

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

YASMIN FIGUEIREDO RAMOS

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA MELHORIA DA ESTABILIDADE
DO COEFICIENTE DE ATRITO EM LINHA DE EMBALAGENS LAMINADAS
PARA CAFÉ**

LONDRINA

2021

YASMIN FIGUEIREDO RAMOS

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA MELHORIA DA ESTABILIDADE DO
COEFICIENTE DE ATRITO EM LINHA DE EMBALAGENS LAMINADAS PARA
CAFÉ**

**Application of the DMAIC method for stability improvement of the coefficient of
friction in coffee laminated packages**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Produção da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Rogério Tondato

LONDRINA

2021

YASMIN FIGUEIREDO RAMOS

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA MELHORIA DA ESTABILIDADE DO
COEFICIENTE DE ATRITO EM LINHA DE EMBALAGENS LAMINADAS PARA
CAFÉ**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Produção da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Rogério Tondato

Data de aprovação: 29 de novembro de 2021

Rogério Tondato
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Silvana Rodrigues Quintilhano
Pós-Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José Ângelo Ferreira
Pós-Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2021

Dedico este trabalho aos meus avós e à minha mãe,
como fruto do reconhecimento de todo o empenho
em busca da minha formação profissional.

RESUMO

A metodologia *Six Sigma* se caracteriza como uma ferramenta potente para a redução de variabilidade dos processos e dos produtos. Com base no emprego do método DMAIC, os projetos de *Six Sigma* viabilizam o gerenciamento dos problemas e a proposição de soluções de forma estruturada. Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi adotado o método da pesquisa-ação por meio da execução do Ciclo DMAIC em busca da melhoria de estabilidade de coeficiente de atrito nas faces do poliéster e do polietileno de uma linha de embalagens laminadas para Café. Na primeira etapa, se efetuou a revisão teórica dos conceitos vinculados ao *Six Sigma* e ao DMAIC. Na segunda etapa, foram aplicadas as cinco fases do Ciclo DMAIC para compreensão, planejamento e resolução das causas primordiais relacionadas à instabilidade de coeficiente de atrito, em que a meta central foi a de eliminar as reclamações e devoluções relacionadas ao fato citado. Na terceira etapa, foram elencados os resultados obtidos e pontuadas as oportunidades de melhoria futuras. Considera-se que o projeto foi bem-sucedido, pois houve atendimento da meta central e dos resultados financeiros esperados com base em um monitoramento de dez meses de fornecimento contínuo. O cenário anterior à implementação do projeto demonstrava que as características em estudo críticas para a qualidade constavam fora de controle estatístico. Após a aplicação do DMAIC, houve evolução significativa de estabilidade e ambas as características estiveram sob controle estatístico. Também há destaque para o resultado do índice de capacidade de processo em 2,75 e para o alcance de um nível superior a seis sigma na análise do coeficiente de atrito na face do poliéster. Em decorrência da melhoria de qualidade, houve aumento da satisfação do cliente e foi possível alavancar os volumes médios faturados na linha de produtos em 96 por cento.

Palavras-chave: DMAIC; Seis Sigma; coeficiente de atrito; melhoria de processos; embalagens laminadas.

ABSTRACT

The Six Sigma methodology is characterized as a powerful tool to reduce the variability of processes and products. Based on the application of the DMAIC method, Six Sigma projects make it possible to manage problems and propose solutions in a structured way. For the development of this study, the action research method was adopted through the execution of the DMAIC cycle in order to improve the stability of the coefficient of friction on the polyester and polyethylene faces of laminated coffee packages. In the first stage, a theoretical review of the concepts linked to Six Sigma and DMAIC was carried out. In the second stage, the five phases of the DMAIC Cycle were applied for understanding, planning and solving the root causes related to coefficient of friction instability, in which the main goal was to eliminate complaints and returns related to the problem under study. In the third stage, the results obtained and the opportunities for future improvement were listed. The project was considered successful as the main goal and the expected financial results were achieved based on a ten-month monitoring of continuous supply. The scenario prior to the implementation of this project demonstrated that the characteristics under study that were critical for quality were beyond statistical control. After the application of DMAIC cycle, there was a significant evolution of stability and both characteristics were under statistical control. The result of the process capability index at 2.75 and the achievement of a level higher than Six Sigma in the analysis of the coefficient of friction on the polyester face are also worth to mention. As a result of the quality improvement, there was an increase in customer satisfaction and it was possible to leverage the average volumes invoiced in the product line by 96 percent.

Keywords: DMAIC; Six Sigma; coefficient of friction; process improvement; laminated packages.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curva normal típica.....	13
Figura 2 - Tabela da escala Sigma e suas respectivas taxas.....	13
Figura 3 - Contribuições das metodologias para a melhoria de processos.....	14
Figura 4 - Exemplificação de carta de controle.....	19
Figura 5 - Tabela com constantes d2 e d3.....	20
Figura 6 - Interpretação do índice de capacidade do processo.....	21
Figura 7 - Exemplo de fluxograma de recebimento de matéria-prima.....	22
Figura 8 - Exemplificação de diagrama de causa e efeito.....	23
Figura 9 - Modelo de uma matriz de priorização.....	24
Figura 10 - Classificação de risco de acordo com probabilidade e impacto.....	26
Figura 11 - <i>Project Charter</i>	30
Figura 12 - Mapa de raciocínio.....	31
Figura 13 - Diagrama SIPOC.....	32
Figura 14 - Plano para coleta de dados.....	33
Figura 15 - Reclamações do cliente por coeficiente de atrito no ano de 2020.....	33
Figura 16 - Devoluções do cliente por coeficiente de atrito no ano de 2020.....	34
Figura 17 - Carta de Controle X-MR para COF na interface do poliéster.....	35
Figura 18 - Gráfico de amplitude móvel para COF na interface do poliéster.....	35
Figura 19 - Carta de Controle X-MR para COF na interface do polietileno.....	35
Figura 20 - Gráfico de amplitude móvel para COF na interface do polietileno.....	36
Figura 21 - Fluxograma do processo de laminação.....	37
Figura 22 - Diagrama de causa e efeito.....	38
Figura 23 - Matriz de priorização de causas.....	38
Figura 24 - Análise de 5 Porquês.....	39
Figura 25 - Plano de ação via 5W2H.....	40
Figura 26 - Análise de risco das soluções primordiais.....	41
Figura 27 - X-MR para COF na interface do poliéster após melhorias.....	41
Figura 28 - MR para COF na interface do poliéster após melhorias.....	42
Figura 29 - X-MR para COF na interface do polietileno após melhorias.....	42
Figura 30 - MR para COF na interface do polietileno após melhorias.....	43
Figura 31 - Reclamações do cliente por coeficiente de atrito no ano de 2021.....	43
Figura 32 - Devoluções do cliente por coeficiente de atrito no ano de 2021.....	44

Figura 33 - Lista de treinamentos realizados.....	44
Figura 34 - <i>Out of Control Action Plan</i>	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	10
1.2	Justificativa	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	<i>Lean Manufacturing</i>	11
2.2	<i>Six Sigma</i>	11
2.3	<i>Lean Six Sigma</i>	14
2.4	Ciclo DMAIC	15
2.4.1	Etapa D: <i>Define</i> (Definir)	15
2.4.2	Etapa M: <i>Measure</i> (Medir).....	17
2.4.3	Etapa A: <i>Analyze</i> (Analisar).....	21
2.4.4	Etapa I: <i>Improve</i> (Melhorar).....	25
2.4.5	Etapa C: <i>Control</i> (Controle)	26
3	MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA	29
4	DESENVOLVIMENTO	30
4.1	Definir	30
4.2	Medir	33
4.3	Analisar	36
4.4	Melhorar	39
4.5	Controle	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
6	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1 INTRODUÇÃO

No contexto corporativo atual, há uma busca incessante pela redução de desperdícios e de seus custos relacionados, de modo que seja alcançada e sustentada uma boa saúde financeira. Como parte das ferramentas para se atingir uma gestão enxuta, a aplicação da metodologia *Six Sigma* possibilita a melhoria da capacidade dos processos que agregam valor para as companhias e, por consequência, possui potencial para impactar diretamente na redução do desperdício de produção de itens defeituosos.

Os custos da qualidade representam os custos que não deveriam existir caso o produto estivesse perfeito da primeira vez, segundo Juran (1992). O autor enuncia que os custos da qualidade estão relacionados às falhas na produção que geram retrabalho, desperdícios e reduções de produtividade. Diante disso, a ausência de aplicação de programas que elevem e mantenham altos níveis de qualidade proporciona grandes riscos para a gestão das organizações frente a um ambiente extremamente competitivo.

De acordo com Campos (2003), os expressivos resultados promovidos a partir da aplicação do *Six Sigma* em grandes multinacionais tornaram a metodologia um destaque perante o cenário internacional e possibilitaram que a cultura se consolidasse dentre o conjunto de ferramentas de qualidade. No Brasil, o programa também se difunde progressivamente ao decorrer das últimas décadas.

Com base no emprego do método DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*), os projetos de *Six Sigma* são concebidos para melhorias de produtos e processos de maneira estruturada e disciplinada em busca da entrega de metas estratégicas acordadas com a alta gestão das organizações (WERKEMA, 2021).

A seleção do tema para o projeto *Six Sigma* em questão se baseou na relação de reclamações e de devoluções recebidas na empresa envolvida no estudo. Para a linha de embalagens sob análise, o coeficiente de atrito se caracteriza como a característica de mais alto grau de relevância para o bom desempenho da embalagem na linha de envase de Café. Logo, a existência de não-conformidades relacionadas ao tema prejudica significativamente os indicadores de produtividade da linha de envase e, por consequência, impacta diretamente na satisfação do cliente do segmento de café com a empresa fornecedora de embalagem.

Como pergunta de partida para a execução do ciclo DMAIC, se definiu: quais são as causas fundamentais para a instabilidade do coeficiente de atrito na linha de embalagens flexíveis laminadas sob estudo e quais são as soluções propostas para resolução do problema?

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é o de implementar a metodologia *Six Sigma* por meio da aplicação do Ciclo DMAIC em um processo de fabricação de embalagens flexíveis.

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Estabelecer um referencial teórico sobre o tema;
- Analisar o processo de fabricação por meio do Ciclo DMAIC;
- Aplicar a análise de métricas do *Lean Six Sigma* para estudo da característica de coeficiente de atrito no processo de fabricação de embalagens laminadas;
- Avaliar os resultados coletados por meio da aplicação do ciclo DMAIC e apresentar oportunidades de melhoria para o processo em questão.

1.2 Justificativa

Atualmente, há uma expansão contínua da aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* no contexto industrial em busca de redução de variabilidade dos processos e dos produtos. A partir da incorporação das ferramentas do sistema de gestão consolidado *Lean Manufacturing* à cultura *Six Sigma*, as organizações buscam eliminar desperdícios, simplificar e dar mais velocidade aos processos, eliminar a variação e tornar os processos melhores (WERKEMA, 2021).

Por meio da aplicação da metodologia DMAIC, os projetos *Six Sigma* são gerenciados de forma estruturada e promovem a redução de custos, a otimização dos produtos e dos processos e o aumento do grau de satisfação dos clientes e consumidores envolvidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Lean Manufacturing*

O *Lean Manufacturing* se caracteriza como uma iniciativa de busca de desperdícios, isto é, da exclusão de atividades que não agregam valor para o cliente. O sistema de gestão se fundamenta no Sistema Toyota de Produção, também referido como produção *Just-In-Time*.

Em meados da década de 1950 no Japão, o executivo da Toyota Taiichi Ohno iniciou a criação e implementação de um sistema de produção que focaliza primeiramente na identificação dos desperdícios e, em sequência, na eliminação dos desperdícios. Tendo em vista que o cerne do Sistema Toyota de Produção é o de buscar produzir cada vez mais com cada vez menos foi denominado como Produção Enxuta (*Lean Production* ou *Lean Manufacturing*) pelos pesquisadores James P. Womack e Daniel T. Jones do *Massachusetts Institute of Technology* no livro *A Máquina que Mudou o Mundo* (WERKEMA, 2011).

Haja vista que o foco principal do Pensamento *Lean* é o da eliminação de desperdícios em todas as etapas e em todos os níveis de processo, foram elencadas sete grandes grupos que possuem o potencial de geração de desperdício a partir de um trabalho conjunto entre Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, consultor da Toyota no período de Ohno. São eles: superprodução, transporte, processamento, estoque, movimento, tempo de espera e de defeitos (RODRIGUES, 2016).

2.2 *Six Sigma*

O *Six Sigma* é uma estratégia gerencial que possui como finalidade o aumento significativo de desempenho e lucratividade das organizações, fundamentado na melhoria de qualidade de produtos e de processos a partir da redução de variabilidade e, por conseguinte, no aumento da satisfação de clientes (WERKEMA, 2011).

Segundo Campos (2003), a estratégia foi desenvolvida em 1986 pelo Engenheiro Bill Smith, membro da Divisão de Comunicações da Motorola dos Estados Unidos da América, em busca da resolução do aumento crescente de reclamações relacionadas a defeitos nos produtos dentro do período de garantia oferecido pela Motorola. Esta metodologia otimizou o alinhamento dos processos aos requisitos dos

clientes, na mensuração e na melhoria de *performance* dos processos críticos, de modo que foi possível triplicar a produtividade e alcançar economias de cerca de 11 bilhões de dólares até 1997. O trabalho também foi premiado em 1988 no *Malcom Baldrige National Quality Award* - Prêmio Nacional da Qualidade dos EUA. Com isto, o *Six Sigma* ganhou destaque como sendo o programa responsável pelo grande sucesso da Motorola.

Ainda de acordo com Campos (2003), após este marco, outras grandes empresas como a Asea Brown Boveri, a AlliedSignal (atualmente, Honeywell), a General Electric (GE), Kodak e a Sony também iniciaram a aplicação do programa e comunicaram ganhos expressivos, que geraram um interesse mundial ainda maior pela metodologia. Há destaque para a aplicação da ferramenta na GE, na qual o CEO Jack Welch divulgou altos resultados financeiros, como por exemplo ganhos de 1.5 bilhão de dólares em 1999, graças à implementação das ferramentas do *Six Sigma* e reforçou ainda mais a relevância da aplicação no cenário mundial.

De acordo com Pande, Neuman e Cavanagh (2001), a metodologia *Six Sigma* representa muito mais do que a aplicação das ferramentas estatísticas, mas também se caracteriza por uma mudança cultural em busca de melhorias sustentáveis, conforme apontado na definição a seguir:

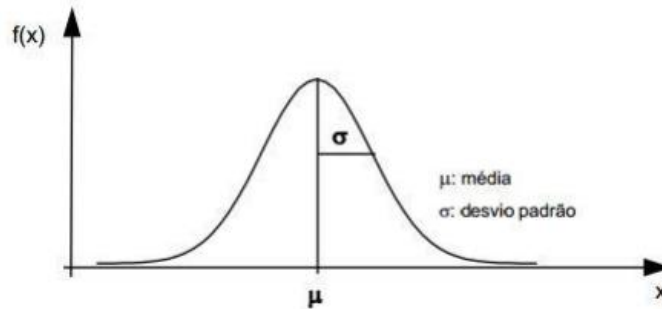
SEIS SIGMA: Um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial. Seis Sigma é singularmente impulsionado por uma estreita compreensão das necessidades dos clientes, pelo uso disciplinado de fatos, dados e análise estatística e a atenção diligente à gestão, melhoria e reinvenção dos processos de negócios. (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001, p. 11).

O *Six Sigma* focaliza nos objetivos estratégicos da organização e enuncia que todas as áreas funcionais críticas para a manutenção e sucesso futuros devem possuir metas de melhorias fundamentadas em métricas que sejam quantificáveis e que serão alcançadas com base na execução de projetos planejados. A liderança destes projetos compete aos especialistas de *Six Sigma* (*Black Belts* ou *Green Belts*) com base nos métodos de DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*) para melhoria de produtos e processos existentes e de DMADV (*Define, Measure, Analyze, Design, Verify*) para concepção de novos produtos e processos (WERKEMA, 2021).

Sob a ótica estatística, o sigma pode ser compreendido como uma medida da dispersão dos dados de um processo com relação à sua média aritmética (μ) e

representa o desvio-padrão por meio da letra grega sigma (σ), conforme disposto na Figura 1 (CORREA, 2003):

Figura 1 - Curva normal típica



Fonte: CORREA (2003, p.88).

Werkema (2002) *apud* Trad *et al.* (2009) aponta que se o valor do desvio-padrão de um processo é alto, há uma baixa uniformidade do processo e há uma alta variação entre os resultados obtidos, ao passo que se o valor do desvio-padrão de um processo é baixo, há uma alta uniformidade do processo e uma baixa variação entre os valores resultantes do processo. Quanto menor os resultados de desvio-padrão, melhor será o desempenho apresentado pelo processo. A possibilidade de erros ou falhas será cada vez menor na medida em que há mais margem entre a variação do processo e os seus limites de especificação.

Em seguida, na Figura 2 se apresenta a tabela que demonstra as taxas de erro, taxas de acerto e DPMO (Defeitos Por Milhão de Oportunidades) de acordo com a numeração da Escala Sigma. Os requisitos do cliente somado às características do segmento apontarão qual deverá ser o nível sigma desejado para o processo sob estudo.

Figura 2 - Tabela da escala Sigma e suas respectivas taxas

Taxa de Acerto (%)	Taxa de Erro (%)	Defeitos Por Milhão de Oportunidades (DPMO)	Escala Sigma
30,9	69,1	691.462	1,0
69,1	30,9	308.538	2,0
93,3	6,7	66.807	3,0
99,38	0,62	6.210	4,0
99,977	0,023	233	5,0
99,99966	0,00034	3,4	6,0

Fonte: Trad (2009, p. 650).

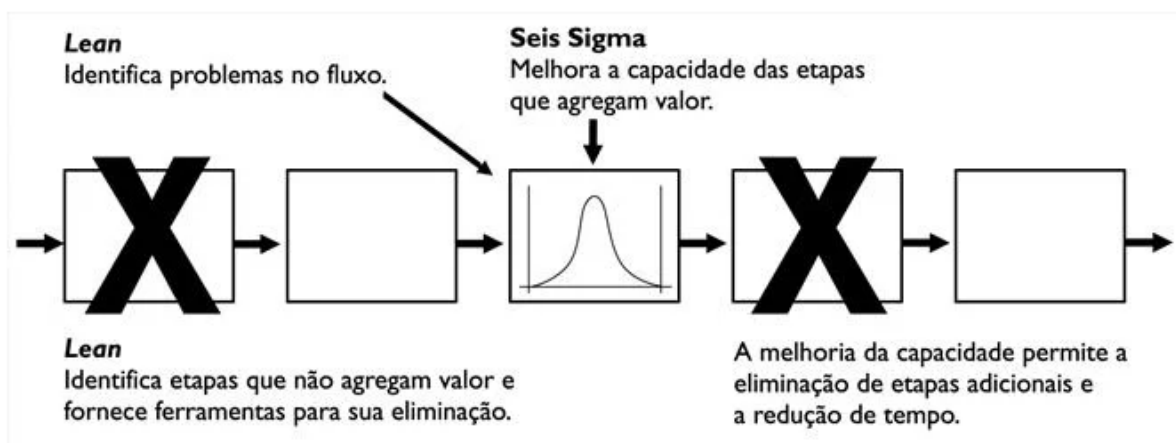
Conforme Werkema (2021), este nível de qualidade também pode ser traduzido para a linguagem financeira. Em um nível de três sigma, o custo da não-qualidade representará cerca de 25 a 40% do faturamento da empresa, ao passo que caso seja atingido o nível seis sigma de forma plena os custos da não-qualidade corresponderão a um valor inferior a 1% do faturamento da empresa.

Para que a aplicação do *Six Sigma* atinja seu nível de sucesso, deverão existir métricas que demonstrem o impacto direto do programa na lucratividade da empresa, um distinto comprometimento da alta gestão da organização e a execução do programa por meio de métodos estruturados para obtenção e manutenção das metas (WERKEMA, 2021).

2.3 Lean Six Sigma

Segundo Werkema (2011), o *Lean Manufacturing* e o *Six Sigma* se complementam para o planejamento, execução e manutenção de melhorias de processos. O sistema de gestão enxuta não possui por si só uma metodologia estruturada e detalhada de resolução de problemas fundamentada em ferramentas estatísticas para redução da variabilidade – cunho central da metodologia *Six Sigma*. Por sua vez, o *Six Sigma* não focaliza na melhoria de velocidade dos processos e na redução de *lead-time*. Ao passo que estas duas últimas frentes se tratam do cerne do *Lean Manufacturing*, conforme esquemático apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Contribuições das metodologias para a melhoria de processos



Fonte: WERKEMA (2011, p. 23).

O *Lean Six Sigma* é o programa mais abrangente e poderoso que resulta do complemento entre o *Six Sigma* e o *Lean Manufacturing* a partir da junção das forças de cada uma das metodologias, que se mostra funcional para a solução e busca de melhorias para todos os tipos de problemas em processos e produtos (WERKEMA, 2011).

Werkema (2021) também pontua que, a partir da implementação da cultura *Lean*, se elimina o desperdício e se alcança a simplicidade, tornando os processos mais rápidos. Com base na aplicação do *Six Sigma*, se elimina a variação e se gerencia a complexidade, tornando os processos melhores. O resultado da soma das aplicações é o de processos mais baratos com melhor desempenho. Em busca da proposição de um método holístico de melhorias, a junção dos dois programas possibilita a incorporação das ferramentas do *Lean Manufacturing* às etapas do Ciclo DMAIC, com destaque para fases de *Improve* (Melhoria) e *Control* (Controle).

2.4 Ciclo DMAIC

Dentre as diversas ferramentas que podem ser consideradas como metodologias para melhoria de qualidade, há duas principais utilizadas no conceito *Six Sigma*: DMAIC e DMADV. De acordo com Jones (2010), a metodologia DMAIC é baseada no processo de melhoria estabelecido no Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check e Act*) de Deming. A seguir estão descritas as etapas envolvidas no Ciclo DMAIC, que se constitui como um acrônimo das palavras *Define, Measure, Analyze, Improve e Control* (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar):

2.4.1 Etapa D: *Define* (Definir)

De acordo com Werkema (2021), na primeira etapa do ciclo, a meta e o escopo do projeto deverão ser definidos de forma clara a partir do *Business Case*. As seguintes questões devem ser respondidas ao decorrer desta etapa:

- Qual é o problema - resultado indesejado ou oportunidade levantada - que será avaliado no projeto?
- Qual é a meta a ser alcançada?
- Quais são os clientes que são impactados pelo problema?
- Quais são os processos envolvidos?

- Qual é o impacto financeiro do projeto?

Para registro dos levantamentos iniciais do projeto, se recomenda a elaboração de um *Project Charter*, que contemple:

- Descrição do problema de forma clara e detalhada, de modo que sejam apontados qual é o problema, quais são as métricas e indicadores envolvidos, qual é a diferença entre o valor atual e o valor alvo, onde e quando o problema se manifesta, quais são os impactos e ganhos financeiros resultantes da solução do problema.
- Definição da meta na qual conste o objetivo relacionado ao problema ou oportunidade, um valor e um prazo;
- Avaliação do histórico do problema: levantamento de dados históricos que ofereçam suporte para a compreensão do problema;
- Apresentação de possíveis restrições e suposições associadas ao desenvolvimento do projeto;
- Definição dos membros da equipe de trabalho, de suas responsabilidades e da logística da equipe;
- Definição do cronograma preliminar do projeto e das grandes marcas envolvidas na conclusão de cada etapa (*milestones*).

Durante a etapa de definição, o Mapa de Raciocínio deve ser iniciado e, ao decorrer do projeto, o mapa deverá ser constantemente atualizado. Esta ferramenta consiste na documentação progressiva da linha de pensamento adotada durante o giro completo do Ciclo DMAIC. Nele, devem estar registradas a meta inicial do projeto, os questionamentos que devem ser respondidos durante o desenvolvimento do projeto, o que foi feito para responder as questões e quais são as respostas das questões.

Nesta etapa, também devem ser identificados os principais clientes do projeto e deve ser incorporado o conjunto de dados que representam as necessidades e expectativas dos clientes. Este conjunto é denominado Voz do Cliente (*Voice of the Customer* ou *VOC*) e pode estar fundamentado em reclamações, resultados de grupos-focais ou resposta a pesquisas, dentre outros. Baseado na Voz do Cliente, se identificam as Características Críticas para a Qualidade (*Critical to Quality* ou *CTQs*).

O problema central do projeto deve estar relacionado aos CTQs do produto ou processo.

Como parte da primeira etapa do ciclo, também se recomenda a utilização do diagrama SIPOC, que possui como finalidade relatar o principal processo envolvido no projeto de forma visual. O acrônimo SIPOC, em inglês, provém dos cinco elementos que compõem o diagrama: Fornecedores (*Suppliers*), Insumos (*Inputs*), Processo (*Process*), Produtos (*Outputs*) e Consumidores (*Customers*).

2.4.2 Etapa M: *Measure* (Medir)

Na segunda etapa do ciclo, é necessário descrever quais são os resultados que devem ser mensurados para que sejam obtidos dados úteis ao foco do problema e quais são os focos prioritários para tratativa do problema. Segundo Lynch e Cloutier (2003), esta fase é constituída por atividades vinculadas à mensuração do desempenho do processo e da determinação de suas variabilidades.

Werkema (2021) propõe que sejam respondidas as questões listadas abaixo na fase de Medir:

- De que forma o problema pode ser estratificado?
- Os dados históricos são confiáveis para estratificação do problema? De que forma foram coletados?
- Caso não haja disponibilidade de dados históricos, de que forma os novos dados serão coletados?
- Qual ou quais são os focos do problema?
- Qual é o comportamento dos focos ao decorrer do tempo?
- Quais são as metas específicas para os focos do problema?
- O alcance das metas específicas será suficiente para atingir a meta geral?
- As metas específicas são parte da área de atuação do time?

Os dados se caracterizam como o ponto de partida para execução da etapa de *Measure*. Contudo, antes da coleta de novos dados ou avaliação dos dados disponíveis, deverá ser identificado o método para estratificação. Esta etapa consiste na observação do problema sob diferentes ângulos em busca de se centralizar no problema. A partir disto, deve ser aplicado o Plano para Coleta de Dados, que se

traduz como uma ferramenta de 5W1H (*What, Why, Where, When, Who e How*) para o processo de coleta de dados. Neste plano, devem estar relacionados: o que medir, qual é o tipo da medida, qual é o tipo de dado, como é definido operacionalmente, de que forma será construída a folha de verificação utilizada e qual será o método de amostragem.

Ainda antes de iniciar a coleta dos dados, é importante que seja realizada a preparação e os testes dos sistemas de medição e inspeção a serem utilizados por meio de ferramentas que possibilitem quantificar o grau de exatidão dos dados analisados com o emprego dos sistemas de medição e inspeção da organização.

Nesse campo, o Teste de Hipóteses pode ser empregado. Para tanto, se inicia com a suposição de uma variável aleatória x com média desconhecida μ e variância conhecida σ^2 e se deseja testar a hipótese de que a média é igual a um valor nominal μ_0 . A formulação da hipótese nula H_0 e da hipótese alternativa H_1 pode ser estabelecida como indicado nas Equações 1 e 2:

$$H_0: \mu = \mu_0 \quad (1)$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0 \quad (2)$$

O procedimento para execução do teste dessa hipótese é o de se tomar uma amostra aleatória com n observações da variável aleatória x . A partir disso, se calcula a estatística do teste Z de uma amostra a partir da Equação 3:

$$Z_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (3)$$

A hipótese H_0 será rejeitada se $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$, no qual $Z_{\alpha/2}$ é o ponto da distribuição normal padrão correspondente à porcentagem superior do nível de significância dividido por dois ($\alpha/2$) (MONTGOMERY, 2017).

Isto posto, os dados deverão ser coletados e estratificados de acordo com o plano previamente estabelecido e, em sequência, analisados por meio da construção de diagramas que facilitem a visualização e a priorização dos componentes envolvidos pelo problema. Os conhecimentos desejados para que a meta seja atingida também serão adquiridos a partir do estudo das variações associadas aos problemas prioritários. Este estudo pode ser realizado com base na elaboração de Histogramas, no emprego das ferramentas de Índices de Capacidade e Métricas do *Lean Six Sigma* e na aplicação de Cartas de Controle, dentre outras ferramentas (WERKEMA, 2021).

Para avaliação da estabilidade dos processos, são utilizadas as Cartas de Controle. De acordo com Wadsworth (1998), gráficos de controle são representações gráficas da variação de uma determinada estatística que está em produção pelo determinado processo. A Figura 4 a seguir apresenta uma ilustração de uma carta de controle, com a indicação do limite superior de controle (LSC) e do limite inferior de controle (LIC):

Figura 4 - Exemplificação de carta de controle



Fonte: MONTGOMERY (2017, p. 174).

Segundo Montgomery (2017), o gráfico de controle de Shewhart para medidas individuais (X-MR) se torna útil nos casos em que não há base para formação de subgrupos devido às características do processo. Se x_1, x_2, \dots, x_n constituem uma amostra de tamanho n , a amplitude móvel (MR_i) de duas observações consecutivas (x_i e x_{i-1}) é usualmente utilizada para estimar a variabilidade do processo segundo a Equação 4:

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \quad (4)$$

Para o gráfico de controle das medidas individuais, são utilizadas as Equações 5, 6 e 7 abaixo para o cálculo do LSC e do LIC do gráfico X-MR:

$$LSC_X = \bar{X} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (5)$$

$$LM_X = \bar{X} \quad (6)$$

$$LIC_X = \bar{X} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (7)$$

Neste t3pico, \bar{X} corresponde 3 a m3dia da amostra, \overline{MR} representa a m3dia da amplitude m3vel e d_2 corresponde 3 a constante tabelada na Figura 5 abaixo de acordo com o tamanho da amostra.

Figura 5 - Tabela com constantes d_2 e d_3

Observa33es na amostra, n	d_2	d_3
2	1,128	0,853
3	1,693	0,888
4	2,059	0,880
5	2,326	0,864

Fonte: Adaptado de Montgomery (2017, p. 525)

Para o gr3fico das amplitudes m3veis, os par3metros s3o calculados a partir das Equa33es 8, 9 e 10 subsequentes:

$$LSC_{MR} = \overline{MR} + 3d_3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (8)$$

$$LM_{MR} = \overline{MR} \quad (9)$$

$$LIC_{MR} = \overline{MR} - 3d_3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (10)$$

De acordo com Lins (1993), um processo se encontra sob controle estat3stico quando a maior parte das varia33es 3 muito pequena e varia33es grandes s3o extremamente raras. Caso o processo apresente um desvio sistem3tico ou varia33es fora de seus limites de controle, existir3 uma ou mais causas para essa ocorr3ncia, que devem ser consideradas causas especiais.

Ainda que um processo conste sob controle estat3stico, h3 a possibilidade de se produzir itens defeituosos. Em vista disso, 3 essencial avaliar tamb3m se o processo 3 capaz de atender 3s especifica33es estabelecidas de acordo com os requisitos dos clientes. Para tanto, se realiza a an3lise da capacidade do processo, que se constitui como a rela333o entre a variabilidade natural do processo e a variabilidade tolerada para o processo, dada pelos limites de especifica333o (GONÇALVES; WERNER, 2009).

Em busca da avalia333o da dist3ncia m3dia do processo em rela333o aos limites de especifica333o, Kane (1986) prop3s o c3lculo do 3ndice de capacidade C_{pk} apontado na Equa333o 11:

$$C_{pk} = \text{m3n}\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right) \quad (11)$$

O valor de LSE corresponde ao limite superior de especificação, LIE representa o limite inferior de especificação, μ equivale à média do processo e σ é o desvio-padrão do processo. O resultado de C_{pk} deve ser interpretado de acordo com os conceitos que constam na Figura 6.

Figura 6 - Interpretação do índice de capacidade do processo

C_{pk}	Conceito/Interpretação
Maior que 1,33	CAPAZ: Confiável
Entre 1,00 e 1,33	RELATIVAMENTE CAPAZ: Relativamente confiável
Entre 0,75 e 0,99	INCAPAZ: Pouco confiável
Menor que 0,75	TOTALMENTE INCAPAZ: O processo não tem condição de atender às especificações ou padrões

Fonte: Adaptado de Toledo (2017, p. 280)

Por sua vez, o índice de capacidade Seis Sigma se constitui pela medição da distância da média à especificação mais próxima (LSE ou LIE) em quantidade de desvios padrões (sigmas) com base na distribuição normal reduzida (z), bem como estabelecido nas Equações 12 e 13 abaixo:

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \mu}{\sigma} \quad (12)$$

$$Z_{LIE} = \frac{LIE - \mu}{\sigma} \quad (13)$$

Este resultado caracteriza a capacidade a curto prazo, que é calculada com os próprios dados do processo (TOLEDO, 2017). O cálculo de nível sigma deve ser interpretado de acordo com a escala sigma previamente apresentada.

2.4.3 Etapa A: *Analyze* (Analisar)

Na terceira etapa do ciclo, são determinadas as causas principais dos problemas prioritários vinculados às metas estabelecidos na etapa de *Measure*. Para cada uma das causas, é necessário responder: por que o problema prioritário ocorre?

Durante a execução desta fase, também devem ser respondidas as perguntas abaixo, segundo Werkema (2021):

- Qual é o processo que gera o problema?
- Quais são as causas potenciais que possuem maior impacto na geração do problema?
- Há necessidade de se efetuar uma revisão do Mapa de Processo?
- Houve a priorização das causas potenciais?
- Houve a comprovação das causas potenciais?
- Quais são as causas fundamentais para ocorrência do problema?

Para determinar quais são as causas fundamentais, é necessário realizar primeiramente a análise do processo gerador do problema prioritário (*Process Door*). Nesta análise, há destaque para a utilização de ferramentas como o Fluxograma. O objetivo deste tipo de diagrama de processo é o de listar todas as fases envolvidas no processo de maneira simples em busca de uma rápida visualização e de fácil compreensão. Nele, constam símbolos padronizados e universalmente aceitos para cada fase de processo de acordo com Corrêa (2017), conforme exemplificado na Figura 7.

Figura 7 - Exemplo de fluxograma de recebimento de matéria-prima



Fonte: CORRÊA (2017, p. 153).

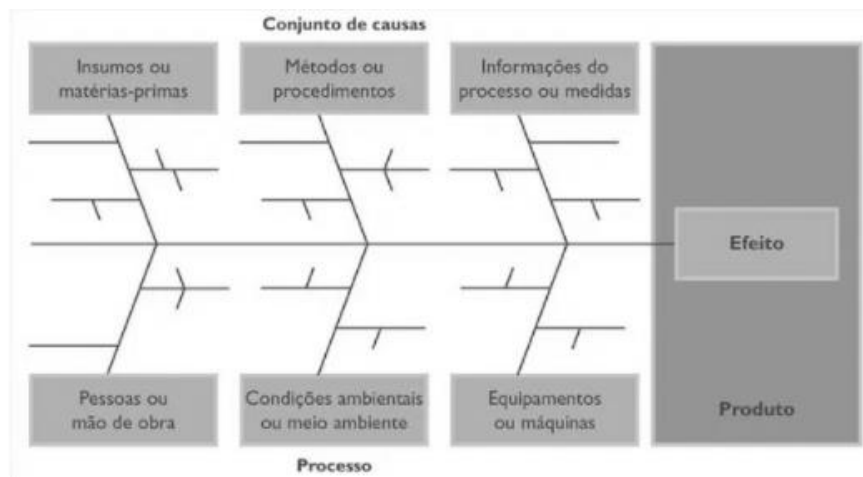
Em sequência, deverá ser efetuada a avaliação dos dados provenientes do problema prioritário e do processo gerador, com a finalidade de se determinar quais são os fatores que provocam variações nos resultados vinculados ao problema e como as variações se manifestam.

Para listagem das causas que potencialmente geram o problema, se recomenda a utilização do *Brainstorming* (“tempestade de ideias”) (WERKEMA, 2021).

Segundo Paladini (2019), esta técnica propicia o aparecimento de todas as ideias possíveis, independentemente de seu conteúdo, validade, abrangência ou de sua viabilidade real. Para execução da técnica, a participação de todos deve ser incentivada, nenhuma das ideias deve ser criticada ou interpretada inicialmente, devem ser evitadas discussões paralelas durante a reunião e as ideias devem ser divulgadas a toda a equipe da forma como foram sugeridas.

As informações provenientes do *Brainstorming* devem ser organizadas de forma visual a partir da utilização de ferramentas como o Diagrama de Causa e Efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa, devido ao nome de seu criador - Kaoru Ishikawa. O diagrama se caracteriza por apresentar a relação existente entre o problema que deve ser solucionado (efeito) e os fatores (causas) do processo que podem ser responsáveis pela geração do problema, conforme disposto na Figura 8 a seguir. Além de agrupar as possíveis causas do problema, também se trata de um guia para compreensão das causas fundamentais e para a elaboração posterior do plano de ação.

Figura 8 - Exemplificação do diagrama de causa e efeito



Fonte: WERKEMA (2021, p. 23).

Ao finalizar esta etapa, caso exista um alto número de causas potenciais levantadas, se aplicada um Diagrama de Matriz ou uma Matriz de Priorização para que sejam elencadas as vozes que impactam significativamente na geração do problema (WERKEMA, 2021). Conforme indicado pelo próprio nome, a Matriz de Priorização relaciona os fatores a critérios de prioridade. É possível determinar

prioridades em busca da eliminação ou minimização de um problema (CARPINETTI, 2012). A Figura 9 a seguir demonstra uma ilustração da ferramenta.

Figura 9 - Modelo de uma matriz de priorização

		GRUPO B				Prioridade
		Critério 1	Critério 2	Critério 3	...	
Grupo A		peso 1	peso 2	peso 3	...	
	Fator 1					
	Fator 2					
	Fator 3					
	Fator 4					
	...					

Fonte: CARPINETTI (2012, p. 98).

A partir disto, a técnica de Cinco Porquês se torna útil para identificar a causa raiz do problema e não apenas quais são as fontes. Esta ferramenta é fundamentada na execução de cinco iterações, nas quais se questiona o porquê daquele problema a partir da causa anterior. O número de cinco perguntas é uma referência, pois de forma prática, a causa raiz de um problema pode ser constatada por meio da execução de mais de cinco perguntas ou de menos de cinco perguntas (SERRAT, 2009).

Por fim, recomenda-se que o grau de influência das causas levantadas seja quantificado a partir da aplicação das ferramentas mais adequadas para a determinada investigação. Dentre as ferramentas disponíveis, há: Avaliação de Sistemas de Medição e Inspeção, Cartas de Controle, Planejamento de Experimentos (*Design of Experiments* ou DOE), dentre outros (WERKEMA, 2021). O Planejamento de Experimentos (DOE) se constitui como um método para compreender como uma determinada resposta varia em função de uma ou mais variáveis independentes. Com base na resposta de uma matriz planejada de configurações-chaves, pode ser obtido um modelo matemático estatisticamente válido (MATHEWS, 2005).

Segundo Pande, Neumann e Cavanagh (2001), a etapa de análise se classifica como a mais importante do Ciclo DMAIC, haja vista que neste momento são avaliados os dados relacionados ao processo em estudo com o foco primordial em se determinar quais são as relações causais, as origens da variabilidade e do desempenho insatisfatório do processo.

2.4.4 Etapa I: *Improve* (Melhorar)

Na etapa de *Improve*, as soluções propostas devem ser implementadas em busca da eliminação, neutralização ou minimização dos efeitos da causa do problema segundo Eckes (2001). Após a modificação e a execução de testes no processo, são estabelecidos os prazos para a revisão dos procedimentos produtivos, de modo que as expectativas do cliente sejam atendidas.

Para tanto, Werkema (2021) elenca que as seguintes questões sejam respondidas durante a fase:

- Quais são as possíveis soluções para o problema?
- É necessário estabelecer uma priorização das soluções?
- Há algum risco envolvido nas soluções priorizadas?
- É necessário testar as soluções projetadas?
- De que forma os testes serão executados?
- Quais são os resultados dos testes executados?
- A partir de qual planejamento, as ações poderão ser implementadas em larga escala?
- A implementação das ações ocorreu segundo o planejado?
- As metas específicas foram alcançadas?

As propostas levantadas para eliminação das causas fundamentais devem ser revisadas e unidas para que sejam elencadas as soluções potenciais que promovam o atingimento da meta prioritária.

Em seguida, os riscos envolvidos nas soluções primordiais devem ser analisados e mitigados. Segundo os preceitos do COSO (2007) para a etapa de avaliação de risco, as seguintes variáveis devem ser consideradas: a probabilidade de ocorrência do evento que materialize o risco e o impacto que cada risco pode gerar, caso ocorra. Dessa forma, a incerteza potencial dos eventos, que se traduz como a característica específica do risco, é fundamentada nas perspectivas de probabilidade e de impacto. A Figura 10 a seguir apresenta uma ilustração da classificação dos riscos de acordo os dois critérios pontuados.

Figura 10 - Classificação de risco de acordo com probabilidade e impacto

Probabilidade	Alta	Médio	Alto	Alto
	Média	Baixo	Médio	Alto
	Baixa	Baixo	Baixo	Médio
		Leve	Médio	Grave
		Impacto		

Fonte: Autoria Própria (2021).

Os Testes na Operação referentes às soluções prioritárias se caracterizam como a próxima fase do *Improve*. Após a aplicação das adequações e melhorias, a equipe deverá compreender se as ações executadas tiveram o potencial suficiente para a entrega das metas do projeto e se não impactaram em outros efeitos indesejados. Caso esta avaliação, indique insuficiência ou falhas decorrentes do projeto, a equipe deverá retornar ao início da etapa de *Measure* em busca de um maior nível de profundidade da investigação. Caso a avaliação das soluções seja positiva, o projeto deverá ser sequenciado de modo que seja projetado um plano para tornar possível a implementação das soluções em larga escala. Nesta fase de planejamento, uma das ferramentas aplicáveis é a do 5W2H (WERKEMA, 2021).

A ferramenta 5W2H possibilita o planejamento das ações de forma simples e precisa. Segundo Bragança e Costa (2014), para cada problema (por que), uma proposta é desenvolvida (o que), com sugestões de formas para resolução do problema (como), baseado na identificação do responsável pela execução (quem), bem como dos lugares em que ocorrerá a implementação (onde) e do momento em que deverá ocorrer (quando).

2.4.5 Etapa C: *Control* (Controle)

O controle é essencial para que a capacidade do processo seja mantida e também para que sejam apontadas melhorias para o futuro. A partir da integração com as demais etapas do Ciclo DMAIC, na fase de controle são empregadas diversas ferramentas de qualidade em busca do alcance dos resultados esperados pela empresa (CARVALHO; ROTONDARO, 2005).

Durante a construção desta fase, Werkema (2021) pontua que os questionamentos abaixo deverão ser estudados:

- A meta global do projeto foi atingida?
- O retorno financeiro planejado foi alcançado?
- Houve a criação ou alteração de padrões para que os resultados sejam mantidos?
- Foi efetuado o treinamento das pessoas das áreas relacionadas à execução destes novos padrões?
- De que forma ocorrerá o monitoramento e acompanhamento das variáveis de processos? Quais são as variáveis?
- Quais são as lições aprendidas e quais são as recomendações do time?

Primeiramente, deverá ser avaliado se houve o alcance da meta em larga escala. Para tanto, poderão ser empregadas as ferramentas Avaliação de Sistemas de Medição e Inspeção, Gráfico de Pareto, Carta de Controle, Histograma, Índices de Capacidade e Métricas do *Lean Six Sigma*. Novamente, caso o projeto não tenha atingido o resultado esperado para esta fase, o time deverá retornar ao início da etapa de *Measure* em busca de um maior nível de profundidade da investigação.

Caso o projeto tenha atingido as expectativas, as adequações e melhorias efetuadas deverão ser devidamente padronizadas por meio do estabelecimento de procedimentos operacionais padrão. Nesta fase, também deverão ser agregados métodos que garantam a execução das atividades à prova de erro (*Mistake-Proofing* ou *Poka Yoke*). Deverá ocorrer a divulgação e o treinamento para execução destes novos procedimentos por meio da elaboração de manuais, realização de palestras e reuniões de trabalho (*On the Job Training – OJT*).

Ainda na fase de *Control*, deverá ser definido e aplicado um plano para monitoramento do desempenho do processo e do atingimento da meta. Esta etapa é fundamental para evitar a reincidência de problemas, especialmente relacionadas às falhas no cumprimento dos padrões. Também deverá ser concebido um plano para implementação de ações corretivas para caso ocorram desvios no processo. Para tanto, são indicados o emprego do Relatório de Anomalias e do OCAP (*Out of Control Action Plan*).

O OCAP é elaborado para fornecer ao operador orientações detalhadas para correção do processo. Nele, devem ser descritas quais ações serão tomadas caso uma regra de controle seja violada. Devem ser pontuados quais são os indivíduos responsáveis e qual será o escalonamento de cargos caso seja necessário (LITTLE, 2002).

Para finalização do Ciclo DMAIC, as atividades executadas deverão ser revistas em busca de uma reflexão sobre o direcionamento do projeto e para que sejam listados os pontos que não foram desdobrados no trabalho. Estes pontos deverão ser apresentados à gestão envolvida para que sejam avaliadas as oportunidades de condução de novos projetos. Também deverão ser elencadas as lições aprendidas e listadas quais são as recomendações para execução dos trabalhos futuros (WERKEMA, 2021).

3 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Quanto à natureza de pesquisa, é uma pesquisa predominantemente quantitativa, tendo em vista que é fundamentada em simulações estatísticas para a sua verificação. Segundo os autores Prodanov e Freitas (2013), o método de pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser quantificável e exige a tradução de opiniões e informações em números, de modo que seja possível classificá-las e analisá-las.

Quanto aos objetivos da pesquisa, é uma pesquisa descritiva, haja vista que se baseia na observação de dados e interpretação destes. Nesta metodologia de pesquisa, os fatos são registrados e descritos sem que haja interferência do observador, conforme apontado por Prodanov e Freitas (2013).

Quanto ao método da pesquisa, é uma pesquisa que se fundamenta no método de pesquisa-ação. Há três fases contempladas neste processo: o planejamento (*planning*), que se caracteriza pelo conhecimento e reconhecimento da situação; a ação (*action*) e o encontro de fatos (*fact-finding*) a partir dos resultados das ações, que devem ser agregados de forma cíclica ao planejamento e, assim, sucessivamente (LEWIS, 1946 *apud* TOLEDO; JACOBI, 2013).

As etapas da pesquisa foram estruturadas de acordo com os itens descritos a seguir. Na primeira etapa, foi elaborada uma fundamentação teórica acerca da metodologia *Six Sigma* e do Ciclo DMAIC. Na segunda etapa, o processo de fabricação envolvido foi analisado por meio do Ciclo DMAIC. Nessa análise, foram coletados dados e foi calculado o nível Sigma da característica de coeficiente de atrito no processo de produção de embalagens flexíveis laminadas para o segmento de Café. Por fim, na terceira etapa, foram analisados os resultados obtidos e foram propostas melhorias para o processo em estudo.

4 DESENVOLVIMENTO

Nas seções subsequentes, estão descritas as atividades e ferramentas aplicadas para execução do Ciclo DMAIC em busca da melhoria da estabilidade do coeficiente de atrito (COF) na linha de embalagens laminadas sob estudo.

4.1 Definir

Como requisito inicial para a fase de Definição, que consiste na primeira etapa do Ciclo, foi elaborado o *Project Charter*, conforme apresentado na Figura 11.

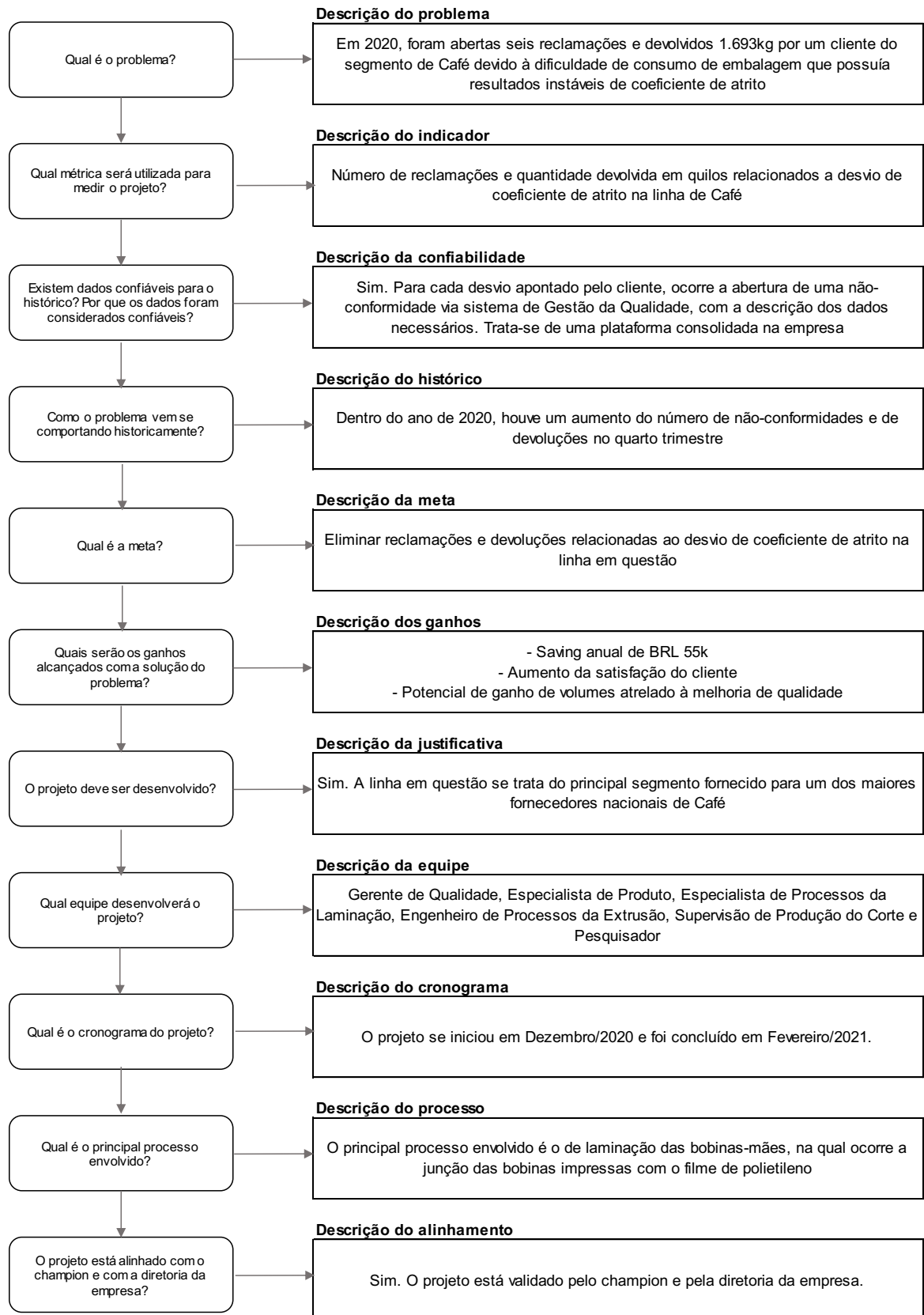
Figura 11 - Project Charter

Oportunidade de negócio:	
Redução de reclamações e de devoluções na linha de Café	
Objetivo:	
Melhoria do desempenho da embalagem na linha de envase de Café por meio da redução de desvios relacionados ao coeficiente de atrito	
Descrição do problema:	
Dificuldades de desempenho na linha de envase devido à instabilidade de coeficiente de atrito da estrutura	
Título do projeto:	
Aplicação do método DMAIC para melhoria da estabilidade do coeficiente de atrito em linha de embalagens laminadas para Café	
Indicador:	
Reclamações e Devoluções relacionadas à COF na linha de Café	
Meta:	Saving:
Eliminar reclamações relacionadas à instabilidade de COF na linha em questão	BRL 55k
Etapas do Projeto:	
Define: 01/12/2020 a 17/12/2020	Measure: 18/12/2021 a 04/01/2021
Analyze: 05/01/2021 a 20/01/2021	
Improve: 21/01/2021 a 05/02/2021	Control: 08/02/2021 a 26/02/2021
Equipe:	
Champion	Gerente de Qualidade
Líder	Especialista de Produto
Colaborador	Especialista de Processos - Laminação
Colaborador	Engenheiro de Processos - Extrusão
Colaborador	Supervisor de Produção - Corte
Colaborador	Pesquisador (R&D)

Fonte: Autoria própria (2021).

Em sequência, foi elaborado o mapa de raciocínio para construção da linha de pensamento a ser adotada no projeto, contido na Figura 12 a seguir.

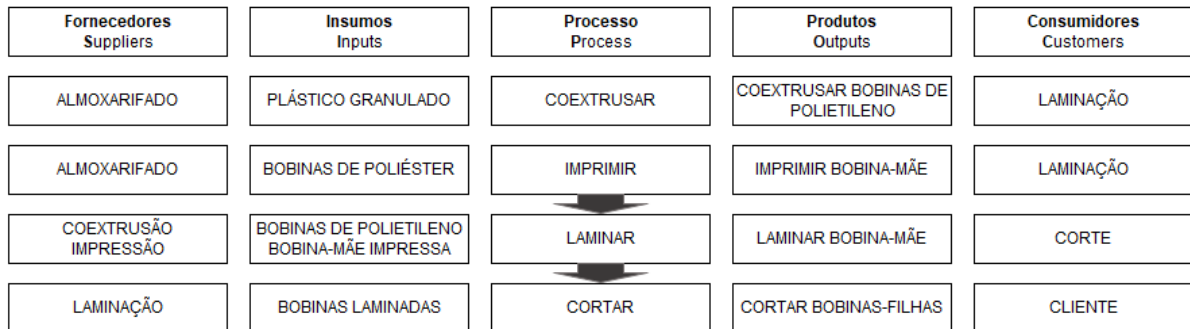
Figura 12 - Mapa de Raciocínio



Fonte: Autoria própria (2021).

Em busca de uma apresentação visual do principal processo envolvido no tema em análise, também foi elaborado o diagrama SIPOC, que consta na Figura 13 na sequência.

Figura 13 - Diagrama SIPOC



Fonte: Autoria própria (2021).

Neste diagrama, é possível visualizar quais são as principais entradas e saídas dos processos da linha sob estudo. As etapas de coextrusão e impressão podem ocorrer de forma simultânea, pois não possuem interdependência. O processo de coextrusão do filme de polietileno ocorre em uma máquina de três camadas. A impressão sobre o filme de poliéster transparente adquirido de fornecedor externo é efetuada em uma máquina de rotogravura. Para entrega desta estrutura, também se efetua a aquisição de filme de poliéster metalizado externamente. A junção entre os três substratos é efetuada em uma máquina laminadora por adesivo. Posteriormente, as bobinas-mães são enviadas para a etapa de corte em bobinas-filhas, na qual se efetua a adequação para o recebimento do material no cliente, no que compete às características de largura do material, diâmetro interno e diâmetro externo, acondicionamento em pallets, dentre outras especificações.

Conforme apontado na descrição do problema, houve o relato de reclamações e o encaminhamento de devoluções de embalagens que não apresentavam um bom desempenho na linha de envase do produto. Estes volumes promoviam dois tipos de comportamento na linha de envase: a superfície externa da embalagem patinava em contato com a rolaria e correias ou ocorria enrosco no tubo-formador do pacote a partir do contato com a superfície interna da embalagem. Estes dois comportamentos são característicos de coeficiente de atrito baixo na interface do poliéster e coeficiente de atrito alto na interface do polietileno, respectivamente. As análises laboratoriais das

amostras coletadas nas bobinas reprovadas ratificaram que a Voz do Cliente de fato poderia ser traduzida no CTQ de coeficiente de atrito, que representa o deslizamento de uma superfície em contato com outra superfície.

4.2 Medir

Para início da etapa de *Measure*, foi elaborado o Plano para Coleta de Dados. No plano apresentado na Figura 14, estão contidas as informações básicas relacionadas à extração dos dados necessários para a execução do Ciclo.

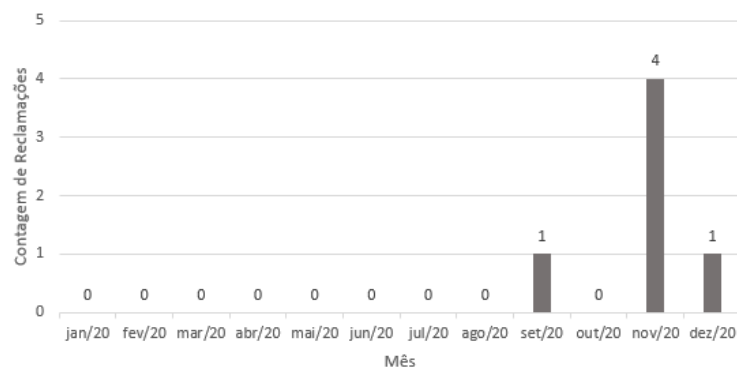
Figura 14 - Plano para coleta de dados

Indicador	Descrição	Forma de medição	Onde é medido?	Quem mede?	Com qual frequência?	Em que sistema será gerenciado?
Reclamações	Registros de não-conformidades externas por COF na linha de Café	Contagem	Relatório de Qualidade	Analista de Qualidade	Diária	Sistema de Gestão da Qualidade
Devoluções	Registros de devoluções por COF na linha de Café	Soma em quilos	Relatório de Qualidade	Analista de Qualidade	Diária	Sistema de Gestão da Qualidade
Nível sigma	Nível sigma do coeficiente de atrito da embalagem	Análise laboratorial	Controle de Qualidade	Especialista de Produto	Mensal	Plataforma de apontamentos de qualidade

Fonte: Autoria própria (2021).

O primeiro indicador sob estudo é o de reclamações do cliente por mês no ano de 2020. Na Figura 15, é possível visualizar que foram abertas seis reclamações entre os meses de setembro e dezembro de 2020.

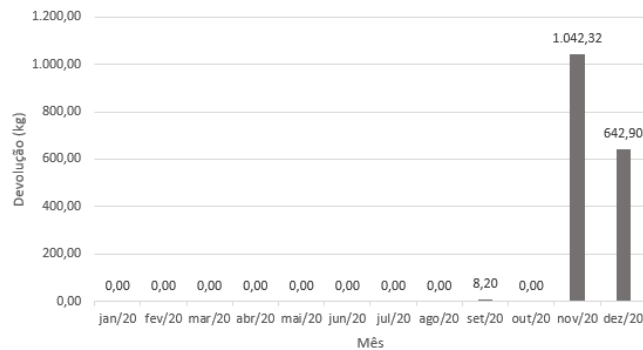
Figura 15 - Reclamações do cliente por coeficiente de atrito no ano de 2020



Fonte: Autoria própria (2021).

O segundo indicador sob análise é o de devoluções do cliente em quilos por mês no ano de 2020. A Figura 16 demonstra que houve a devolução de um volume de 1.693,42kg entre os meses de setembro e dezembro de 2020.

Figura 16 - Devoluções do cliente por coeficiente de atrito no ano de 2020



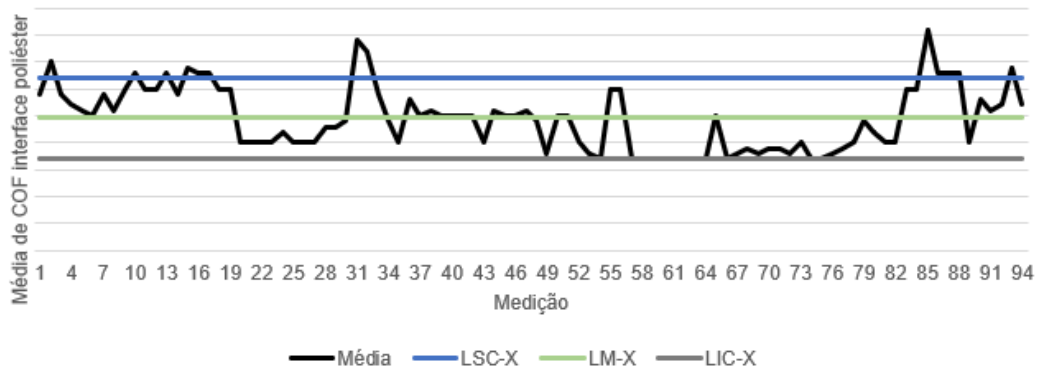
Fonte: Autoria própria (2021).

Para diagnosticar se o ensaio laboratorial possuía validade suficiente, foram efetuadas 24 análises em amostras aleatórias e comparadas à média do conjunto de dados apontados para esta estrutura na plataforma de qualidade. O *software* Minitab foi utilizado para emprego do teste Z de hipótese. Com base em um nível de confiança de 90%, a hipótese nula foi considerada verdadeira, tendo em vista que os p-valores encontrados foram superiores a 10%. Isso significa que houve correlação suficiente entre as medições aleatórias e a média histórica da característica apontada no sistema de qualidade e, portanto, o sistema de medição se demonstrou apto para uso. É válido também ressaltar que o equipamento utilizado para medição possui calibração regular e os colaboradores envolvidos nas análises possuem o devido treinamento.

Em sequência, foi empregada a carta de controle X-MR para análise da estabilidade do coeficiente de atrito ao longo do tempo nas produções de outubro e novembro de 2020. Foi selecionada esta carta de controle, pois as medições são tomadas individualmente e a produção ocorre em bateladas (bobinas), que tendem a ser homogêneas.

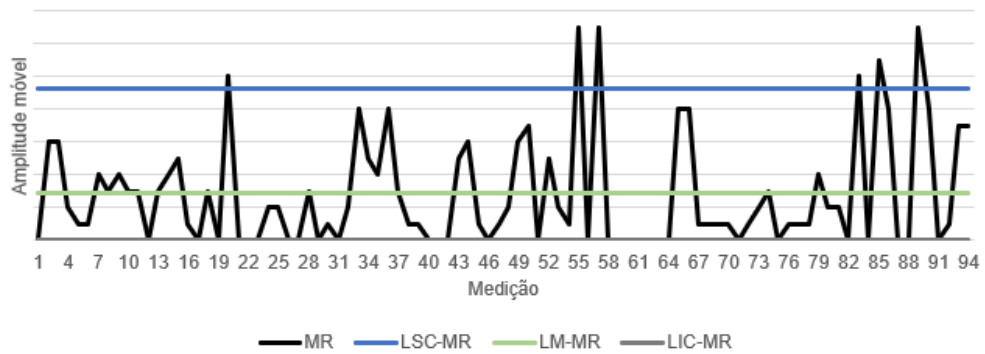
O tamanho da janela de amplitude móvel foi de $n = 2$ e, isto posto, as constantes tabeladas utilizadas foram de $d_2 = 1,128$ e $d_3 = 0,853$. Foram coletados 94 dados para cada uma das variáveis: coeficiente de atrito na interface do poliéster e coeficiente de atrito na interface do polietileno. Os gráficos de controle X-MR e os gráficos da amplitude móvel estão dispostos nas Figuras 17, 18, 19 e 20. Os eixos de todas as cartas de controle apresentadas neste estudo foram suprimidos, tendo em vista que as especificações são informações sigilosas da empresa envolvida.

Figura 17 - Carta de Controle X-MR para COF na interface do poliéster



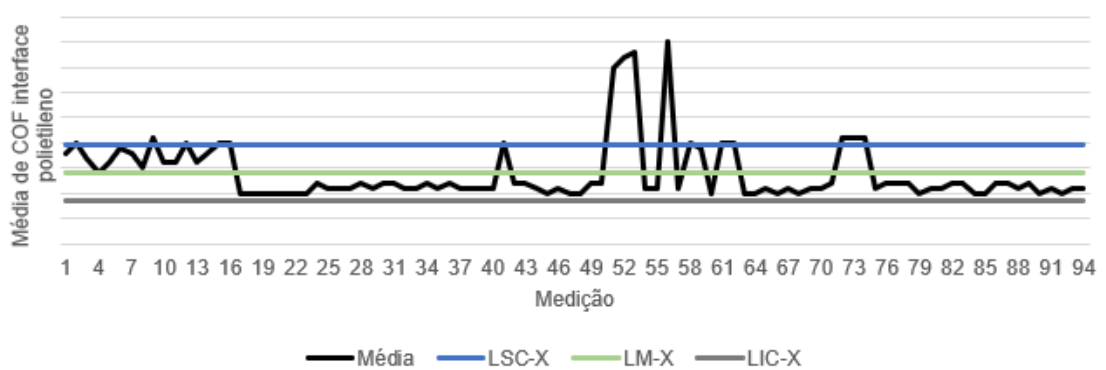
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 18 - Gráfico de amplitude móvel para COF na interface do poliéster



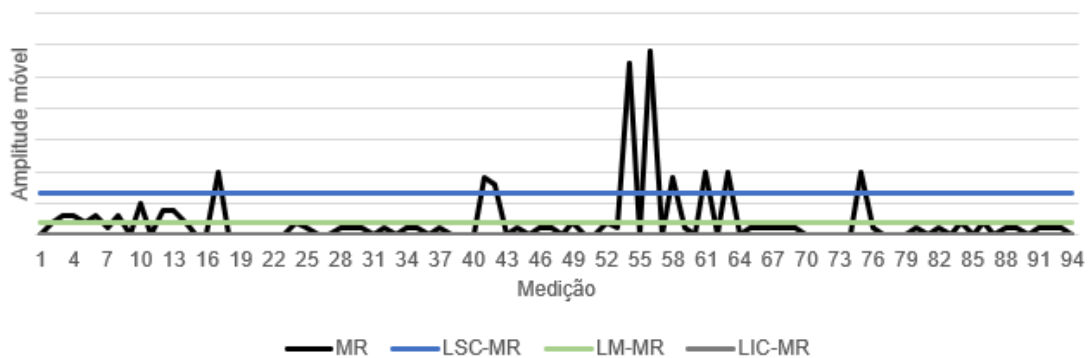
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 19 - Carta de Controle X-MR para COF na interface do polietileno



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 20 - Gráfico de amplitude móvel para COF na interface do polietileno



Fonte: Autoria própria (2021).

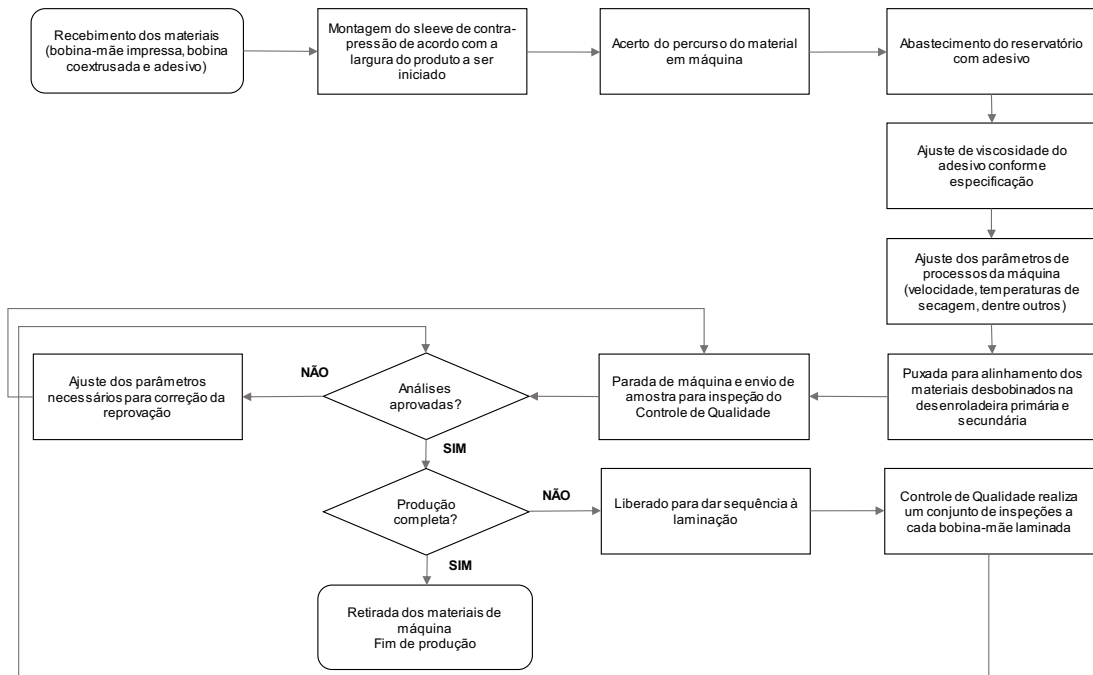
Em ambas as cartas X-MR, é possível visualizar que o processo esteve fora de controle em grande parte do tempo. Para análise de COF na interface do poliéster, foram observados 25 pontos fora de controle e, para a interface do polietileno, há 16 pontos fora de controle. Logo, os parâmetros do processo estimados não são confiáveis para obtenção dos limites de controle. Tendo em vista que o processo não possui estabilidade, o cálculo dos índices de capacidade e de nível sigma não se torna adequado.

4.3 Analisar

Para execução da terceira etapa do Ciclo DMAIC, se iniciou pela elaboração do fluxograma do principal processo envolvido na geração do problema: a laminação. A Figura 21 apresenta as etapas mais relevantes do processo.

No fluxograma, é possível observar que somente ocorre a liberação do início da produção a partir da aprovação das análises de qualidade e, caso ocorra alguma reprovação, a produção deve ser interrompida para atuação e correção imediata do desvio alertado.

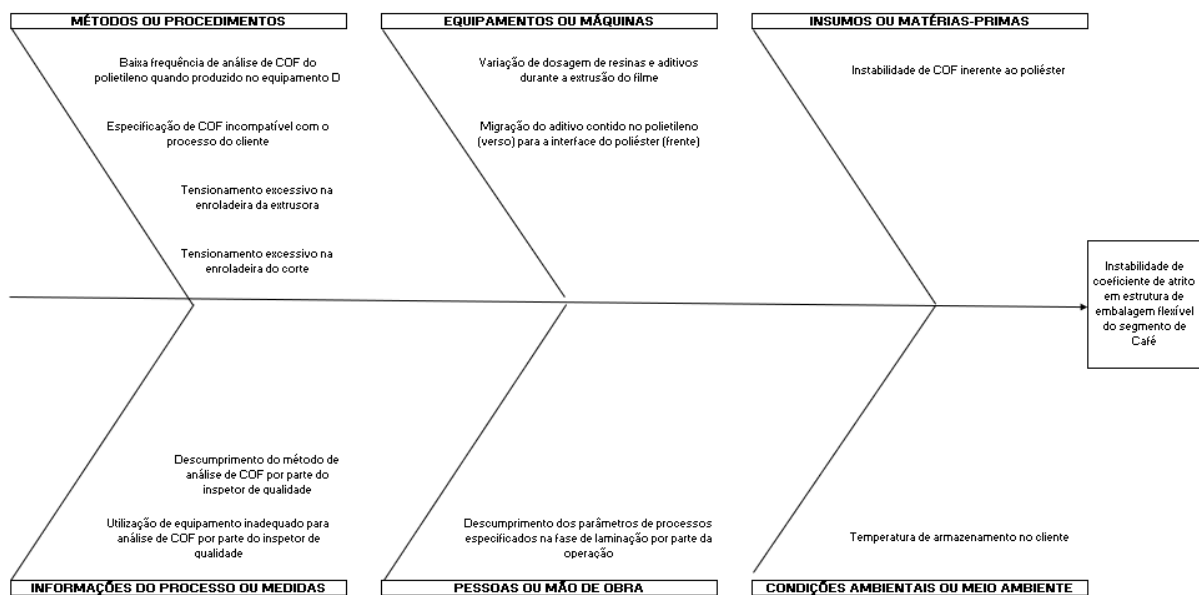
Figura 21 - Fluxograma do processo de laminação



Fonte: Autoria própria (2021).

Em sequência, a equipe do projeto foi reunida para realização de um *Brainstorming* das possíveis causas que poderiam gerar a instabilidade de coeficiente de atrito na estrutura em estudo. As vozes levantadas foram aplicadas a um Diagrama de causa e efeito, conforme consta na Figura 22.

Figura 22 - Diagrama de causa e efeito



Fonte: Autoria própria (2021).

Com o objetivo de priorizar as causas que seriam aprofundadas, foi estabelecida uma matriz de priorização, na qual os participantes do projeto aplicaram notas de acordo com a relevância da causa para explicação do efeito. Nesta matriz, os colaboradores poderiam aplicar duas notas “9” referentes à alta relevância, três notas “3” referentes à média relevância e seis notas “1” para baixa relevância. Os resultados da análise constam na Figura 23, ordenados a partir da maior nota para a menor nota.

Figura 23 - Matriz de priorização de causas

Pergunta	Participantes						Total
	Especialista de Produto	Especialista de Processos - Laminação	Engenheiro de Processos - Extrusão	Supervisor de Produção - Corte	Pesquisador - R&D		
Por que há instabilidade de coeficiente de atrito na estrutura?							
Migração do aditivo contido no polietileno (verso) para a interface do poliéster (frente)	9	9	9	3	3	33	
Tensionamento excessivo na enroladeira do corte	9	1	9	9	3	31	
Tensionamento excessivo na enroladeira da extrusora	3	9	3	1	9	25	
Variação de dosagem de resinas e aditivos durante a extrusão do filme	1	3	3	9	9	25	
Baixa frequência de análise de COF do polietileno quando produzido no equipamento D	3	3	1	1	3	11	
Especificação de COF incompatível com o processo do cliente	1	1	3	3	1	9	
Instabilidade de COF inerente ao poliéster	3	1	1	1	1	7	
Temperatura de armazenamento no cliente	1	1	1	3	1	7	
Utilização de equipamento inadequado para análise de COF por parte do inspetor de qualidade	1	3	1	1	1	7	
Descumprimento do método de análise de COF por parte do inspetor de qualidade	1	1	1	1	1	5	
Descumprimento dos parâmetros de processos especificados na fase de laminação por parte da operação	1	1	1	1	1	5	

Fonte: Autoria própria (2021).

A partir disto, as seis causas apontadas com maior impacto para explicação do efeito foram estudadas por meio da metodologia de 5 Porquês, conforme exposto na Figura 24.

Figura 24 - Análise de 5 Porquês

1° Por que?	2° Por que?	3° Por que?	4° Por que?	5° Por que?
Migração do aditivo contido no polietileno (verso) para a interface do poliéster (frente)	Tendência de migração do aditivo superior para produções laminadas no equipamento B	Estatisticamente, foi observado que as produções laminadas no equipamento B geraram uma maior tendência de migração de aditivo	Devido às condições do sistema de aplicação e sistema de embobinamento	Tratam-se da concepção original do equipamento
Tensionamento excessivo na enroladeira do corte	Condições de processos despadronizadas	O material constava liberado para ser cortado em qualquer uma das quatorze máquinas de Corte sem parametrização	Engenharia de Processos não havia definido as máquinas e parâmetros específicos para a linha	A retomada de produção da linha ocorreu há seis meses e este ponto não foi contemplado no momento
Tensionamento excessivo na enroladeira da extrusora	Necessidade de compensação de condições mecânicas e pneumáticas do equipamento	Sistema de embobinamento estava danificado	Não foi realizada a manutenção preventiva na data planejada	Falta de peças no almoxarifado
Variação de dosagem de resinas e aditivos durante a extrusão do filme	Falha de pesagem dos dosadores automáticos	Falta de calibração e de manutenção na data planejada	Não foram obedecidas as frequências preestabelecidas	Descumprimento do plano de manutenção preventiva
Baixa frequência de análise de COF do polietileno quando produzido no equipamento D	O plano de inspeção exigia a análise de somente uma bobina para cada tirada produzida (seis bobinas)	Falha na construção do método de análise de COF no equipamento D	Este plano foi construído baseado nas produções do equipamento C, na qual há a saída de duas bobinas por tirada	
Especificação de COF incompatível com o processo do cliente	Materiais entregues dentro dos limites de especificação não apresentam bom desempenho na linha de envase	O limite mínimo especificado no plano de inspeção interno não é funcional para o cliente	A especificação elaborada pelo cliente não representa funcionalidade do ponto de vista de COF	Falha na elaboração da especificação por parte do cliente

Fonte: Autoria própria (2021).

4.4 Melhorar

Com base na análise de causa-raiz executada durante a fase de *Analyze*, foram levantadas as propostas de soluções para eliminação das causas fundamentais. Estas propostas foram planejadas em um *Action Plan* de acordo com a metodologia de 5W2H, bem como apresentado na Figura 25.

Figura 25 - Plano de ação via 5W2H

O que? What?	Por que? Why?	Onde? Where?	Quando? When?	Quem? Who?	Como? How?	Quanto? How much?
Bloquear laminação no equipamento B e preservar somente no equipamento A	Há uma tendência de migração de aditivo superior na laminação proveniente do equipamento B	Sistema ERP SAP	25/01/2021	Especialista de Produto	Por meio da exclusão do roteiro de produção no equipamento B em todos os códigos liberados da linha	R\$0,00
Determinar rotas exclusivas para o processo de Corte	Despadronização de equipamento de corte	Sistema ERP SAP	25/01/2021	Especialista de Produto	Por meio da delimitação do roteiro de produção	R\$0,00
Estabelecer condições padronizadas de máquina para o processo de Corte por meio de Folha de Processos	Despadronização de condições de processos no corte	Folha de Processos	03/02/2021	Supervisor de Produção - Corte	Com base no acompanhamento da próxima produção da linha e monitoramento do desempenho na linha de envase	R\$0,00
Restabelecer as condições básicas da máquina extrusora D	Sistema de embobinamento danificado	Extrusora D	03/02/2021	Engenheiro de Processos - Extrusão	Aquisição das peças faltantes (eixo/mancal) e manutenção corretiva	R\$23.000,00
Realizar produção assistida da extrusão no equipamento D monitorando todas as tiradas de um turno	Sistema de embobinamento danificado	Extrusora D	03/02/2021	Engenheiro de Processos - Extrusão	Por meio da avaliação de COF, tratamento superficial e dureza das bobinas	R\$0,00
Alterar a frequência de inspeção de COF	Amostragem insuficiente para detecção de desvio	Extrusora D	22/01/2021	Pesquisador - R&D	Alteração da frequência de análise na especificação técnica e na plataforma de apontamentos de qualidade	R\$0,00
Realizar DOE de tensão no embobinamento na fase de laminação	Migração de aditivo responsável pelo COF devido à excesso de tensionamento	Laminadora A	29/01/2021	Especialista de Processos - Laminação	Na fase de laminação, produzir bobinas nas condições de tensão mínima e máxima	R\$1.200,00 (custo proveniente à hora-máquina)
Alterar a especificação de coeficiente de atrito internamente	Especificação de COF incompatível com o processo do cliente	Especificação técnica e plataforma de apontamentos de qualidade	25/01/2021	Pesquisador - R&D	Alteração dos limites na especificação técnica e na plataforma de apontamentos de qualidade	R\$0,00
Adequar parâmetros do equipamento A da fase de laminação	Atendimento do nível de COF ajustado	Laminadora A	05/02/2021	Especialista de Processos - Laminação	Com base no acompanhamento da próxima produção da linha e monitoramento do desempenho na linha de envase	R\$0,00

Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme mencionado no plano de ação, foi executado um *Design of Experiments* (DOE) para análise do tensionamento na enroladeira no equipamento A de laminação. Para execução este teste na operação, foram produzidas duas bobinas-mães laminadas: a primeira sob a condição máxima de tensionamento tolerada para a estrutura e a segunda sob a condição mínima de tensionamento aceitável para que a bobina não escapasse por completo do tubete na qual é fixada. No momento da laminação, foram efetuadas as análises de COF em ambas as interfaces. Após a cura completa do adesivo utilizado na laminação, ambas as bobinas-mães seguiram para o processo de Corte. As análises de COF foram novamente efetuadas no início e final

da bobina-mãe. Contudo, os resultados de DOE foram inconclusivos, pois não houve modificação do COF independentemente da tensão aplicada na enroladeira do equipamento A.

Nesta etapa do Ciclo DMAIC, também foi efetuada a avaliação de possíveis riscos para as soluções planejadas. Na Figura 26, estão apresentados os riscos, a análise de probabilidade e de impacto da ocorrência e o respectivo plano de contingência para todas as soluções nas quais foi identificado algum tipo de risco.

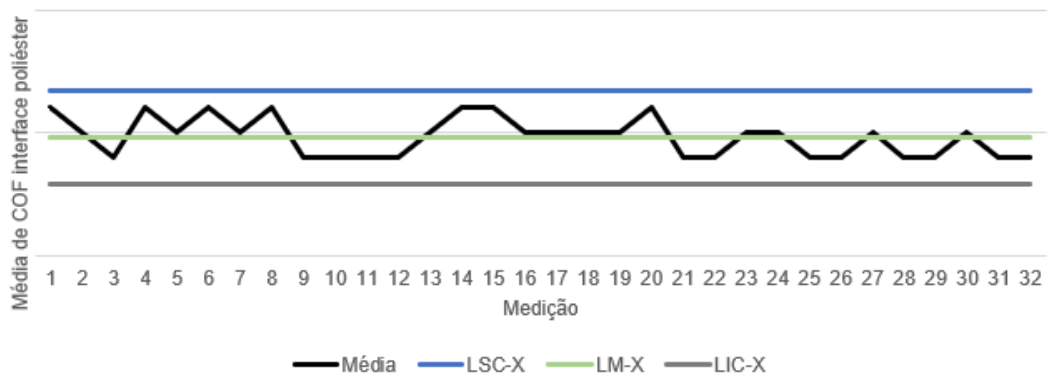
Figura 26 - Análise de risco das soluções primordiais

Causa fundamental	Solução selecionada	Risco da implementação	Análise de risco			Plano de contingência
			Probabilidade	Impacto	Risco	
Migração do aditivo contido no polietileno (verso) para a interface do poliéster (frente)	Bloquear laminação no equipamento B e preservar somente no equipamento A	Equipamento A não ser capaz de absorver toda a demanda da linha	Média	Alto	Alto	Prosseguir com re-homologação do equipamento B em uma escala gradual
Tensionamento excessivo na enroladeira do corte	Determinar rotas exclusivas para o processo de Corte	Equipamentos não serem capazes de absorver toda a demanda da linha	Baixa	Médio	Baixo	Alinhar com o time de Planejamento quais máquinas serão capazes de atender à demanda no médio e longo prazo
Baixa frequência de análise de COF do polietileno quando produzido no equipamento D	Alterar a frequência de inspeção de coeficiente de atrito	Inspetores de qualidade não conseguirem atender à nova frequência de análise	Baixa	Médio	Baixo	Revisar o plano de inspeção para compreender se há alguma análise desnecessária atualmente que possa ser eliminada
Especificação de COF incompatível com o processo do cliente	Alterar a especificação de coeficiente de atrito internamente	Embora a proposta de especificação seja mais estreita do que a especificação do cliente, o cliente poderia alarmar a diferença a partir do recebimento dos laudos de qualidade	Média	Médio	Médio	Estabelecer canal de comunicação com o cliente para entendimento da nova proposta de especificação

Fonte: Autoria própria (2021).

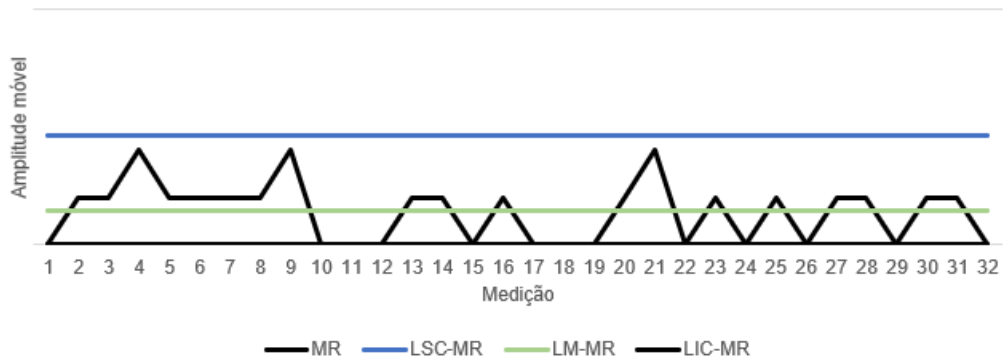
Após a conclusão das ações planejadas, a carta de controle X-MR foi novamente aplicada com base nos dados de três ordens produzidas entre os meses de fevereiro e março de 2021, conforme apresentado nas Figuras 27 e 28.

Figura 27 - X-MR para COF na interface do poliéster após melhorias



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 28 - MR para COF na interface do poliéster após melhorias



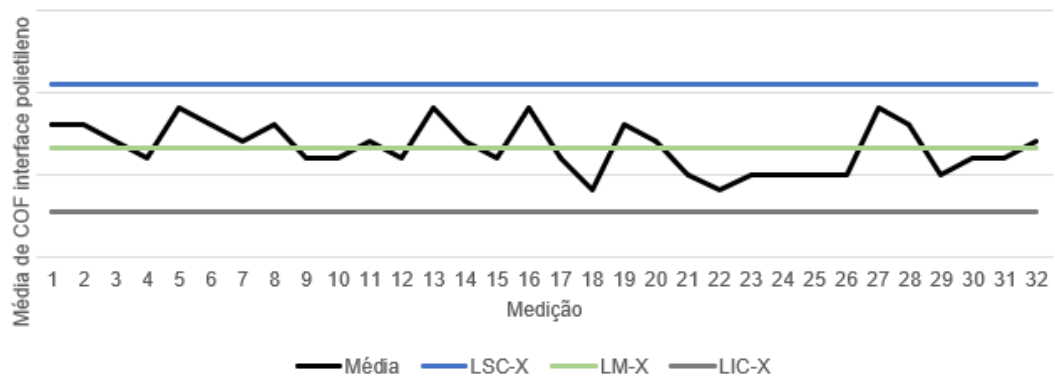
Fonte: Autoria própria (2021).

É possível visualizar que o processo esteve sob controle estatístico ao decorrer de todo o tempo para o COF na interface do poliéster. Em virtude disso, foi possível estabelecer o cálculo dos índices de capacidade e nível Sigma.

O resultado do C_{pk} em 2,75 demonstra que o processo é altamente capaz de atender aos limites de especificação. Tendo em vista os resultados de $Z_{LSE} = 8,25$ e $Z_{LIE} = 12,42$, o nível considerado foi superior a seis sigma. Este resultado demonstra uma evolução substancial da capacidade do processo em atender aos limites de especificação e proporciona a expectativa de uma baixíssima proporção de itens fora do especificado.

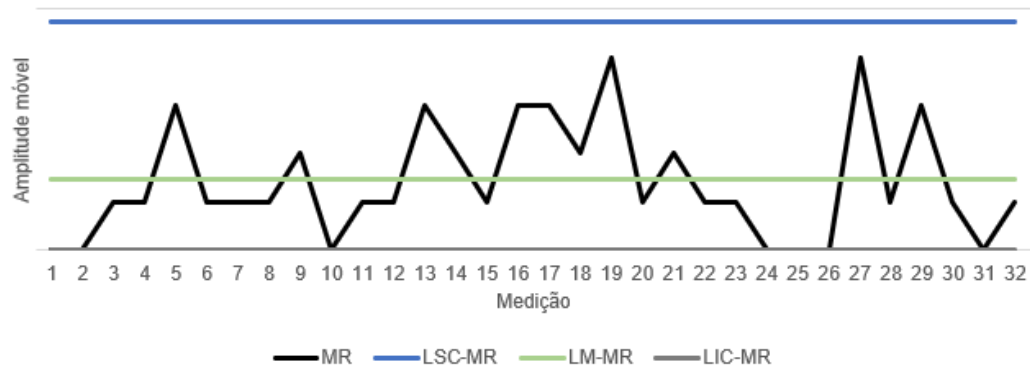
A mesma avaliação foi efetuada para o COF na interface do polietileno nas produções realizadas em fevereiro de 2021. Foram obtidos os gráficos contidos nas Figuras 29 e 30:

Figura 29 - X-MR para COF na interface do polietileno após melhorias



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 30 - MR para COF na interface do polietileno após melhorias



Fonte: Autoria própria (2021).

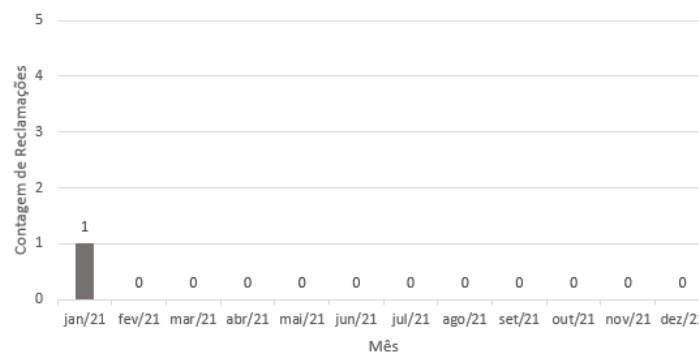
Novamente, se observa que o processo se manteve sob controle estatístico ao decorrer do tempo. Com isto, também foram estabelecidos os cálculos de índices de capacidade e de nível Sigma.

O resultado de C_{pk} em 0,87 caracterizou o processo como incapaz. Haja vista os resultados de $Z_{LSE} = 2,62$ e $Z_{LIE} = 5,15$, o processo foi classificado em um nível Sigma de Dois devido à penalização no índice relacionado ao limite superior de especificação. Neste tópico, é válido mencionar que a tolerância atual estabelecida está 50% abaixo da capacidade conhecida para o processo de Coextrusão.

4.5 Controle

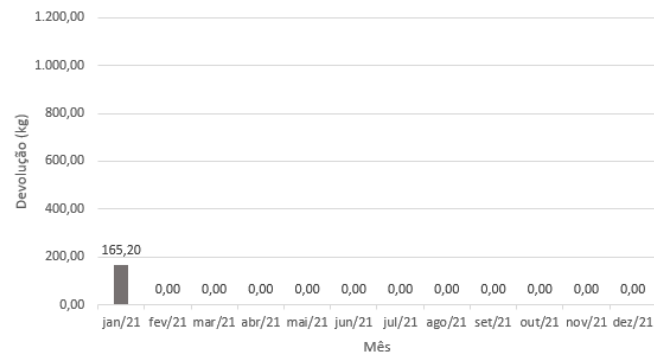
Para execução da última etapa do Ciclo DMAIC, inicialmente foram levantados os dados de reclamação e de devolução relacionados ao tema do projeto no ano de 2021. Estes dados constam nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 - Reclamações do cliente por coeficiente de atrito no ano de 2021



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 32 - Devoluções do cliente por coeficiente de atrito no ano de 2021



Fonte: Autoria própria (2021).

Os dados de reclamação e de devolução demonstram que após a implementação das ações em fevereiro de 2021, não houve recorrência do desvio. Desta forma, a meta central do projeto foi atingida e o retorno financeiro esperado também foi atendido.

Ainda na etapa de *Control*, os novos padrões relacionados às soluções propostas foram comunicados às áreas envolvidas por meio de *On the Job Trainings*, conforme está apresentado na Figura 33 a seguir.

Figura 33 - Lista de treinamentos realizados

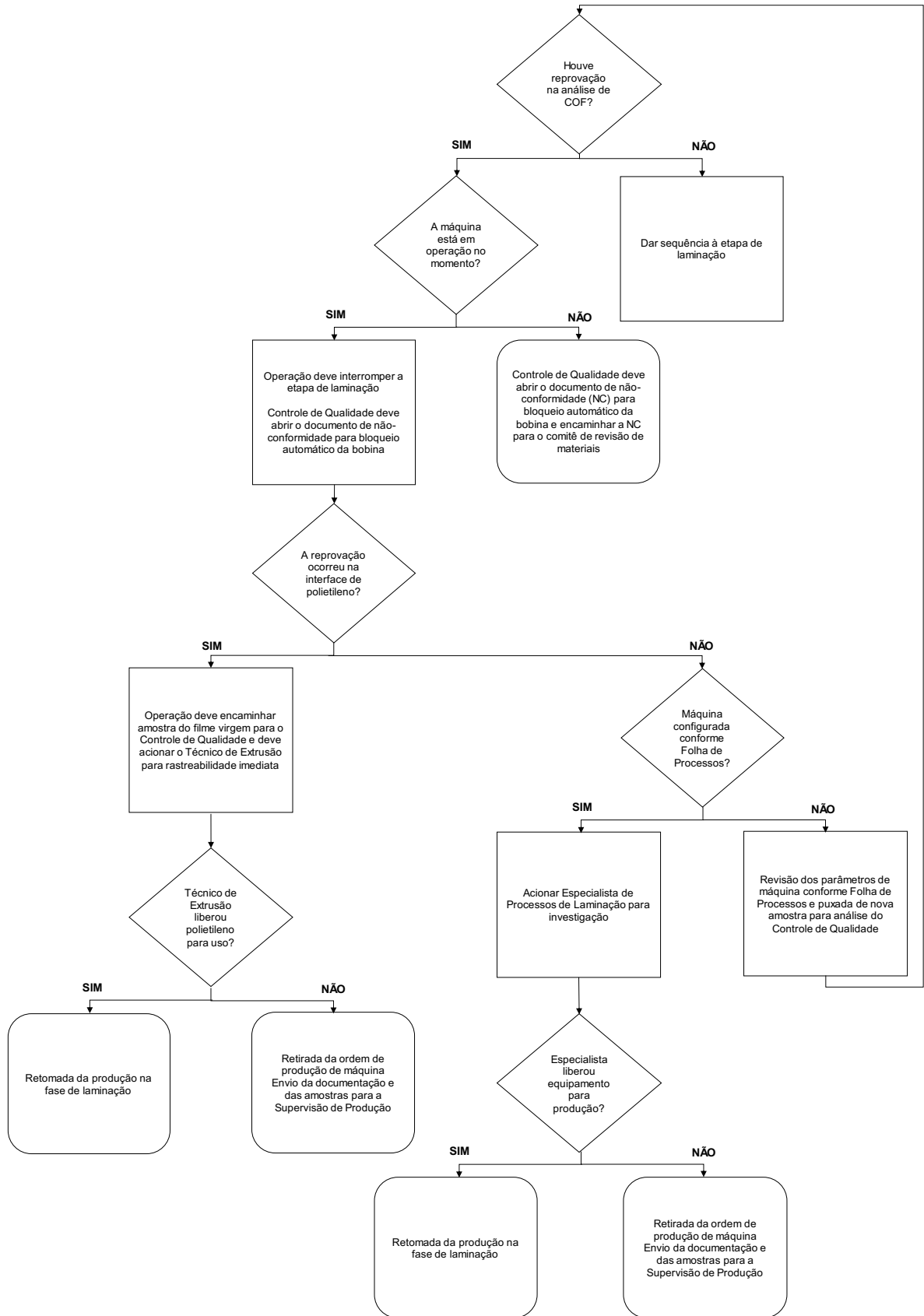
Causa fundamental	Solução implantada	Treinamento realizado
Despadronização de condições de processos no corte	Estabelecimento de condições padronizadas de máquina para o processo de Corte	Preenchimento e cumprimento da Folha de Processos na etapa de Corte
Especificação de COF incompatível com o processo do cliente	Adequação dos parâmetros do equipamento A da fase de laminação	Cumprimento da Folha de Processos na etapa de Laminação
Especificação de COF incompatível com o processo do cliente	Alteração da especificação de coeficiente de atrito internamente	Lição de orientação para a equipe de Controle de Qualidade das fases de impressão, laminação e corte com relação à alteração da especificação
Amostragem insuficiente para detecção de desvio	Alteração da frequência de inspeção de COF	Lição de orientação para a equipe de Controle de Qualidade da fase de Extrusão com relação à alteração de frequência de análise

Fonte: Autoria própria (2021).

Durante a execução do plano de ação elencado na fase *Improve*, também foram implementados *Poka-Yokes* para eliminação das possibilidades de erro. A partir de travas de liberação de rota no sistema, na qual consta somente o equipamento permitido não há a possibilidade de que o responsável por alocação da máquina selecione uma máquina indesejada nas fases de Laminação e de Corte.

Além disso, foi implementado um plano de ações corretivas frente à ocorrência de desvios no processo. Este fluxograma está apresentado na Figura 34

Figura 34 - Out of Control Action Plan



Fonte: Autoria própria (2021).

Para encerramento do Ciclo DMAIC, foram revisitadas as lições aprendidas no projeto, que devem ser consideradas pela gerência da empresa para direcionamentos futuros das equipes:

- Proporcionar maior robustez para o processo de gerenciamento de riscos relacionado ao incremento expressivo de volumes faturados ou à retomada de produções para clientes nos quais houve interrupção do faturamento;
- Estabelecer comparativo entre os volumes produzidos por batelada para cada equipamento de produção no momento de construção do plano de inspeção que enunciará a frequência de análise de cada CTQ;
- Promover um melhor alinhamento entre as atividades que constam no plano de manutenção preventiva dos equipamentos e à disponibilização de peças no almoxarifado controlada pelo time de Compras, com a devida antecedência;
- Durante a etapa de desenvolvimento de um novo produto, realizar avaliações mais criteriosas para compreender se o atendimento das especificações propostas pelo cliente de fato assegura o bom desempenho da embalagem na linha de envase.

Ademais, foi compreendido que ainda há a necessidade de se promover melhorias nos índices de capacidade e de desempenho relacionados ao COF na interface do polietileno. Para tanto, se recomenda que haja a validação dos limites especificado pelo cliente, tendo em vista a penalização do nível Sigma. Esta validação deverá ocorrer por meio da entrega de volumes de teste com adequação de COF na interface mencionada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base em uma definição clara do escopo do projeto e em uma análise precisa dos dados históricos, foi efetuada uma investigação de causa-raiz pautada na metodologia *Six Sigma*. Nesta etapa, foram pontuados impactos fortes da seleção de roteiros de produção, parâmetros de máquina estabelecidos e falhas nas execuções dos planos de manutenção preventiva para geração do efeito. Também foram observados fatores críticos do ponto de vista de detecção de desvio: frequência de análise insuficiente e especificação do CTQ incompatível com os requisitos do processo do cliente.

O estabelecimento de um plano de ação detalhado para resolução das causas fundamentais, o intenso monitoramento para garantia da execução das soluções propostas e um adequado gerenciamento dos riscos envolvidos se constituíram como aspectos essenciais para que o projeto tenha sido bem-sucedido. As soluções primordiais apontadas estiveram relacionadas à padronização dos equipamentos liberados e à especificação adequada de parâmetros de máquina nas etapas de laminação e de corte, ao restabelecimento das condições básicas e à melhoria de inspeção na fase de coextrusão e ao alinhamento dos limites de especificação do coeficiente de atrito na interface do poliéster.

A análise estatística reforça o nível de confiança no êxito do projeto. Para o coeficiente de atrito na interface do poliéster, o cenário anterior demonstrava um processo fora de controle estatístico e que, portanto, não era previsível. Após a implementação das ações apontadas, o processo se demonstrou sob controle estatístico, capaz de atender aos limites de especificação em um nível superior a seis sigma. Para o coeficiente de atrito na interface do polietileno, também ocorreu uma evolução e um resultado parcialmente satisfatório, dado que o cenário anterior indicava um processo fora de controle e, na fase *Improve*, o processo não atendeu às expectativas relacionadas ao nível Sigma, mas esteve sob controle estatístico. Logo, também apresentou uma melhoria de estabilidade de processo.

Para melhoria do nível Sigma relacionado ao COF na face do polietileno, se recomendou que a tolerância estabelecida em especificação seja revisitada, haja vista que atualmente se encontra fora da capacidade conhecida para o processo de coextrusão.

Por fim, considera-se que a execução do projeto *Six Sigma* se mostrou um sucesso, tendo em vista que as metas centrais foram alcançadas de forma alinhada ao cronograma proposto. Após a implementação das ações descritas e, de acordo com um monitoramento de dez meses de fornecimento contínuo, as reclamações e devoluções relacionadas à desvio no coeficiente de atrito no segmento foram eliminadas. As análises estatísticas demonstraram que houve melhoria da estabilidade do processo e, por consequência, se reduziu a probabilidade de erros envolvidos. A partir disso, os ganhos financeiros esperados foram atingidos e houve aumento da satisfação do cliente. Em consequência da melhoria de estabilidade da principal característica crítica para qualidade da linha, foi possível crescer organicamente a partir do aumento de 96% no volume médio faturado mensalmente.

6 CONCLUSÃO

Houve a implementação bem-sucedida da metodologia *Six Sigma* em um processo de produção de embalagens laminadas para o segmento de Café. Fundamentado no estudo do referencial teórico do tema, o processo de fabricação foi analisado por meio da aplicação do Ciclo DMAIC. Como parte das ferramentas do Ciclo, foram empregadas metodologias do controle estatístico da qualidade, com destaque para o cálculo do nível Sigma do processo. Os resultados da execução do Ciclo foram discutidos e foram apresentadas oportunidades de melhoria futura para o processo em estudo.

Dessa forma, foi alcançado o objetivo central do trabalho de implementar a metodologia *Six Sigma* por meio da aplicação do Ciclo DMAIC em um processo de fabricação de embalagens flexíveis. É possível afirmar que, tanto quantitativamente quanto qualitativamente, a execução do Ciclo DMAIC proporcionou ganhos expressivos para a linha produtiva e, por conseguinte, foi compreendida como recomendável para melhoria de processos e de produtos.

Como sugestão para trabalhos futuros, se ressalta a oportunidade de estender a aplicação do Ciclo DMAIC, de modo que seja implementada a cultura *Six Sigma* em toda a cadeia de processos e, a partir disso, ocorra a transposição para resultados maiores de eficiência e eficácia nas linhas produtivas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGANÇA, S.; COSTA, E. An application of the Lean Production tool standard work. **Jurnal Teknologi**, Portugal, v. 76, p. 47 - 53, 2014. Disponível em: <https://journals.utm.my/jurnalteknologi/article/view/3659/3592>. Acesso em 15 out. 2021.

CAMPOS, M. S. **Seis sigma: presente e futuro**. SAE Brasil. Disponível em: http://siqueiracampos.com/art_jan_03.asp. Acesso em 29 ago. 2021.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E.P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2006.

CARVALHO, M. M.; ROTONDARO, R. G. Modelo seis sigma. In: CARVALHO, M. M. et al. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

CARPINETTI, L. C. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas S. A., 2012.

Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO). **Gerenciamento de riscos corporativo: estrutura integrada**. 2. ed. Estados Unidos da América: COSO, 2007.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações: o essencial**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

CORREA, S. M. B. **Probabilidade e estatística**. 2. ed. Belo Horizonte: PUC Minas virtual, 2003.

ECKES, G. **A revolução seis sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

GONÇALVEZ, P. U. WERNER, L. Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 121 - 132, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/cJGRz7YBW6kBZgSFdnzmYTS/abstract/?lang=pt>. Acesso em 16 set. 2021.

LINS, B. F. Ferramentas básicas da qualidade. **Ciência Da Informação**, Brasília: v. 22, n. 2, p. 156, 1993. Disponível em: <http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/502/502>. Acesso em 11 nov. 2021.

LITTLE, T. A. Ten requirements for effective process control. **ASQ Quality Progress**, Milwaukee, v. 32, p. 46 - 52, 2002. Disponível em: <https://www.proquest.com/magazines/10-requirements-effective-process-control-case/docview/214755588/se-2?accountid=201395>. Acesso em 16 out. 2021.

- LYNCH, D. P.; CLOUTIER, E. T. 5 steps to success. **ASQ Six Sigma Forum Magazine**, Milwaukee, n. 2, p. 27 - 33, 2003. Disponível em: https://secure.asq.org/perl/msg.pl?prvurl=http://rube.asq.org/data/subscriptions/ssm_open/2003/february/ssfmv2i2lynch.pdf. Acesso em 16 out. 2021.
- MATHEWS, P. G. Design of experiments with Minitab. **ASQ Quality Press**, Milwaukee, p. 8, 2005. Disponível em: <https://bityli.com/HahPgm>. Acesso em 11 nov. 2021.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- JONES, E. C., PARAST, M. M., ADAMS, S. G. A framework for effective Six Sigma implementation. **Total quality management**, Reino Unido, v. 21, n. 4, p. 415-424, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/14783361003606720>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14783361003606720>. Acesso em 17 out. 2021.
- JURAN, J. M. Juran on Quality by Design: The new steps for planning quality into goods and services. **The Free Press**, New York, 1992.
- KANE, V. E. Process capability indices. **Journal of Quality Technology**, Livonia, v. 18, n. 1, p. 41-52, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1080/00224065.1986.11978984>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00224065.1986.11978984>. Acesso em 20 out. 2021.
- PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia seis sigma – como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- PRODANOV, C.C. FREITAS, E.C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. *E-book*. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em 15 set. 2021.
- RODRIGUES, M.V. **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo sistemas de produção Lean Manufacturing**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.
- SERRAT, O. The five whys technique. **Knowledge Solutions**. Filipinas, p. 1, 2009. Disponível em: <https://ldh.la.gov/assets/medicaid/hss/docs/NH/FiveWhysTechnique.pdf>. Acesso em 11 nov. 2021.
- TOLEDO, J. C. *et. al.* **Qualidade: gestão e métodos**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

TOLEDO, R. F. JACOBI, P. R. Pesquisa-ação e educação: compartilhando princípios na construção de conhecimentos e no fortalecimento comunitário para o enfrentamento de problemas. **Educ. Soc.**, Campinas, v. 34, n. 122, 2013. Disponível em <https://www.scielo.br/j/es/a/GQXTGfPMhWpFktxq8dLW6ny/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 15 set. 2021.

TRAD, S. MAXIMIANO, A. C. A. Seis sigma: fatores críticos de sucesso para sua implantação. **RAC**, Curitiba, v. 13, n. 4, 2009. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rac/a/xDVz8JndKf9xtfZmQ4vfkYn/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 20 out. 2021.

WADSWORTH, H. M. Statistical process control. In: JURAN, J. M.; GODFREY, J. M. **Juran's quality handbook**. 5. ed. Nova Yorque: McGraw-Hill, 1998.

WERKEMA, C. **Perguntas e respostas sobre o Lean Seis Sigma**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma - introdução às ferramentas do Lean Manufacturing**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Atlas, 2021.

WERKEMA, C. **Criando a cultura Lean Seis Sigma**. 3. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2021.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2021.