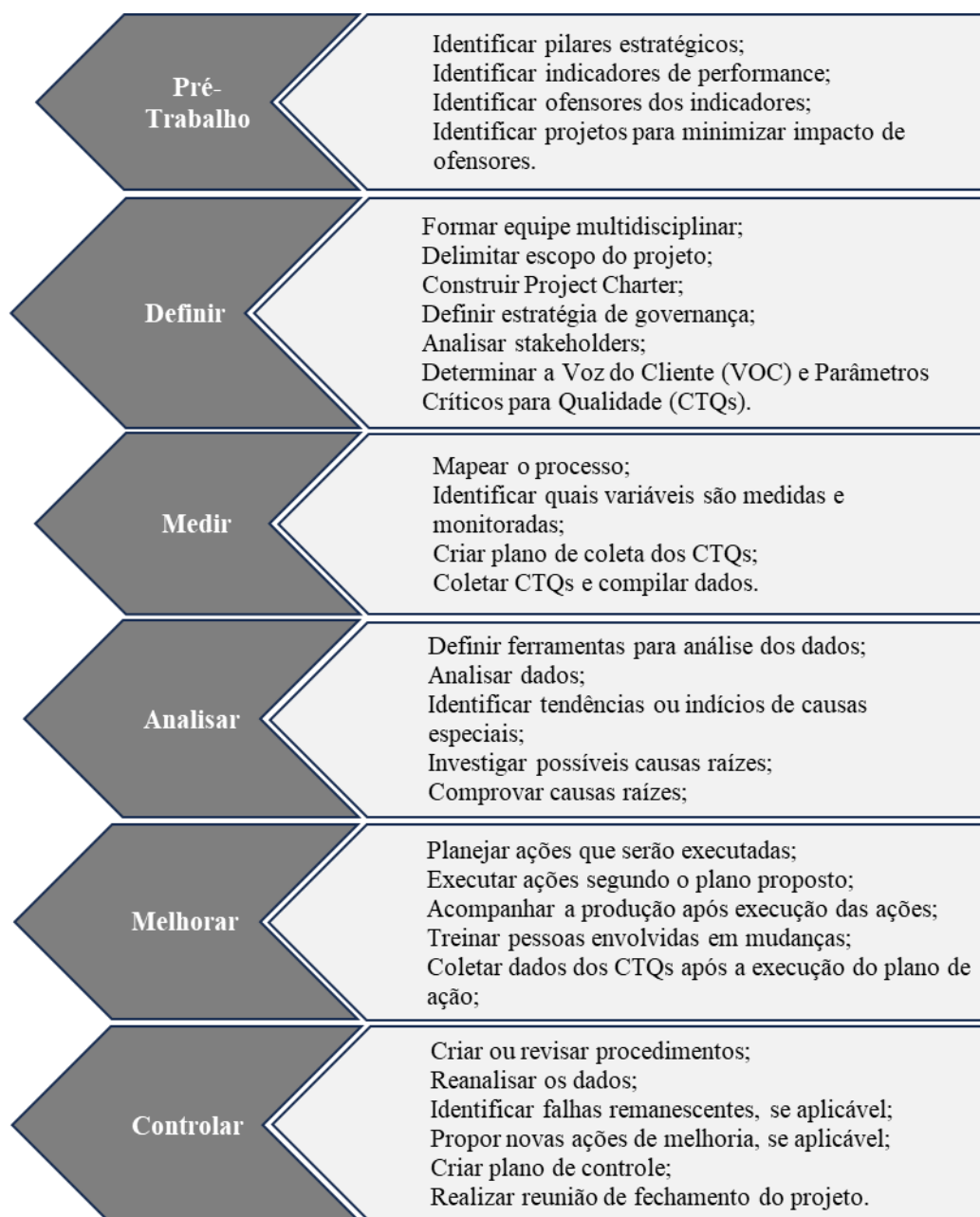


Figura 41 – Framework com etapas gerais para implementação de Lean Six Sigma

Fonte: elaborado pela autora.

6.1 Etapa 1: Pré-trabalho de implementação de *Lean Six Sigma*

- Definir pilares estratégicos da organização a nível regional, em um horizonte futuro de 12 meses;
- Definir pilares estratégicos da organização a nível local, com base na estratégia regional; definir preferencialmente, três pilares locais;
- Definir indicadores chave de performance (KPIs) locais que devem ser medidos em alinhamento aos objetivos estratégicos. Preferencialmente, definir entre 9 e 12 KPIs;

- Identificar problemas que prejudicam os KPIs levantados;
- Levantar dados históricos relativos aos KPIs e possíveis problemas;
- Identificar projetos para garantir o atingimento dos KPIs previamente definidos, com base nos dados levantados. Preferencialmente, identificar um máximo de dois projetos por KPI;
- Selecionar quais projetos poderiam ser conduzidos segundo a metodologia Lean Six Sigma;
- Selecionar líderes para os projetos com base em discussão prévia de talentos; pessoas consideradas "talentos" pela organização ficariam responsáveis pela liderança dos projetos que entregam os pilares estratégicos;
- Endereçar o problema e projeto aos líderes de cada projeto.

6.2 Etapa 2: Fase Definir

- Treinar líder do projeto para certificação Lean Six Sigma;
- Avaliar quais áreas estão relacionadas ao problema;
- Selecionar um representante de cada área relacionada e levantar background técnico dos escolhidos; recomenda-se checar a experiência dos representantes em projetos anteriores e conhecimento sobre a área em que ocorre o problema a ser solucionado;
- Formar equipe multidisciplinar; recomenda-se um máximo de dez pessoas na equipe;
- Apresentar o projeto à equipe multidisciplinar;
- Delimitar escopo do projeto;
- Identificar especificidades da produção (ex.: especificações de produtos, ingredientes, matérias-primas e embalagens, padrões de qualidade, food safety e regulatório mínimos adotados pela organização);
- Criar e validar cronograma do projeto;
- Construir Project Charter e definir metas a serem perseguidas;
- Definir estratégia de governança: frequência de reuniões, comunicações, reportes e quem precisa estar envolvido em cada item;
- Agendar reuniões de governança; recomenda-se agendar as reuniões durante toda a duração do projeto, de forma a criar a rotina de encontros e reservar as agendas dos envolvidos;
- Identificar e analisar stakeholders;
- Identificar a voz do cliente;

- identificar parâmetros críticos para qualidade (CTQs).

6.3 Etapa 3: Fase Medir

- Definir pessoas que devem fazer parte do mapeamento do processo; pessoas que não fazem parte da equipe podem participar, sobretudo, pessoas que tenham contato direto com a área onde ocorre o problema;
- Delimitar área de mapeamento;
- Mapear o processo em reunião com participantes;
- Validar mapa do processo in loco;
- Identificar atividades operacionais e atividades automáticas;
- Identificar quais variáveis são medidas e monitoradas durante a produção;
- Iniciar levantamento de vulnerabilidades a partir de observações do processo;
- Criar plano de coleta de dados relativos aos CTQs, incluindo método de coletas;
- Coletar dados dos CTQs; essa atividade pode ser delegada a pessoas que não fazem parte da equipe do projeto;
- Compilar dados coletados.

6.4 Etapa 4: Fase Analisar

- Instalar software de análise (ex.: Minitab) ou ferramenta similar;
- Identificar possíveis outliers nos dados coletados;
- Definir análises possíveis de serem feitas utilizando os dados disponíveis;
- Dispor os dados graficamente de acordo com as análises escolhidas;
- Analisar resultados, a depender do gráfico gerado: normalidade dos dados, distribuição temporal, dispersão em torno da média, desvio padrão, variabilidade, etc.;
- Identificar tendências ou indícios de causas especiais a partir dos dados;
- Investigar possíveis causas especiais utilizando ferramentas de análise de causa raiz (brainstorming, 5 porquês, diagrama de causa e efeito, etc.); priorizar ferramentas de análise de causas que sejam de domínio dos envolvidos;
- Apontar causas raízes;
- Comprovar causas raízes procedentes a partir da observação do processo;
- Definir ações para solucionar as causas raízes;
- Definir critérios de priorização de ações;

- Ranquear ações a partir dos critérios de priorização;
- Selecionar ações que serão executadas;

6.5 Etapa 5: Melhorar

- Mapear os riscos e ações de mitigação relacionados ao plano de ação;
- Fazer reunião de gestão da mudança, em caso de ações que provoquem mudanças em equipamentos, instrumentos ou no fluxo de produção; garantir que todos os representantes das áreas participem da reunião.
- Abrir conta contábil do projeto, caso haja ações que demandem investimento;
- Planejar ações que serão executadas (data, prazo, recursos necessários);
- Agendar paradas de produção para realizar ações que dependam de interrupção da produção;
- Executar ações segundo o plano proposto;
- Garantir a conformidade da produção após a execução das ações, a partir da realização de análises;
- Acompanhar a produção durante determinado intervalo de tempo após execução das ações;
- Fechar plano de ação;
- Treinar pessoas envolvidas em mudanças que ocorreram em equipamentos, instrumentos ou processo, sendo que os treinamentos podem ocorrer gradativamente, à medida em que as melhorias forem implementadas.
- Coletar dados dos CTQs após a execução do plano de ação para identificação de oportunidades;

6.6 Etapa 6: Fase Controlar

- Criar procedimentos, se necessário, ou revisar procedimentos antigos;
- Treinar pessoas nos procedimentos novos ou revisados;
- Reanalisar os dados e comparar os resultados com o cenário anterior à fase melhorar;
- Identificar falhas remanescentes, se aplicável;
- Verificar se causas raízes foram solucionadas;
- Propor novas ações de melhoria, se aplicável;
- Criar plano de controle contendo informações que passarão a ser medidas, frequência de medição, responsáveis e ações a serem tomadas em caso de desvio;

- Realizar reunião de fechamento do projeto, exibindo resultados obtidos, lacunas, reconhecimento da equipe e definição de próximos passos;
- Iniciar captura financeira do projeto, por doze meses, caso haja retorno financeiro envolvido.

7. Conclusão

O presente trabalho consistiu na implementação da metodologia *Lean Six Sigma* em um processo produtivo de uma indústria produtora de atomatados, que faz parte de uma companhia multinacional de alta relevância no mercado brasileiro. Uma pesquisa-ação foi conduzida tendo em vista alguns objetivos previamente definidos, segundo uma abordagem quantitativa e intervencionista.

A partir do exposto, conclui-se que o objetivo geral e objetivos específicos desta pesquisa foram atendidos, uma vez que a metodologia LSS foi aplicada, considerando as particularidades e voltada à realidade organizacional da indústria objeto de estudo. Os passos dessa aplicação podem ser seguidos por outros projetos dentro da mesma organização, ou serem expandidos para outras empresas produtoras de alimentos.

Ao longo do presente trabalho, foi feito o levantamento bibliográfico acerca da aplicação de LSS na indústria de alimentos, de forma a compreender como se dá a condução da metodologia nesse setor. Tal levantamento demonstrou um aumento na procura pela aplicação da metodologia LSS, com uma predominância na ocorrência de estudos de caso.

Foi definida uma área piloto dentro da organização em estudo, para o desenvolvimento de um projeto LSS. A escolha da linha piloto levou em consideração o comportamento de alguns dados internos da organização, sobretudo a demanda de vendas, volume produzido e quantidade de desvios identificados. Posteriormente, foi feito o mapeamento do processo produtivo, sendo possível identificar vulnerabilidades inerentes à automação e controle de parâmetros do envase, que foram em seguida tratadas ao longo das fases de análise. Os parâmetros críticos para a qualidade foram determinados a partir do detalhamento da voz do cliente, sendo possível coletar parte deles conforme possível dentro do processo produtivo. Foi feita a análise de dados e identificação de causas raízes do problema, proposição e execução de ações de melhoria, comparação do cenário anterior e posterior às mudanças e criação de estratégias de controle pós-implementação.

O presente estudo apresentou algumas limitações, como por exemplo, a quantidade de dados utilizados para análise, o período restrito de implementação do projeto, a não contemplação de todos os parâmetros críticos para qualidade no decorrer da aplicação de LSS e a restrição de recurso financeiro disponível para ser investido na área piloto da implementação (envasadora A), sendo algumas dessas limitações também trazidas por outros autores.

Com relação aos resultados obtidos com a implementação, pôde-se concluir que não foi possível atingir os resultados esperados para um dos CTQ – a temperatura de selagem, uma vez que, comparando-se o cenário anterior e posterior à mudança, o parâmetro ainda se apresentou fora de controle e o processo se mostrou incapaz de garantir o atendimento aos limites de especificação. Para os demais CTQs, foram observados ganhos relacionados à possibilidade de medi-los digitalmente, analisá-los e controlá-los, o que antes da implementação era impraticável devido às limitações tecnológicas da envasadora A.

Esta aplicação de *Lean Six Sigma* permitiu o mapeamento de outros projetos passíveis de serem executados, uma vez que, com as melhorias feitas, foi gerado um histórico de dados, houve um aumento de *expertise* das pessoas envolvidas nessa implementação e uma resposta positiva da organização em relação aos resultados alcançados, uma vez que foi feita a liberação de mais recursos para investimento em outra envasadora (linha B). Além disso, imediatamente após essa implementação, foi iniciada a condução de outro projeto *Lean Six Sigma* visando o um aprofundamento na influência de fatores externos à manufatura no indicador de vazamento, por exemplo, o armazenamento e distribuição dos produtos.

O presente estudo corrobora para reforçar a importância e relevância do tema *Lean Six Sigma* dentro da comunidade acadêmica, ao implementar a metodologia de forma prática em um ambiente industrial, permitindo a obtenção de resultados relevantes para futuros pesquisadores que vivenciarem situações semelhantes em outras organizações.

8. Referências Bibliográficas

ALBLIWI, Saja *et al.* Critical failure factors of Lean Six Sigma: a systematic literature review. **International Journal of Quality & Reliability Management**, [s.l.] v. 31, n. 9, p. 1012-1030, set. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2013-0147>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJQRM-09-2013-0147/full/html>.

Acesso em: 03 set. 2023.

ALVES, Luiz Carlos. **Gestão da Produtividade na Indústria Cervejeira**. 2018. Dissertação (Mestrado em Gestão de Empresas) – Instituto Universitário de Lisboa, ISCTE Business School, Lisboa, 2018. Disponível em: <https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/17553>. Acesso em: 27 nov. 2022.

ANDERSSON, Roy *et al.* Lean Six Sigma strategy in telecom manufacturing. **Industrial Management & Data Systems**, [s.l.], v. 114, n. 6, p. 904-921, jun. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/imds-02-2014-0069>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IMDS-02-2014-0069/full/html>. Acesso em: 03 set. 2023.

AYALA, Sebastián Angel Lozano. **Tratamiento Térmico y Modelamiento Matemático del Concentrado de Tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) en Envase de Hojalata y de Vidrio**. 2017. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Nacional do Callao, Callao, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/2772>. Acesso em: 19 ago. 2023.

AZALANZAZLLAY, Nurul Najuhah *et al.* Uncovering Readiness Factors Influencing the Lean Six Sigma Pre-Implementation Phase in the Food Industry. **Sustainability**, [s.l.], v. 14, n. 14, p. 1-20, jul. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14148941>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/14/8941>.

AZIZ, Nik Alimi Nik *et al.* Application of lean six sigma methodology to improve the weight inconsistency problem of coffee powder packaging. **Jurnal Sistem dan Manajemen Industri**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 74-86, dez. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.30656/jsmi.v5i2.3729>. Disponível em: <https://ejournal.lppmunsera.org/index.php/JSMI/article/view/3729>. Acesso em: 04 nov. 2023.

BARÃO, Mariana Zanon. **Dossiê Técnico: Embalagens para produtos alimentícios**. Instituto de Tecnologia do Paraná: TECPAR, ago. 2011, 26 p. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTY0MQ==>. Acesso em: 5 nov. 2023.

BIÇER, Can. Applying lean six sigma principles in organizations: The opportunities and barriers. **Business, Economics and Management Research Journal**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 62-

73, jan. 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/362374140 Applying lean six sigma principles in organizations The opportunities and barriers](https://www.researchgate.net/publication/362374140_Applying_lean_six_sigma_principles_in_organizations_The_opportunities_and_barriers). Acesso em: 29 ago. 2023.

BOTTANI, Eleonora *et al.* Statistical Process Control of assembly lines in a manufacturing plant: process capability assessment. **Procedia Computer Science**, [s.l.], v. 180, p. 1024-1033, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.353>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921004075?via%3Dihub>. Acesso em: 01 set. 2023.

BUGOR, Franciani; LUCCA FILHO, João de. Utilização da metodologia DMAIC para promover melhorias na qualidade em indústrias alimentícias. **Interface Tecnológica**, [s.l.], v. 18, n. 2, p. 724–733, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.31510/infa.v18i2.1280>. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1280>. Acesso em: 27 nov. 2022.

CABRAL, Antonio Carlos Dantas *et al.* **Apostila de embalagem para alimentos**. Campinas, 335 p, 1984.

CHADA, Paulo Sergio Nunes. **Obtenção de licopeno do bagaço de tomate industrial “solanum lycopersicum l.” por técnicas não convencionais de extração e secagem**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/226993>. Acesso em: 19 ago. 2023.

CHAICOUSKI, Adeline. Estudo das diferentes embalagens utilizadas no envase de extratos de tomate. **Revista de Extensão e Iniciação Científica da Unisociesc**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 1-17, dez. 2022. Disponível em: <https://reis.unisociesc.com.br/index.php/reis/article/view/382>. Acesso em: 28 ago. 2023.

CHEN, Huilan. **A Knowledge Mobilisation Framework for Lean Supply Chains in Agri-food Industry**. 2022. Tese (Doutorado em Filosofia) – Plymouth Business School, University of Plymouth, Plymouth, 2022. Disponível em: <https://pearl.plymouth.ac.uk/cgi/viewcontent.cgi?article=1032&context=pbs-theses>. Acesso em: 6 nov. 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Tomate: Análise dos Indicadores da Produção e Comercialização no Mercado Mundial, Brasileiro e Catarinense. **Compêndio de Estudos CONAB**, Brasília, v. 21, out. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da-conab/item/12529-compendio-de-estudos-da-conab-v-21-tomate-analise-dos-indicadores-da-producao-e-comercializacao-no-mercado-mundial-brasileiro-e-catarinense>. Acesso em: 17 set. 2023.

CONCEIÇÃO, Rodrigo Subirá *et al.* Lean six sigma: implementation of improvements to the industrial cost management. **Independent Journal of Management & Production**, [s.l.], v. 10, n. 6, p. 2023-2045, dez. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.14807/ijmp.v10i6.996>. Disponível em: <http://www.ijmp.jor.br/index.php/ijmp/article/view/996>. Acesso em: 30 ago. 2023.

COSTA, Luana Bonome Message *et al.* Lean, six sigma and lean six sigma in the food industry: A systematic literature review. **Trends In Food Science & Technology**, [s.l.], v. 82, n. 0, p. 122-133, dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.10.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224418301730>. Acesso em: 28 set. 2023.

DESHMUKH, D. N.; KHANDVE, P. Literature Reviews on Construction Project and Waste Management by Six Sigma Principles. **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology**, [s.l.], v. 8, n. 7, p. 528-530, jul. 2020. Disponível em: https://www.academia.edu/43600300/Literature_Reviews_on_Construction_Project_and_Waste_Management_by_Six_Sigma_Principles. Acesso em: 30 ago. 2023.

Deshmukh, Manish *et al.* Study and implementation of lean manufacturing strategies: A literature review. **Materials Today: Proceedings**, [s.l.], v. 62, n. 3, p. 1489-1495, fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.155>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785322007337>. Acesso em: 06 nov. 2024.

DUNCAN, Timothy V. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. **Journal of Colloid and Interface Science**, [s.l.], v. 363, n. 1, p. 1-24, nov. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021979711008642?via%3Dihub>. Acesso em: 03 set. 2023.

EMBALAGEM *Stand-Up Pouch* Metalizada Zíper. **EVOX Pack**, 2023. 1 Fotografia. Disponível em: <https://www.evopack.com.br/MLB-3346050033-embalagem-stand-up-pouch-metalizada-ziper-125x195-100un- JM>. Acesso em: 5 nov. 2023.

EMBALAGENS pet para suco. **Leopol Plásticos**, 2023. 1 Fotografia. Disponível em: https://www.plasticosleopoldense.com.br/imagens/portal/thumbs/embalagens-pet-para-suco_12109_4093331644952170269_cover.png. Acesso em: 5 nov. 2023.

EMBALAGENS *stand-up pouch* crescendo também no mercado pet. **Gualapack**, Iperó, 2016. Disponível em: <https://gualapack.com.br/linhatradpouch/2016/10/21/embalagens-stand-up-pouch-crescendo-tambem-no-mercado-pet-animais-estimacao/>. Acesso em: 02 set. 2023.

FRANC, Sanja; KUJEVAC, Emanuel. Global trends and competitiveness of the food industry. **Notitia - journal for economic, business and social issues**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 99-108, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.32676/n.7.1.8>. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/267090>. Acesso em: 04 nov. 2023.

FORERO, Sofía Magdalena Escobar. **Reducción de kilogramos de desperdicios y sobrantes de rosquitas en el proceso de producción de Somaticas S.A.S. mediante la metodología Lean Six Sigma**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial) – Departamento de Engenharia Industrial, Universidad de Los Andes, Bogotá, 2019. Disponível em: <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/c37814d0-4372-458f-a560-c4fe0cd1c24a>. Acesso em: 10 out. 2024.

GOUVEIA, Flávia. Indústria de alimentos: no caminho da inovação e de novos produtos. **Inovação Uniemp**, Campinas, v. 2, n. 5, dez. 2006. Disponível em http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-23942006000500020&lng=pt&nrm=iso. Acessos em: 17 set. 2023.

HAKIMI, Saeid; ZAHRAEE, Seyed Mojib; ROHANI, Jafri Mohd. Application of Six Sigma DMAIC methodology in plain yogurt production process. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s.l.], v. 9, n. 4, p. 562-578, jun. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/ijlss-11-2016->

0069. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJLSS-11-2016-0069/full/html>. Acesso em: 30 ago. 2023.

HALIM-LIM, Sarina Abdul *et al.* Lean Six Sigma Implementation in the Food Sector: Nexus between Readiness-Critical Success Factors. **Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal**, [s.l.] v. 6, n 6, p. 12-21, nov. 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.25046/aj060603>. Disponível em: <https://www.astesj.com/v06/i06/p03/>. Acesso em: 18 jan. 2023.

HILL, J. *et al.* The implementation of a Lean Six Sigma framework to enhance operational performance in an MRO facility. **Production & Manufacturing Research**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 26-48, dez. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/21693277.2017.1417179>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21693277.2017.1417179>. Acesso em: 29 ago. 2023.

IDRISSI, Ismail; BENAZZOUZ, Bouchra. Lean or Six Sigma for food industry? Perspectives from previous researches and case studies in industry. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, [s.l.], v. 10, n. 4, p. 1732-1739, abr. 2019. Disponível em: https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJCIET/VOLUME_10_ISSUE_3/IJCIET_10_03_292.pdf. Acesso em: 02 set. 2023.

IRAWAN, Neldo; RATNAWATI, Anny; DILLA, Salsa. Analysis of Quality Control of Chicken Nugget Products by Using Six Sigma Method at PT. XYZ. **Journal of Physics: Conference Series**, [s.l.], v. 1764, p. 1-12, 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1764/1/012210. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1764/1/012210>. Acesso em: 02 nov. 2023.

IYEDE Richard; FALLON, Enda Francis; DONNELLAN, Pat. An exploration of the extent of Lean Six Sigma implementation in the West of Ireland. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s.l.], v. 9, n. 3, p. 444-462, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-02-2017-0018>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJLSS-02-2017-0018/full/html>. Acesso em: 04 mar. 2023.

JORGE, Neuza. **Embalagens para Alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica, Universidade Estadual Paulista, 2013. *E-book*. Disponível em: <https://www.santoandre.sp.gov.br/pesquisa/ebooks/360234.PDF>. Acesso em: 5 nov. 2023.

KOLAWOLE, Olushola A.; MISHRA, Jyoti L.; HUSSAIN, Zahid. Addressing food waste and loss in the Nigerian food supply chain: Use of Lean Six Sigma and Double-Loop Learning. **Industrial Marketing Management**, [s.l.], v. 93, p. 235-249, fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.01.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019850121000067?via%3Dihub>. Acesso em: 16 nov. 2022.

KURNIA, Hibarkah; PURBA, Humiras Hardi. A Systematic Literature Review of Lean Six Sigma in Various Industries. **Journal of Engineering and Management in Industrial System**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 19-30, nov. 2021. DOI: 10.21776/ub.jemis.2021.009.02.3. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/356492832_A_Systematic_Literature_Review_of_Lean_Six_Sigma_in_Various_Industries. Acesso em: 04 mar. 2023.

KWILINSKI, Aleksy; KARDAS, Maciej. Enhancing Process Stability and Quality Management: A Comprehensive Analysis of Process Capability Indices. **Virtual Economics**, [s.l.], v. 6, n. 4, p. 73–92, dez. 2023. DOI: [https://doi.org/10.34021/ve.2023.06.04\(5\)](https://doi.org/10.34021/ve.2023.06.04(5)). Disponível em: <https://www.virtual-economics.eu/index.php/VE/article/view/347>. Acesso em: 29 out. 2024.

LATA diam. 126mm. **H Packing Embalagens Metálicas**, 2023. 1 Fotografia. Disponível em: <https://www.hpacking.com.br/produto/16/lata-diam-126mm>. Acesso em: 5 nov. 2023.

LAUREANI, Alessandro; ANTONY, J. Critical success factors for the effective implementation of Lean Sigma. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s.l.], v. 3, p. 274-283, 2012. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Critical-success-factors-for-the-effective-of-Lean-Laureani-Antony/22f1a9f4df778eb5e9e9eb780f77446f086827d7>. Acesso em: 6 nov 2024.

LIMA, Vanessa Caroline Pessoa de. **Implementação da metodologia enxuta em uma linha de molhos de tomate em uma indústria de alimentos do Rio Grande do Norte**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/58692>. Acesso em: 15 out. 2024.

McDERMOTT, Olivia et al. Green Lean Six Sigma in the food industry: a systematic literature review. **British Food Journal**, [s.l.], v. 126, n. 13, p. 455-469, maio 2024. DOI: 10.1108/BFJ-01-2024-0100. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/0007-070X.htm>. Acesso em: 14 out. 2024.

MCELROY, Paul. **A study into the use and proliferation of Lean Six-Sigma principles in the food industry**. 2022. Dissertação (Mestrado em *Food Business Management and Technology*) – Departamento de Ciências Aplicadas, Universidade Tecnológica de Dublin, Dublin, 2022. Disponível em: <https://repository.innoskills.com/handle/20.500.14136/74>. Acesso em: 4 nov. 2023.

MALESZKA, Alicja; LINKE, Magdalena. Improvement of Management Process by using Lean Six Sigma Tools in Some Big Organisation of Food Industry. **Polish Journal of Natural Sciences**, [s.l.], v. 31, n. 1, p. 101-112, 2016. Disponível em: http://www.uwm.edu.pl/polish-journal/sites/default/files/issues/articles/maleszka_and_linke_2016.pdf. Acesso em: 6 nov. 2024.

MERABTENE, Mahdi *et al.* Heat-sealing and microscopic evaluation of paper-based coated materials using various seal bar geometries in vertical form fill seal machine. **Packaging Technology and Science**, [s.l.], v. 36, n. 8, p. 667-679, abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/pts.2735>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pts.2735>. Acesso em: 28 out. 2023.

MIGUEL, Paulo A. C. *et al.* Desdobramento da Qualidade no Desenvolvimento de Filmes Flexíveis para Embalagens. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 87-94, jun. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282003000200005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/FMmq6Vg5TPg8vhT5ydhKYXD/?lang=pt>. Acesso em: 28 out. 2023.

MINEIRO, Márcia; SILVA, Mara Alves da; FERREIRA, Lúcia Garcia. Pesquisa Qualitativa e Quantitativa: imbricação de múltiplos e complexos fatores das abordagens investigativas. **Momento – Diálogos em Educação**, v. 31, n. 3, p. 201-218, nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.14295/momento.v31i03.14538>. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/momento/article/view/14538>. Acesso em: 29 out. 2024.

MINITAB. *Data Considerations for Normal Capability Analysis.* Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/how-to/capability-analysis/normal-capability-analysis/before-you-start/data-considerations/>. Acesso em: 29 out. 2024.

MINITAB. *Overview for Xbar Chart.* Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/control-charts/how-to/variables-charts-for-subgroups/xbar-r-chart/before-you-start/overview/>. Acesso em: 29 out. 2024.

MINITAB. *Overview for Normal Capability Analysis.* Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/how-to/capability-analysis/normal-capability-analysis/before-you-start/overview/>. Acesso em: 29 out. 2024.

MORAES, Débora. **Aplicação da Metodologia Lean Six Sigma na Unidade de Massas de uma Indústria Alimentícia do Oeste do Paraná.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Departamento Acadêmico de Produção e Administração, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12724>. Acesso em: 27 nov. 2022.

MUGHAL, Usama Khursheed *et al.* **Applications of Lean Six Sigma (LSS) in Production Systems.** *In:* African International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2., 2020, Harare. p. 3075-3086. Disponível em: <http://www.ieomsociety.org/harare2020/papers/699.pdf>. Acesso em: 03 set. 2023.

MUNHOZ, Karla Ariane Silveira. **Estudo da cinética de degradação da cor, ácido ascórbico e consistência ao longo da cadeia de processamento industrial de polpa concentrada de tomate.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/970907>. Acesso em: 19 ago. 2023.

MURALIRAJ, J. *et al.* Annotated methodological review of Lean Six Sigma. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 2-49, mar. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/ijlss-04-2017-0028>. Disponível em:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJLSS-04-2017-0028/full/html>. Acesso em: 30 ago. 2023

NADER, Joelle. Lean Six Sigma and Design of Experiments: An Empirical Case Study From the Dairy Industry. **Interdisciplinary Research in Technology and Management**, [s.l.], v. 35, n. 2, p. 337-365, fev. 2022. DOI: 10.1109/IRTM54583.2022.9791828. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9791828>. Acesso em: 04 nov. 2023.

NANDAKUMAR, N.; SALEESHYA, P.G.; HARIKUMAR, P. Bottleneck identification and process improvement by Lean Six Sigma DMAIC Methodology. **Materials Today: Proceedings**, [s.l.], v. 24, n. 2, p. 1217-1224, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.436>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320330583>. Acesso em: 28 ago. 2023.

NEGER, Cristina L.; SERRALVO, Francisco A. A racionalidade no uso de embalagens: uma reflexão no setor alimentício. **Revista Administração em Diálogo**, [s.l.], v. 25, n. 3, p. 1-6, 2023. DOI: <https://doi.org/10.23925/2178-0080.2023v25i3.66091>. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/rad/article/view/66091/44520>. Acesso em: 14 set. 2024.

NOALE, Nicolás. **Tomate para industria: revisión bibliográfica y selección de variedades en el Valle Medio de Río Negro**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Ciências Agrárias e Florestais, Universidade Nacional de La Plata, La Plata, 2015. Disponível em: <https://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Trabajo-Final-Noale.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2023.

NOGUEIRA, José Geraldo *et al.* **A embalagem como componente estratégico do marketing para lançamento do produto**. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 4., 2008, Niterói: CNEG, 2008. p. 1-22. Disponível em: <https://www.cadernomarketingunimep.com.br/ojs/index.php/cadprofmkt/article/view/39> Acesso em: 02 set. 2023.

NOLETTO, Ana Paula Reis *et al.* Desempenho logístico de embalagens para molho de tomate: um estudo de caso na cidade de São Paulo, Brasil. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 22, jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.12118>.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/363CWsDjtW4pTpsCJTTRQOc/?lang=pt>.
Acesso em: 19 ago. 2023.

NURFAIDAH, Salsabila Aulia. Reduksi Waste dan Peningkatan Kualitas pada Proses Produksi Brownies Kukus Cokelat dengan Menggunakan Metode Lean Six Sigma. **Journal Riset Teknik Industri**, [s.l.], v. 1, n. 2, p. 180-188, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.29313/jrti.v1i2.510>. Disponível em: <https://journals.unisba.ac.id/index.php/JRTI/article/view/510>. Acesso em: 18 jan. 2023.

O REPOSICIONAMENTO das embalagens de vidro. **Vidrado**, 2023. 1 Fotografia. Disponível em: <https://vidrado.com/noticias/meio-ambiente/o-reposicionamento-das-embalagens-de-vidro/>. Acesso em: 5 nov. 2023.

PACHECO, Diego *et al.* 18 comparative aspects between Lean and Six Sigma. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 161-175, jun. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/ijlss-05-2014-0012>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJLSS-05-2014-0012/full/html>. Acesso em: 03 set. 2023.

PANAYIOTOU, Nikolaos A.; STERGIU, Konstantinos E. A systematic literature review of lean six sigma adoption in European organizations. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 264-292, maio 2020. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-07-2019-0084>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJLSS-07-2019-0084/full/html>. Acesso em: 10 out. 2024.

PAPÉL para Trufas e Bombons 12x12,5cm. **Jovipel Embalagens**, 2023. 1 Fotografia. Disponível em: <https://www.jovipel.com.br/papel-p-trufas-e-bombons-12x12-5cm-prata-c-100-un-cromus>. Acesso em: 5 nov. 2023.

PATEL, Anand S.; PATEL, Kaushik M. Critical review of literature on Lean Six Sigma methodology. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s.l.], v. 12, n. 3, p. 627-674, jan. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/ijlss-04-2020-0043>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJLSS-04-2020-0043/full/html>. Acesso em: 02 set. 2023.

PAVLOVIĆ, Katarina; BOŽANIĆ, Vojislav. Lean and Six Sigma Concepts – Application in Pharmaceutical Industry. **International Journal of Quality Research**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 23-

28, 2010. Disponível em: <https://doaj.org/article/77d57bcf77dd4899bb76fc81d67fdeb9>. Acesso em: 6 nov. 2024.

PEPPER, M.P.J.; SPEDDING, T.A. The evolution of lean Six Sigma. **International Journal of Quality & Reliability Management**, [s.l.], v. 27, n. 2, p. 138-155, 26 jan. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/02656711011014276>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02656711011014276/full/html>. Acesso em: 02 set. 2023.

PRASAD, Priyanka; KOCHHAR, Anita. Active Packaging in Food Industry: A Review. **IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology**, [s.l.], v. 8, n. 5, p. 01-07, maio 2014. DOI: 10.9790/2402-08530107. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271254373_Active_Packaging_in_Food_Industry_A_Review. Acesso em: 28 ago. 2023.

RACOLTA-PAINA, Nicoleta Dorina; BUNEA, Nicolae Sebastian. The Journey of Adopting Lean Six Sigma – from the Implementation Team’s Perspective: A Case Study. **Management And Economics Review**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 232-245, dez. 2020. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/rom/merase/v5y2020i2p232-245.html>. Acesso em: 28 set. 2023.

RAMÍREZ, Sebastian Cardona. **Propuesta para la disminución de pérdida de laminado en la línea Mespac de la fábrica de lácteos de Bugalagrande S.A. mediante la implementación de la metodología DMAIC**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Industrial) – Faculdade de Engenharias, Universidade Central do Valle do Cauca, Tuluá, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.12993/689>. Acesso em: 5 nov. 2023.

RIFQI, Hanane *et al.* Lean Six Sigma in agribusiness: A Case Study in a Cookie Production Plant. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, [s.l.], v. 69, n. 1, p. 56-65, jan. 2021. DOI:10.14445/22315381/IJETT-V69I1P209. Disponível em: <https://ijettjournal.org/archive/ijett-v69i1p209>.. Acesso em: 18 jan. 2023.

RODRIGUES, Pedro Manuel Catarino Silva de Frias. **Comparação de cultivares de tomate de indústria em modo de produção biológico**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2017.

Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/15122>. Acesso em: 19 ago. 2023.

ROSA FILHO, Sebastião Nunes da. **Banco de Sementes Viáveis e Manejo de Plantas Daninhas em Sistemas de Cultivo do Tomateiro Industrial**. 2014. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/2184>. Acesso em: 19 ago. 2023.

ROSA, Patrícia Rodrigues da *et al.* Estudo de caso e pesquisa-ação: semelhanças e distinções entre os métodos. **Revista de Ciências da Administração**, [s.l.], v. 25, n. 65, p. 1-17, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-8077.2023.e80766>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/adm/article/view/80766>. Acesso em: 10 out. 2024.

SACHET Pouch filling. **Allied Pharma Technologies LTD**, 2024. 1 Fotografia. Disponível em: <https://alliedpharma.com/solution/sachet-pouch-filling/>. Acesso em: 30 out. 2024.

SANIDAD, Bernard G.; DALIMOT, Michael M. The Effects of Lean Six Sigma Projects in the Companies Operational and Financial Efficiencies. **IOSR Journal of Business and Management**, [s.l.], v. 21, n. 6, p. 82-88, jun. 2019. DOI: 10.9790/487X-2106058288. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol21-issue6/Series-5/K2106058288.pdf>. Acesso em: 03 set. 2023.

SÁNCHEZ, Johnny A.; ZAPATA, Carlos M. **Importancia de la Integración de las Metodologías TPM y Lean Six Sigma en la Mejora Continua de los Procesos de las PYMES Procesadoras de Café**. 2021. Monografia (Especialização em Engenharia Industrial) – Escola de Ciências Básicas, Tecnologia e Engenharias, Universidade Nacional Aberta e à Distância, Bogotá, 2021. Disponível em: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/42364>. Acesso em: 27 nov. 2022.

SCARPETA, Eudes. Por que o mercado de *Stand-Up Pouches* deve atingir US\$ 20,12 bilhões até 2026. **Plástico News**, [s.l.], fev. 2023. Seção Mundo. Disponível em: <https://plasticonews.org/porque-o-mercado-de-stand-up-pouches-deve-atingir-us-2012-bilhoes-ate-2026/>. Acesso em: 5 nov. 2023.

SEGOVIA, Yuvinne Nicolay Guerrero; JARRÍN, Carlos Francisco Herrera; PÉREZ, Rommel Alexis Trujillo. **Application of Lean Six Sigma in the Ecuadorian dairy industry:**

Variability reduction of the net weight of cheeses. *In:* South American International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 3., 2022, Assunção: IEOM Society International, p. 180-192. Disponível em: <https://index.ieomsociety.org/index.cfm/article/view/ID/11008>. Acesso em: 5 nov. 2023.

SHARMA, Janpriy *et al.* Implementation of Sustainability Based Lean Six Sigma Practices in Food Supply Chain. **Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 379-388, mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5109/6781097>. Disponível em: https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/6781097/p379-388.pdf. Acesso em: 14 out. 2024.

SHASHANK, Abhinay; POONIA, Amrita. **Lean Six Sigma and its application in food industry.** *In:* RAO, R. K. Modern Technology of Agriculture, Forestry, Biotechnology and Food Science. Varanasi: Mahima Publications, 2020, p. 387-390. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/348919607_LEAN_SIX_SIGMA_AND_ITS_APPLICATION_IN_FOOD_INDUSTRY. Acesso em: 5 mar. 2023.

SILVA, Anair Araújo de Freitas; OLIVEIRA, Guilherme Saramago de; ATAÍDES, Fernando Barros. Pesquisa-ação: Princípios e fundamentos. **Revista Prisma**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 2-15, dez. 2021. Disponível em: <https://revistaprisma.emnuvens.com.br/prisma/article/view/39>. Acesso em: 10 out. 2024.

SILVA, Lukas Paiva da *et al.* Process efficiency improvement through DMAIC method: action research in a chocolate factory. **Journal of Lean Systems**, [s.l.], v. 6, n. 3, p. 110-131, ago. 2021. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/lean/article/view/4667>. Acesso em: 4 nov. 2023.

SILVA, Marcos Meurer da *et al.* Aplicação da metodologia Seis Sigma para melhoria contínua da qualidade em uma indústria alimentícia. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 20, n. 2, p. 546-574, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v20i2.3622>. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/3622>. Acesso em: 01 set. 2023.

SIREGAR, Khawarita *et al.* **Lean Six Sigma for manufacturing industry: a review.** *In:* International Conference on Industrial and Manufacturing Engineering, 1., 2019, Medan: IOP

Publishing, p. 1-8. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/505/1>. Acesso em: 01 set. 2023.

SMANIOTTO, Gabriela Yohana; ROSA, Ariane Ferreira Porto; BEMVENUTI, Renata Heidtmann. Estudo da Estabilidade e da Capacidade do Processo de Envase de Iogurte em uma Indústria de Laticínios. **Sinergia**, Rio Grande, v. 24, n. 2, p. 37-46, dez. 2020. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/sinergia/article/view/9778/7442>. Acesso em: 27 out. 2024.

SODHI, Harsimran Singh; SINGH, Doordarshi; SINGH, Bikram Jit. Developing a Lean Six Sigma conceptual model and its implementation: a case study. **Industrial Engineering Journal**, [s.l.], v. 12, n. 10, p. 1-19, out. 2019. DOI: 10.26488/IEJ.12.10.1199. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/336697238_DEVELOPING_A_LEAN_SIX_SIGMA_A_CONCEPTUAL_MODEL_AND_ITS_IMPLEMENTATION_A_CASE_STUDY/references. Acesso em: 03 set. 2023.

SORDAN, J.E. *et al.* **Reducing the percentage of broken drops using the lean six sigma methodology**. In: International Conference on Quality Engineering and Management, 4., 2020, Braga: Universidade de Minho, p. 299-316. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344365230_Reducing_the_percentage_of_broken_drops_using_the_Lean_Six_Sigma_methodology. Acesso em: 04 nov. 2023.

SREEDHARAN, R.V.; RAJU, R. A systematic literature review of Lean Six Sigma in different industries. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s.l.], v. 7, n. 44, p. 430-466, jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2015-0050>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJLSS-12-2015-0050/full/html>. Acesso em: 2 set. 2023.

STAND-UP Pouches Metalizados. **HMVM Embalagens**, 2023. 1 Fotografia. Disponível em: <https://www.hmvm.com.br/stand-up-pouches/stand-up-pouches-metalizados.html>. Acesso em: 5 nov. 2023.

STRAPASSON, Tiago Luiz. **Desenvolvimento de um Projeto Lean 6 Sigma Aplicado à Área de Carregamento de uma Indústria de Alimentos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Departamento Acadêmico de Produção e Administração, Medianeira, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13100/1/desenvolvimentoaplicadocarregame ntoalimentos.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2024.

SUENAGA, Syuya; HIRASAWA, Eisaku. Connection between Hot Tack Force and Form-Fill-Seal Performance of Packaging Films. **J-STAGE**, [s.l.], v. 16, n. 7, p. 450-458, jul. 2004. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/seikeikakou1989/16/7/16_7_450/_article/-char/ja/. Acesso em: 28 out. 2023.

TAMPUBOLON, S.; PURBA, H. Lean six sigma implementation, a systematic literature review. **International Journal of Production Management and Engineering**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 125, jul. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/ijpme.2021.14561>. Disponível em: <https://polipapers.upv.es/index.php/IJPME/article/view/14561>. Acesso em: 02 set. 2023.

TAVARES, Nelson Salgado. **Caracterização molecular e bioquímica da adaptação de uma variedade comercial de tomate (*solanum lycopersicum l.*) ao sistema de produção da agricultura natural**. 2017. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/jspui/handle/10/10034>. Acesso em: 19 ago. 2023.

TELENCHANA, Luis Stalin López *et al.* Systematic study on the application of lean six sigma in improving efficiency, quality and safety in the food industry. **Journal of Infrastructure, Policy and Development**, [s.l.], v. 8, n. 9, p. 1-15, set. 2024. DOI: <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i9.6667>. Disponível em: <https://systems.enpress-publisher.com/index.php/jipd/article/view/6667/3909>. Acesso em: 6 nov. 2024.

TORRES, Gabriela Joseth Serrano; COBA, Fausto Paul Ruiz. **Aplicación de la metodología Lean Six Sigma en una empresa de lácteos: Caso de estudio en la fabricación de quesos frescos, queso mozzarella y mantequilla**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) – Colégio de Pós-Graduação, Universidad San Francisco De Quito, Quito, 2018. Disponível em: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7820>. Acesso em: 4 dez. 2022.

TRAN, Tuan-Anh *et al.* The use of Lean Six-Sigma tools in the improvement of a manufacturing company – case study. **Production Engineering Archives**, [s.l.], v. 26, n. 1, p. 30-35, mar. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.30657/pea.2020.26.07>. Disponível em: <https://sciendo.com/article/10.30657/pea.2020.26.07>. Acesso em: 03 set. 2023.

TRIBST, A. A. L.; SOARES, B. M. C.; AUGUSTO, P. E. D. Papel da embalagem na integridade dos alimentos. **Nutrição Profissional**, v. 21, out. 2008.

VIANA, Fernando Luiz E. **Caderno setorial ETENE: Indústria: Indústria de Alimentos**. Fortaleza: BNB, Caderno Setorial ETENE, ano 8, n.270, fev. 2023. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1722>. Acesso em: 28 set. 2023.

VLOK P.J.; FOURIE, C.J. A case study on maximising the profitability of a form fill and seal machine by optimising interruption intervals. **South African Journal of Industrial Engineering**, [s.l.], v. 21, n. 1, p. 179-191, maio 2010. Disponível em: https://www.scielo.org/za/scielo.php?pid=S222478902010000100016&script=sci_abstract . Acesso em: 28 out. 2023.

ZAMBONIN, Leonardo Henrique *et al.* Estudo de caso: causas relacionadas às perdas de matéria prima em indústria de embalagens flexíveis. **Brazilian Journal of Production Engineering**, [s.l.], v. 9, n. 5, p. 108-114, out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.47456/bjpe.v9i5.42734>. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/42734>. Acesso em: 28 out. 2023.