

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
GIOVANI SILVA ALBANO**

**REDUÇÃO DE CUSTO APLICADO NO PROCESSO
DE REVESTIMENTO EM SUBSTRATO METÁLICO**

**Taubaté - SP
2023**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
GIOVANI SILVA ALBANO**

**REDUÇÃO DE CUSTO APLICADO NO PROCESSO
DE REVESTIMENTO EM SUBSTRATO METÁLICO**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté Área de Concentração: Gestão da Produção

Orientador(a): Prof. Dr. Álvaro Azevedo Cardoso

**Taubaté – SP
2023**

Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBi
Universidade de Taubaté - Unitau

A326r Albano, Giovani Silva
Redução de custo aplicado no processo de revestimento em substrato metálico/ Giovani Silva Albano. -- 2023.
110 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Taubaté, Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação, Taubaté, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Álvaro Azevedo Cardoso, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Pintura E-coat. 2. Tratamento de superfície. 3. Lean Manufacturing. 4. Six sigma. 5. Manutenção produtiva total. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. Mestrado em Engenharia Mecânica. II. Título.

CDD – 658.5

Ficha catalográfica elaborada por **Aline Peregrino - Bibliotecária**

GIOVANI SILVA ALBANO

**REDUÇÃO DE CUSTO APLICADO NO PROCESSO
DE REVESTIMENTO EM SUBSTRATO METÁLICO**

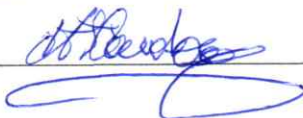
Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Curso de Pós-graduação
em Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Taubaté.
Área de Concentração: Gestão da Produção

DATA: 27/02/2023

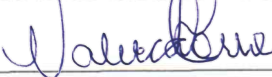
RESULTADO: APROVADO

BANCA EXAMINADORA:

Prof. PhD: Álvaro Azevedo Cardoso – Universidade de Taubaté

Assinatura: _____


Prof. Dra. Valesca Alves Correa – Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo

Assinatura: _____


Prof. Dr. Evandro Luís Nohara – Universidade de Taubaté

Assinatura: _____


GIOVANI SILVA ALBANO

**REDUÇÃO DE CUSTO APLICADO NO PROCESSO DE
REVESTIMENTO EM SUBSTRATO METÁLICO**

Dissertação apresentada para obtenção
do Título de Mestre pelo Curso de Pós-
graduação em Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté Área de
Concentração: Gestão da Produção

DATA: _____

RESULTADO: _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. PhD: Álvaro Azevedo Cardoso – Universidade Estadual Paulista

Assinatura: _____

Prof. Dra. Valesca Alves Correa – Universidade Estadual Paulista

Assinatura: _____

Prof. Dr. Evandro Luís Nohara – Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

27/02/2023

Dedico este trabalho para minha esposa Gilmara, minha filha
Giovana e ao meu amigo Ivair Alves dos Santos

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha belíssima esposa Gilmara companheira de todas as horas, compreensiva que sempre esteve ao meu lado me apoiando e acreditando na minha capacidade, batalhando junto para a realização desse sonho.

Minha filha Giovana por ser compreensiva comigo, por muitas vezes tive que deixá-la de lado para me dedicar aos estudos e ao trabalho.

A minha mãe que sempre me apoiou e que me ajudou muitas vezes para que não desistir se.

Ao meu orientador PHD Álvaro Azevedo Cardoso, que foi muito paciente e me ajudou a conduzir essa pesquisa.

Aos meus professores que muito me ensinaram e tiveram a paciência de me explicar várias vezes até que minhas dúvidas fossem realmente esclarecidas.

Ao meu amigo e professor Ivair Alves dos Santos por dedicar-se uma parte de seu tempo, sempre muito paciente e compreensivo auxiliando no desenvolvimento de minha pesquisa.

A empresa Henkel por conduzir o experimento desenvolvendo um produto que fosse compatível para o sucesso do trabalho a ser realizado na empresa NO PAINT NO GAIN para redução de custo.

A toda a equipe que esteve envolvida no projeto direto e indiretamente.

E claro agradecer a DEUS e ao Santo Expedito ao qual sempre recorro.

“Aquele que tentou, mas não conseguiu é superior
aquele que nunca tentou.”

(ARQUIMEDES)

RESUMO

O presente trabalho é direcionado a uma empresa do seguimento automotivo onde aplica se as ferramentas de melhoria contínua, praticando a filosofia Lean Manufacturing, seguindo procedimentos aplicados nos processos a manutenção produtiva total focado no seguimento de pré-tratamento utilizando desengraxe a baixa temperatura no processo de revestimento em substrato metálico. No processo de revestimento torna-se indispensável um tratamento de superfície devido a necessidade de remover os contaminantes (óleo, graxas etc.) que são residuais dos processos que antecedem ao revestimento permitindo uma limpeza do substrato, onde receberá uma camada de conversão normalmente fosfato tri-catiônico ou nanocerâmico que possibilita uma aderência da película de tinta. Conforme a necessidade das empresas que utilizam em seus seguimentos: processo de pré-tratamento e revestimento, observou-se a possibilidade de realizar um estudo de caso para o seguimento, onde fosse capaz de reduzir custo. O objetivo geral deste estudo de caso é realizar uma análise utilizando a metodologia Seis Sigma, buscando a melhoria de processo de pintura aplicando ferramentas da qualidade com foco em redução de custo, possibilitando novas tecnologias e investimento para o setor. Esta análise propõe eliminar os desperdícios de gás utilizado para aquecimento dos banhos de desengraxante. A metodologia utilizada nessa dissertação classifica-se em pesquisa quantitativa, de natureza exploratória de um estudo de caso, aplicando-se as ferramentas da qualidade em busca de atingir resultados satisfatório possibilitando novos investimentos para o processo. Após o trabalho realizado, pode se observar todo o crescimento e aprendizado da equipe com a aplicação das ferramentas de melhoria para soluções de problemas, tendo como mérito todo o conhecimento da diretoria da empresa, pois o desafio para reduzir custo no processo e torná-lo viável, ou seja, manter o processo dentro da cadeia produtiva era fundamental para o futuro da empresa.

Palavras-chave: Pintura E-coat, Tratamento de superfície, Lean Manufacturing, Six Sigma e Manutenção Produtiva Total.

ABSTRACT

The present work is directed to an automotive company where continuous improvement tools are applied, practicing the Lean Manufacturing philosophy, following procedures applied in the processes of total productive maintenance focused on the follow-up of pre-treatment using low temperature degreasing in the process of metallic substrate coating. In the coating process, surface treatment is essential due to the need to remove contaminants (oil, grease, etc.) that are residual from the processes that precede the coating, allowing the substrate to be cleaned, where it receives a conversion layer, normally triphosphate. -cationic or nanoceramic that allows the adhesion of the paint film. According to the need of the companies that use in their segments: pre-treatment and coating process, the possibility of carrying out a case study for the follow-up was observed, where it would be able to reduce the cost. The general objective of this case study is to carry out an analysis using the Six Sigma methodology, seeking to improve the painting process by applying quality tools with a focus on cost reduction, enabling new technologies and investment for the sector. This analysis proposes to eliminate the waste gas used to heat the degreaser baths. The methodology used in this dissertation is classified as quantitative research, of an exploratory nature of a case study, applying the quality tools in search of achieving results allowing new investments for the process. After the work done, one can observe all the growth and learning of the team with the application of improvement tools for problem solutions, having as merit all the knowledge of the company's board, because the challenge to reduce the cost in the process and make making it viable, that is, keeping the process within the production chain was fundamental for the company's future.

Keywords: E-coat painting, Surface treatment, Lean Manufacturing, Six Sigma and Total Productive Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de ação de partículas tensoativas.....	19
Figura 2 – Fotos microscópicas de um processo de fosfatização.....	20
Figura 3 – Etapas do processo de pintura KTL.....	23
Figura 4 – Sistema de filtração por membranas aniônicas.....	24
Figura 5 – Sistema de funcionamento das dialises.....	25
Figura 6 – Composição do tanque de E-coat.....	27
Figura 7 – Diagrama representativo do sistema de controle de pH.....	28
Figura 8 – Sistema de agitação por bicos indutores.....	29
Figura 9 – Diagrama representativo da filtração e trocador de calor.....	30
Figura 10 – Diagrama representativo do processo de lavagem ultrafiltrado.....	31
Figura 11 – Diagrama representativo do processo de ultrafiltrado.....	32
Figura 12 – Exemplo de janela de cura para processo de pintura E-coat.....	33
Figura 13 – Célula de corrosão bimetálica.....	35
Figura 14 – Lógica da metodologia Seis Sigma.....	44
Figura 15 – Comparação entre dois processos.....	45
Figura 16 – Nível Sigma.....	46
Figura 17 – Etapa D. Definir.....	48
Figura 18 – Etapa M. Medir.....	50
Figura 19 – Etapa A. Analisar.....	53
Figura 20 – Etapa I. Melhorar.....	56
Figura 21 – Etapa C. Controlar.....	58
Figura 22 – Concepções da filosofia Lean.....	61
Figura 23 – Pontos fortes do Lean Manufacturing e do Seis Sigma.....	64
Figura 24 – Princípios básicos da metodologia DFLSS.....	65
Figura 25 – Qual método utilizar- DMAIC / DMADV.....	67
Figura 26 – Hierarquia da equipe Lean Seis Sigma.....	68
Figura 27 – Nível Sigma.....	72
Figura 28 – Fluxo do delineamento da pesquisa.....	79
Figura 29 – Fontes de energia.....	84
Figura 30 – Modelo do termo de abertura do projeto.....	86
Figura 31 – Cronograma das etapas.....	87
Figura 32 – Sipoc.....	88
Figura 33 – Fluxograma dos Processos.....	89
Figura 34 – Diagrama de Causa e Efeito.....	91
Figura 35 – Diagrama de Pareto.....	92
Figura 36 – Aplicação da metodologia.....	94
Figura 37 – Pareto do consumo de gás.....	94
Figura 38 – Arvore de custo CTQ.....	95
Figura 39 – Teste de Salt spray.....	96
Figura 40 – Teste de Aderência.....	96
Figura 41 – Parâmetro de Processo.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de gás durante a fase de teste.....	83
Tabela 2 – Técnica 5W2H.....	90
Tabela 3 – Matriz de Causa e Efeito.....	92
Tabela 4 – Especificações de processo.....	98
Tabela 5 – Resultados obtidos.....	101

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1. Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	15
1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	15
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 PROCESSO DE PRÉ-TRATAMENTO	17
2.1.1 Desengraxe	17
2.1.2 - Proteção Anticorrosiva por Eletrodeposição	21
2.2 PINTURA E-COAT	23
2.2.1 Eletrodeposição Anódica.....	26
2.2.2 Eletrodeposição Catódica	26
2.2.3. Processo de lavagem com ultrafiltrado	30
2.2.4 - Processo de cura	32
2.2.5 – Corrosão	33
2.3. LEAN MANUFACTURING	35
2.3.1 - Perdas Por Superprodução.....	36
2.3.2 - Perdas Por Tempo De Espera	37
2.3.3 - Perdas Por Processamento	37
2.3.4 - Perdas Por Transporte.....	37
2.3.5 - Perdas Por Estoque	38
2.3.6 - Perdas Por Movimentos.....	38
2.3.7 - Perdas por retrabalho ou defeitos	38
2.3.8 - Poka-Yoke	39
2.3.9 - Programa 5S.....	40
2.3.10 - Kanban.....	40
2.3.11 - Produção Puxada.....	41
2.3.12 - Fluxo Contínuo.....	41
2.3.13 - Kaizen.....	41
2.3.14 - Redução de Setup	42
2.4 - SEIS SIGMA	42
2.4.1 Método DMAIC utilizado na filosofia Seis Sigma	46
2.4.2 Etapa D. Definir	47
2.4.3 Etapa M. Medir	49
2.4.3.1 Análise ao sistema de medição (MSA)	50
2.4.3.2 Análise R&R	51
2.4.4 Etapa A. Analisar.....	52
2.4.5 Etapa I. Melhorar.....	55
2.4.6 Etapa C. Controlar.....	57
2.4.7 Definição da cultura Lean.....	59
2.4.8 Design for Lean Seis Sigma (DFLSS)	63
2.4.8.1 Os Patrocinadores	68
2.4.8.2 Os “Campeões”	69
2.4.8.3. Os “Black Belts”	69
2.4.8.4. Os “Green Belts”	70

2.4.8.5. Os “Yellow Belts”	71
2.3.8.6. Os “White Belts”	71
2.5 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM).....	72
2.5.1- TPM ao redor do Mundo	74
3. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	79
3.1 INTRODUÇÃO	79
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	79
3.3 APLICABILIDADE DA PESQUISA	80
3.4 MÉTODO DA PESQUISA	81
4. RESULTADO E DISCUSSÕES	82
4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA.....	82
4.2 PROPOSTA DO PROJETO	83
4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO FLUXO PROPOSTO	83
4.3.1 Apresentação do produto	83
4.3.2 Motivo da escolha	84
4.3.3 Aplicação da fase “Definir”	85
4.3.4 Aplicação da fase “Medir”	93
4.3.5 Aplicação da fase “Melhorar”	97
4.3.6 Aplicação da fase “Controlar”	98
5. CONCLUSÕES	102
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTURO	102
7. REFERÊNCIAS.....	105

1. INTRODUÇÃO

A pintura por eletrodeposição foi desenvolvida para garantir características anticorrosivas à uma peça metálica e tem como principais usuários a indústria automobilística, autopeças e mais recentemente algumas partes de eletrodomésticos. Este processo consiste em imergir o objeto a ser pintado num banho de tinta à base d'água, onde se faz passar uma corrente elétrica contínua e através de uma diferença de potencial, deposita-se um revestimento orgânico, formando uma película uniforme e coesa nesta superfície que após a cura estará pronta para uso ou, dependendo do produto, pronta para receber pintura de acabamento.

Eletrodeposição também é conhecida, no âmbito comercial, como E-coat, KTL, Elpo, Cataforese, Eletroforese, Anaforese, dentre outros. Ambos é um processo de pintura que ocorre quando um objeto condutivo metálico é imerso em um banho de tinta onde é submetido a uma corrente elétrica.

A primeira utilização industrial ocorreu na década de 30, com a aplicação de latexes ou resinas hidrossolúveis. Na década de 50, surgiram os estudos para aplicação da eletroforese em automóveis, sendo que em 1962, a Ford USA utilizou pela primeira vez o processo de eletroforese para pintura de rodas. Em 1963 esta mesma empresa passou a pintar automóveis com este processo. Nesta mesma década, a eletroforese passou a ser empregada também na indústria geral.

A tecnologia empregada desde a década de 30 era o sistema Anódico, que tem como característica uma moderada resistência contra corrosão e baixa resistência a radiação. Na década de 60 iniciaram-se os estudos para o desenvolvimento do Catódico, onde possui uma resistência muito superior quando comparado com outros tipos de processos e boa resistência a produtos químicos. A eletrodeposição catódica passou a ser empregada na década de 70 na indústria geral e em 1976 na pintura de automóveis.

Este trabalho apresenta informações gerais no que se refere a redução de custo no processo de pré-tratamento, adicionada a uma vivência conquistada pelo autor em desenvolvimento de produto, quando se refere a necessidade da aplicação de revestimento protetivo contra corrosão, servindo de motivação e justificativa para a evolução deste estudo de caso.

1.1. Objetivos

As empresas prestadoras de serviços no ramo de pintura E-coat necessita estar se atualizando em busca de novas tecnologia para o processo produtivo. Na maioria das empresas o processo de pintura E-coat inicia-se com a preparação do substrato a ser pintado que vem dos processos de transformação anteriores, estamparia, solda, fundição etc. Sendo necessário realizar uma limpeza no substrato que normalmente é feita por um banho de desengraxante aquecido aproximadamente em média de 60°C.

O processo de pintura E-coat é composto pelas seguintes etapas: limpeza do substrato a ser pintado, pré-tratamento, banho E-coat, enxague e cura.

O início do processo o produto passa por um banho de desengraxante spray aquecido em torno de 60°C e depois por outro tanque de desengraxante imersão aquecido a 60°C.

O aquecimento desses tanques deve se iniciar aos domingos para que a temperatura específica de trabalho esteja atingida na segunda-feira para início das atividades.

Sendo assim com o consumo elevado de gás para manter o banho aquecido na temperatura ideal, se fez necessário uma pesquisa de um estudo de caso com a aplicação das ferramentas da qualidade para reduzir o consumo de gás de um processo de pintura E-coat, onde a empresa busca se manter entre as principais fornecedoras de peças pintadas.

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo de caso é realizar uma análise, buscando a melhoria de processo de pintura aplicando ferramentas da qualidade com foco em redução de custo, possibilitando novas tecnologia e investimento para o setor. Esta análise propõe eliminar os desperdícios de gás utilizado para aquecimento dos banhos de desengraxante.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, tem-se:

- Desenvolvimento de uma tecnologia capaz de remover partículas oleosas presentes no substrato;
- Aplicação dessa tecnologia em laboratório para validação da eficácia do material.

1.2 Delimitação do estudo

Este estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa do ramo automobilístico localizada na região do Vale do Paraíba, interior de São Paulo. A empresa possui processo de revestimento em peças metálicas utilizando de um processo de pintura E-coat.

1.3 Relevância do estudo

O tema abordado nessa dissertação tem como princípio a aplicação da filosofia Lean Manufacturing, utilizando a Manutenção Produtiva Total e a metodologia Seis Sigma (DMAIC) para análise e soluções de problemas, visando a melhoria da produtividade e custo no processo de pintura E-coat.

1.4 Organização do trabalho

A dissertação está estruturada em tópicos e subtópicos. No Capítulo 1 são expostos a justificativa do estudo, o escopo do estudo, os objetivos e a metodologia adotada.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura aplicada no processo de pintura E-coat. A metodologia aplicada no estudo de caso, caracterização e aplicabilidade utilizado na empresa são apresentados no Capítulo 3.

O Capítulo 4 explica o estudo de caso utilizado no processo de pintura E-coat e no Capítulo 5 os resultados e discussões após a aplicação da metodologia DMAIC são apresentados.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta a conclusão do estudo de caso, com o objetivo alcançado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho fará referência à literatura para estudar as tecnologias aplicadas no processo de revestimento de substratos metálicos, buscando economia de processo, melhoria contínua, qualidade da resistência à corrosão, ambiente durante o processo de revestimento por eletrodeposição catódica (KTL) através de métodos de manufatura enxuta.

2.1 Processo de pré-tratamento

A fim de formar um filme de tinta de espessura controlável em superfícies metálicas e maximizar a resistência à corrosão, são necessárias várias etapas antes do processo de eletrodeposição, muitas vezes chamadas de pré-tratamento (PEDRO et al., 2018).

Esse pré-tratamento inclui desengorduramento, decapagem ou remoção mecânica. Após o desengorduramento, a peça é enxaguada com água industrial para remover o agente desengordurante e evitar a contaminação por arraste nas etapas subsequentes, que podem ser a aplicação de conversores de fosfato de zinco, ferro ou nanocerâmica (RIBEIRO, 2015).

No E-coat, o revestimento orgânico não é aplicado diretamente sobre o substrato metálico, mas sobre uma camada de conversão que é pré-depositada sobre o substrato a ser pintado, onde ocorrerá a camada de tinta.

A qualidade do filme E-coat depende em grande parte das condições da camada de conversão. É impossível tratar o pré-processamento e a pintura como etapas separadas! Passos antes da pintura:

- ✓ Desengraxe.
- ✓ Pré-tratamento (camada de conversão com fosfato ou nano cerâmico).

2.1.1 Desengraxe

A limpeza do substrato é tão importante quanto a aplicação da camada de conversão.

As operações de produção, estampagem, formação e montagem de aço envolvem vários óleos protetores ou lubrificantes, diferentes tipos de solda, bem como

adesivos, massas. Todos esses materiais devem ser considerados incrustantes do sistema.

Sujeira: Qualquer material que não seja necessário ou que interfira nos processos subsequentes e afete a qualidade do produto. Contaminação inorgânica típica:

- calcário, poeira,
- ferrugem,
- fuligem.
- Remoção por jateamento, limpeza manual, decapagem Solos orgânicos típicos:
 - agentes de moldagem;
 - óleo, graxa;
 - Remoção por solubilização, emulsificação e suspensão.

As principais variáveis para um bom desempenho do banho desengordurante:

- Concentração de ativos;
- Tempo de desengorduramento;
- Temperatura do banho;
- Eficiência de mistura do tanque mecânico;
- Tipo de sujeira.

Ao final do pré-tratamento, deve-se aplicar um enxágue com água deionizada, que auxilia na obtenção de um filme uniforme e protetor livre de contaminantes (MOREIRA, 2015) também segundo (PEDRO et al. 2018), a primeira etapa do pré-tratamento é o desengorduramento por pulverização e/ou imersão, que visa limpar a superfície, retirando óleo, graxa e resíduos do processo de fabricação como cavacos.

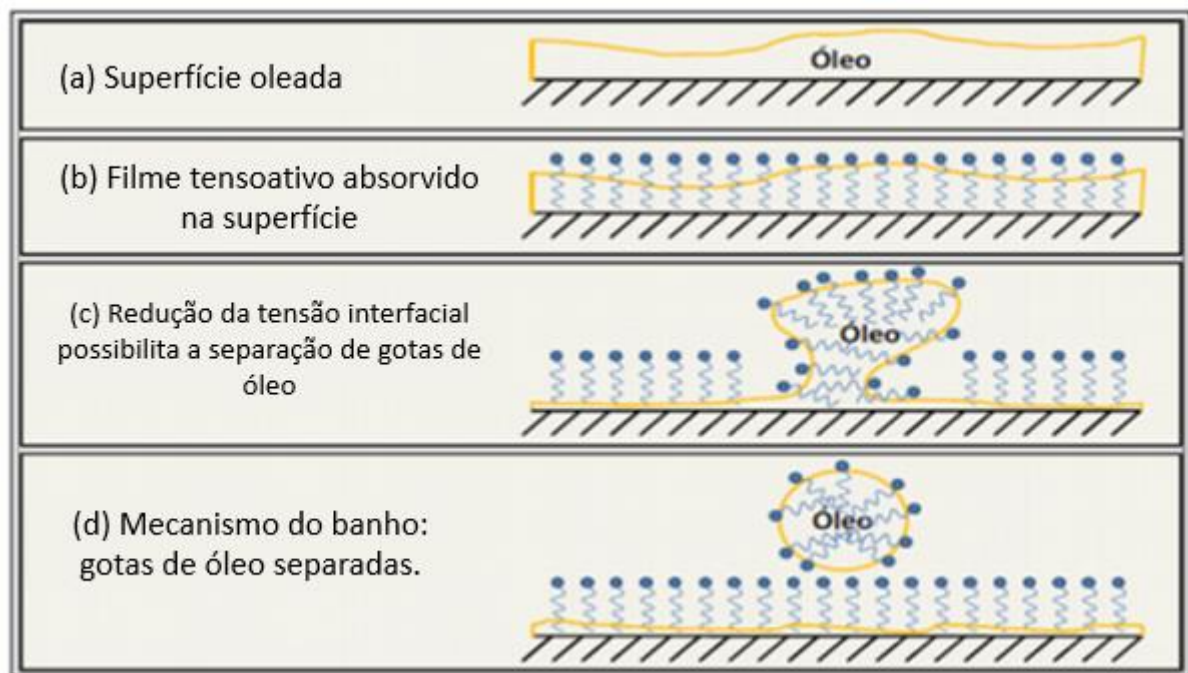
Para manter o banho desengordurante, a concentração deve ser monitorada diariamente para remover óleo e limalhas da água. Este último é feito magnetizando o cilindro, que atrai partículas metálicas devido à diferença de polaridade. O desengorduramento tem uma temperatura controlada para melhor desempenhar a sua função.

A manutenção da temperatura do banho é realizada por um sistema com trocador de calor de placas.

Dependendo da temperatura máxima permitida no banho, diferentes sistemas podem ser substituídos, tais como: água quente, água superaquecida, vapor. Sua circulação também pode exigir um circuito primário (DE BEM, 2008).

De acordo com a Figura 1 há um diagrama esquemático de um sistema de pré-tratamento que aquece a água desengordurada através de um trocador de calor e uma tubulação de água da caldeira até 120°C. Segundo (SOARES, 2013), os desengraxantes consistem em partículas tensoativas que são absorvidas pelo óleo na superfície da peça, reduzindo a tensão entre o óleo e a peça, removendo assim gotículas carregadas de óleo.

Figura 1 – Processo de ação de partículas tensoativas



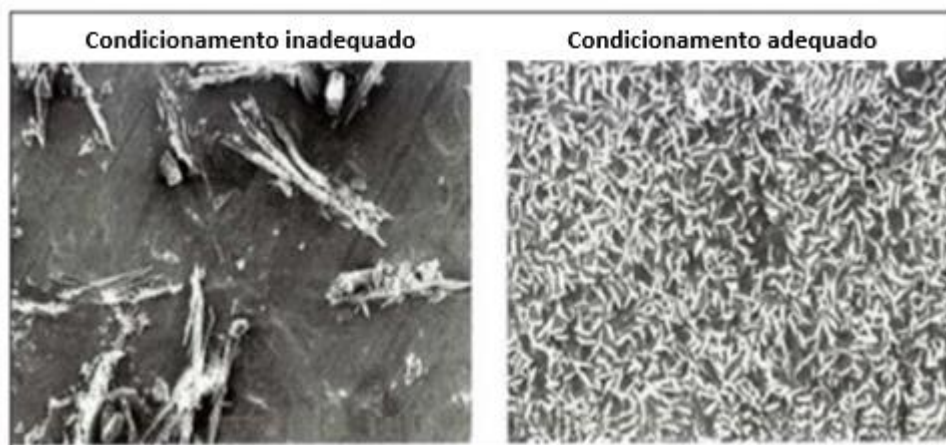
Fonte: Streiberger e Dossel (2008, apud Soares, 2013)

Nas aplicações de desengraxe por spray, além da ação química, ocorre ação mecânica devido à pressão exercida pelo bico. No entanto, bombas e tubulações de maior capacidade são necessárias, dessa maneira. Por outro lado, o método de imersão permite que o desengorduramento atinja todas as partes da peça, tanto no interior como no exterior, com requisitos de calor inferiores ao processo de pulverização. No entanto, é necessário um tanque com maior capacidade de líquido desengordurante e a peça deve ficar submersa no banho (SOARES, 2013).

A etapa de enxágue é responsável pela remoção de produtos químicos residuais de processos anteriores. No caso de enxágue após o desengorduramento, é necessário remover os resíduos alcalinos para evitar a neutralização dos ácidos de conversão fosfóricos (SOARES, 2013).

A Figura 2 mostra a superfície metálica fosfatizada. A fosfatização é a etapa de deposição de uma camada inorgânica sobre o metal base, é uma solução ácida concentrada, geralmente composta por fosfatos metálicos (Zn, Ni, Mn, Fe, Ca), ácido fosfórico, agentes oxidantes e aditivos. Essa etapa tem a função de facilitar a adição de uma camada microcristalina destinada a aumentar a adesão de revestimentos subsequentes, como os revestimentos eletrodepositados (SOARES, 2013).

Figura 2 – Fotos microscópicas de um processo de fosfatização



Fonte: Soares, 2013.

Segundo De Bem (2008), após a fosfatização, é necessária a limpeza com água desmineralizada circulante, seguida de água desmineralizada fresca. Essas limpezas são projetadas para remover o excesso de produtos fosfatados da superfície da peça, evitando a contaminação do tanque de eletroforese (SOARES, 2013).

O processo de aplicação do selante começa com uma solução composta por nanopartículas organocerâmicas, que é fornecida em embalagens de 20/kg, com revestimento natural com propriedades gelatinosas. Entre outros compostos, possui nanopartículas cerâmicas que podem ser por revestimento primer. As demãos de base podem ser: zinco eletrolítico, zinco ligado, organometálico, KTL, etc., ou ainda diretamente sobre os substratos metálicos desejados, como: alumínio, latão e aço inoxidável (SOARES, 2013).

Esta solução de revestimento nanocerâmico é geralmente aquosa, preparada diluindo 200 ml da solução nanocerâmica por 10 litros de água com pH controlado (BHUSHAN, B. 2017).

Dependendo da aplicação, pode ser utilizado como agente de passivação ou selante, e neste estudo foi utilizado como selante. A solução pode ser aplicada ao produto imediatamente após a galvanização eletrolítica por meio de um processo de imersão (BHUSHAN, B. 2017).

A aplicação do selante precisa ser curada em altas temperaturas (tipicamente 150°C a 180°C) por cerca de 10 minutos e requer um revestimento fino e denso de nanomateriais para se formar na superfície do zinco (SOARES, 2013).

Devido à superfície de óxido ativo, a reação de oxidação entre as nanopartículas organocerâmicas e o óxido nativo ou transformação de óxido da superfície do metal forma fortes ligações químicas. Durante a cura térmica, as partículas nanocerâmicas são reticuladas para formar um filme ultradenso na superfície do metal. As fortes ligações químicas entre a nanocerâmica e a superfície de zinco transformada em óxido, combinadas com a estrutura ultradensa da organocerâmica, melhoram significativamente a resistência à corrosão (SOARES, 2013).

Essa nova resistência à corrosão fornece um mecanismo de travamento para umidade e substâncias corrosivas, melhorando significativamente a resistência à corrosão (BHUSHAN, B. 2017).

2.1.2 - Proteção Anticorrosiva por Eletrodeposição

As técnicas envolvidas no processo de eletrodeposição não são novas. A primeira adaptação ocorreu com o advento da galvanização, na qual revestimentos inorgânicos são eletrodepositados sobre superfícies metálicas. Exemplos de tais processos são a deposição de cádmio, níquel ou cromo em ferro ou aço para melhorar a aparência ou a resistência à corrosão.

A eletrodeposição foi usada pela primeira vez para aplicar revestimentos orgânicos em superfícies metálicas na década de 1930. Aplicação de emulsões orgânicas (látex) em embalagens de alimentos (latas). Nesta versão, conhecida como "coil coating", o revestimento é aplicado na chapa metálica antes de ser finalmente

conformada na embalagem. É revestido em ambos os lados da lâmina e depois coberto com uma etiqueta do produto na parte externa.

A indústria automotiva começou a introduzir e comercializar essa tecnologia na década de 1960, impulsionada pelos seguintes fatores (NETO et al., 2018).

Segurança: Os tanques de imersão à base de solvente são perigosos (risco de incêndio).

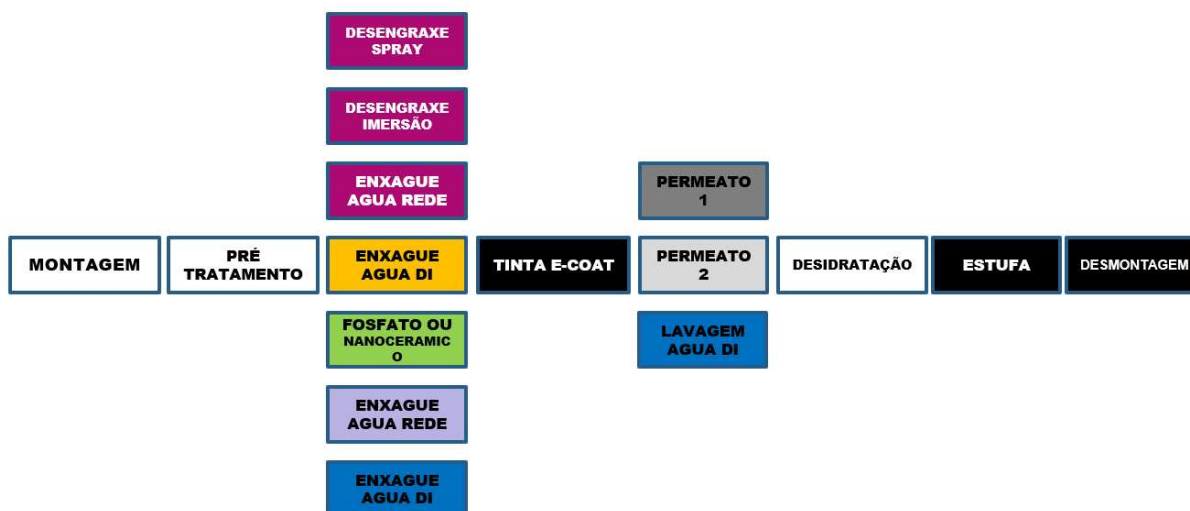
Ambiente/Ocupação: A impregnação com tintas à base de solventes libera grandes quantidades de compostos orgânicos voláteis. **Qualidade:** Além do ponto de ebulição/escoamento, as camadas de objetos produzidos pelos sistemas de imersão atuais variam muito.

Ford - Oakville (1977) cita que um dos grandes proponentes desse processo é a Ford. Os primeiros tanques de combustível foram abastecidos nos Estados Unidos (Ford Wixom Assembly Plant, 1963). Como mostrado na Figura 3 em 1977, o processo anódico começou a ser completamente substituído pelo processo catódico conforme:

- Maior resistência à corrosão através de melhor química da resina.
- Melhor estabilidade do processo com a introdução de um sistema de dois componentes (GULLICHSEN et al., 1999).
- Todos os processos de revestimento industrial devem atender aos seguintes requisitos.
 - Alta qualidade, boa aparência estética e reprodutibilidade; máxima economia (rendimento) e custo mínimo. Os resíduos lançados na atmosfera e/ou na água causam danos mínimos ao meio ambiente.
 - Permite automatizar o processo de revestimento.
 - Espessura de filme uniforme em todo o comprimento de aplicação. Capaz de formar uma camada protetora em áreas de difícil acesso para evitar a corrosão.
 - Proporciona resistência à corrosão em substratos pintados.
 - Ecologicamente correto: Além de baixos VOCs (Compostos Orgânicos Voláteis), a geração final de resíduos também é baixa. Seguro para operar com baixo risco de incêndio e explosão. A produção é rápida.
 - Devido ao processo de imersão, a galvanoplastia funciona bem em cavidades de difícil acesso, como estruturas tubulares.
 - A qualidade de cobertura de camadas de baixa espessura, tipicamente entre 15 e 25 microns, garante a uniformidade do filme de revestimento que também

permite que o processo seja reproduzido com alta rentabilidade, com aplicação de aproximadamente 98% do fluido (NETO et al. 2018). Essas etapas são descritas em detalhes neste capítulo.

Figura 3 – Etapas do processo de pintura KTL



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

2.2 PINTURA E-COAT

A eletrodeposição é o processo de revestimento de peças metálicas com materiais orgânicos dissolvidos em um tanque de água deionizada. A cobertura ocorre devido à diferença de polaridade entre os componentes e os eletrodos dispostos nas laterais do tanque (MOREIRA, 2015).

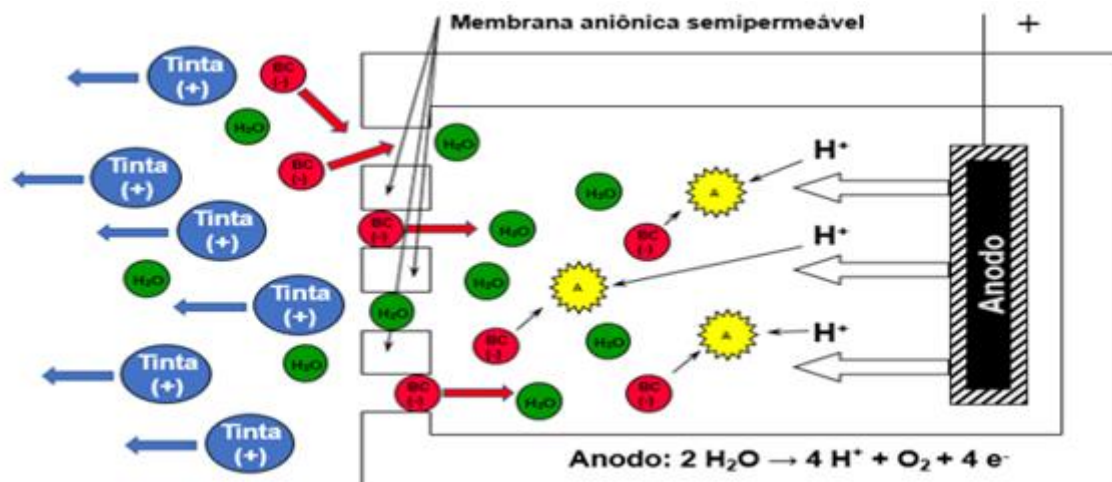
O processo catódico requer eletrodiálise. As células de diálise encapsulam ânodos, que podem vir na forma de caixas ou tubos, e são fixados nas paredes do tanque. Possuem uma membrana de troca aniônica que separa o banho do anólito que circula dentro da célula. O anólito nada mais é do que água desionizada no início do processo (MOREIRA, 2015).

Durante o processo de pintura, os ânions presentes no banho migram para o ânodo. Essas moléculas atravessam a membrana tentando chegar ao ânodo, onde ficam presas na célula de diálise, onde ocorre a formação das moléculas de ácido junto com os íons H⁺ produzidos no ânodo (MOREIRA, 2015).

A Figura 4 mostra como são formadas as moléculas de ácido através de um sistema de filtração ocorrendo um aumento da condutividade. Quando a condutividade atinge um valor predefinido, parte do anólito é descartado e substituído

automaticamente por água desmineralizada (ou DI.). Portanto, o ácido é removido do sistema e se continuar no tanque, o processo de eletrodeposição será interrompido (MOREIRA, 2015).

Figura 4 – Sistema de filtração por membranas aniônicas



Fonte: Electrocoating (2002, apud Soares, 2013)

Os valores típicos de densidade de corrente anódica são 50 A.m⁻² a 200 – 300 V. No caso acima, a vida útil do ânodo é de cerca de 4 anos.

O número de células de diálise é calculado com base na relação direta entre a área útil do ânodo e a área de carga (peças) no tanque de imersão. Para um tempo de deposição de 2 min, a razão cátodo/ânodo foi de 4:1 (MOREIRA, 2015).

No caso de células cilíndricas, 85% da área do ânodo tubular é considerada submersa para definir a relação acima.

As baterias não planares requerem rotação periódica (giro) para atingir um desgaste uniforme do sistema (SOARES, 2013).

Às vezes, devido a restrições do processo ou à complexidade da geometria da peça a ser pintada, o número de células anódicas não é suficiente para garantir a espessura da camada de tinta. Nesses casos, geralmente são utilizados anodos auxiliares (também chamados de eletrodos "nus", pois não possuem cassete de diálise) no fundo do tanque. Nestes casos, recomenda-se que a área total dos eletrodos desencapados seja igual ou inferior a 20% da área total da célula anódica instalada na célula (SOARES, 2013).

O processo de eletrodeposição requer uma tensão direta (corrente contínua). Um retificador é um dispositivo que converte tensão alternada em corrente contínua, permitindo o controle de tensão e corrente ao longo da eletrodeposição (MOREIRA, 2015).

O tamanho do retificador é baseado na área máxima dos componentes que estão simultaneamente imersos no tanque de tinta. Para referência, suponha 10 a 15 A por metro quadrado de área a ser pintada. Deve ser capaz de operar entre 0 – 350 V, de preferência continuamente ajustável.

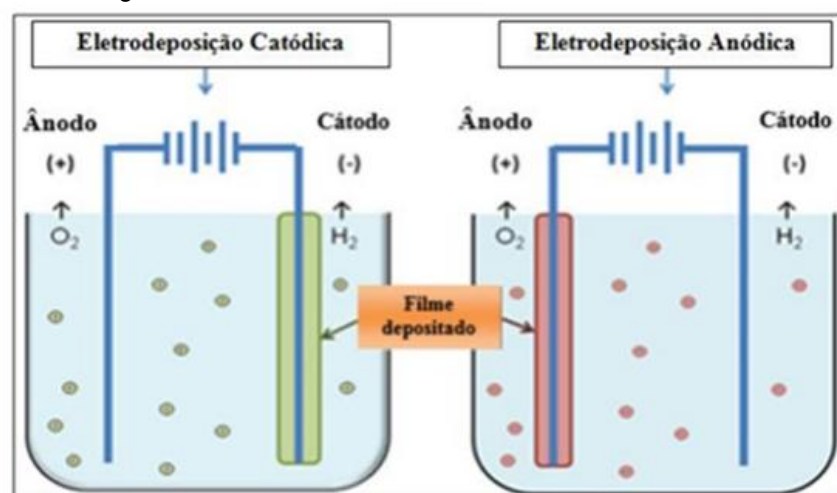
Existe um termo importante que está sempre relacionado ao desempenho do retificador.

Ripple (ripple residual da tensão Corrente alternada na saída da tensão Corrente contínua): Ripple é um indicador da qualidade da energia fornecida pelo retificador, e o valor do ripple deve ser inferior a 3% (MOREIRA, 2015).

De acordo com Moreira (2015), quando é aplicada uma tensão, os fragmentos e 12 eletrodos terão polaridades opostas, sendo uma delas ânodo, positivo, cátodo, negativo.

De acordo com a Figura 5, mostra a deposição de tinta, uma camada isolante se forma no metal, então a eletrodeposição é interrompida. Dependendo da polaridade da peça e das partículas de tinta, o processo de eletrodeposição pode ser dividido em duas formas. Ou seja, quando a peça é o cátodo e o eletrodo é o ânodo, define-se como eletrodeposição catódica. A anodização ocorre quando a polaridade é invertida (MOREIRA, 2015).

Figura 5 – Sistema de funcionamento das dialises



Fonte: Electrocoating (2002, apud Soares, 2013)

2.2.1 Eletrodeposição Anódica

Durante o processo de anodização, a peça é carregada positivamente e o banho de tinta é carregado negativamente, de modo que a peça atrai partículas de tinta negativas até que a peça metálica seja isolada. Porém, durante esse processo, uma pequena quantidade de ferro pode migrar da peça para a pintura, o que pode prejudicar o desempenho do sistema. O principal produto de aplicação para sistemas anódicos é para ambientes internos moderadamente corrosivos, resultando em excelente cor e brilho (MOREIRA, 2015).

2.2.2 Eletrodeposição Catódica

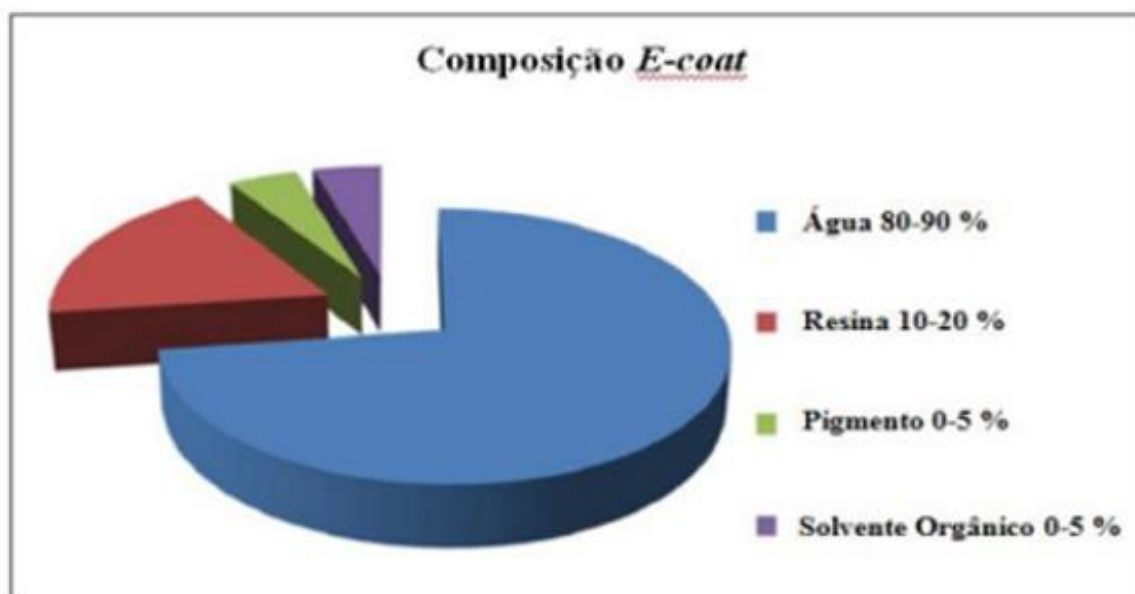
Na eletrodeposição catódica, as peças são carregadas negativamente e a tinta é carregada positivamente através de eletrodos de aço inoxidável localizados na lateral do tanque. Durante este processo, o substrato metálico atrai partículas de tinta com cargas opostas até que o substrato seja isolado eletricamente por deposição de tinta (SOARES, 2013).

A deposição catódica possui alta proteção contra corrosão, indicando que pode atender aos requisitos de durabilidade em ambientes corrosivos (MOREIRA, 2015).

Os processos de eletrodeposição geralmente têm custos operacionais menores porque a pintura é feita em um processo automatizado que requer menos mão de obra, mas também é altamente eficiente em relação à tinta aplicada. O uso de tinta é de cerca de 95% aplicado nesta peça por se tratar de uma tinta à base de água que apresenta baixo risco de incêndio (SOARES, 2013).

A Figura 6 representa a composição de um banho de e-coat, podendo-se perceber que grande parte é composta por água:

Figura 6 – Composição do tanque de E-coat



Fonte: Electrocoating (2002, apud Soares, 2013)

Resinas:

➤ Forma uma película protetora para o substrato e mantém o sistema coeso/aderente. É o esqueleto (base) do revestimento (SOARES, 2013).

Pasta:

➤ Feito a partir de resinas, pigmentos e cargas, confere aparência de filme, cor, poder de cobertura, brilho controlado e certa reologia (SOARES, 2013).

Água deionizada:

➤ O meio necessário para suspender a resina e a pasta, formando assim o banho E-coat. A água deve ser desionizada para evitar que íons estranhos causem problemas de aparência ou desempenho no filme curado. Quanto menor a quantidade desses contaminantes, menor o potencial de desvio operacional (SOARES, 2013).

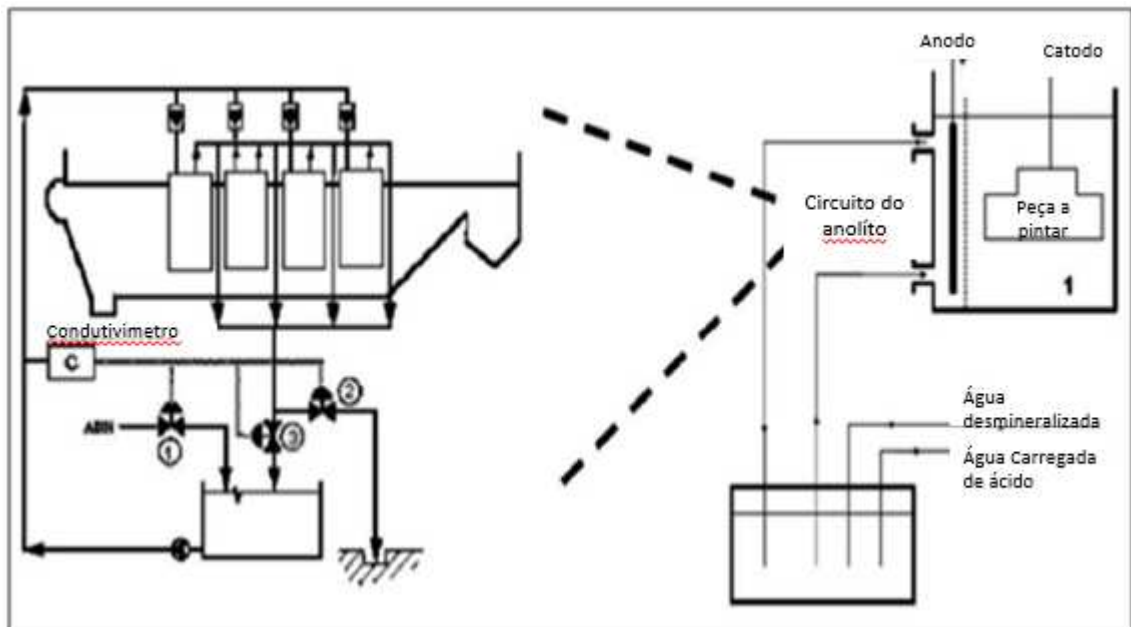
Aditivos essencialmente solventes:

➤ Os funcionários ganham propriedades específicas, como baixar o pH do banho (utilizando regulador de pH), controles bacteriológicos (utilizando nitrato de prata) ou solventes (agentes eletroforéticos ou niveladores) para controlar o aparecimento ou aumento de filmes eletrodepositados (DE BEM, 2008).

O controle da acidez da tinta é muito importante para o bom funcionamento do processo de eletrorevestimento. A acidez do banho é controlada por um sistema de membrana semipermeável chamado célula de diálise, que controla a direção do ácido da tinta para o ânodo (DE BEM, 2008).

O ácido entra no circuito do anólito e precisa ser limpo com água deionizada para controlar os parâmetros (DE BEM, 2008). A Figura 7 representa um diagrama esquemático do sistema de controle de pH para o processo de revestimento eletroforético.

Figura 7 – Diagrama representativo do sistema de controle de pH



Fonte: PPG Iberica S.A. (2003 apud MATOS, 2019)

A temperatura do banho de tinta deve ser controlada para evitar que a tinta se condense e se deposite no fundo do tanque e possivelmente até obstrua as tubulações, idealmente entre 28 e 35°C. Em condições normais de operação e temperatura ambiente, geralmente é necessário resfriar o revestimento porque a temperatura do banho aumentará com a corrente aplicada durante o processo de revestimento. O controle da temperatura do banho é realizado por um trocador de calor de placas no circuito de água gelada. Nos dias em que a temperatura ambiente estiver muito baixa e a temperatura da tinta estiver abaixo de 28°C, a água quente deve circular até no máximo 80°C, caso contrário a tinta pode ter condensado no trocador de calor (DE MATOS, 2019).

A Figura 8 mostra a agitação do KTL que é essencial para a homogeneização do banho, ele é responsável por conduzir a tinta até o trocador de placas e controlar a temperatura, e ao retornar ao tanque, auxiliando a mistura através dos bicos indutores que auxiliam na injeção do pigmento, devido à importância deste processo, é aconselhável a instalação de uma bomba de reserva, pois sem agitação, a temperatura não pode ser controlada e todo o tanque de tinta pode ser perdido (DE BEM, 2008).

Figura 8 – Sistema de agitação por bicos indutores

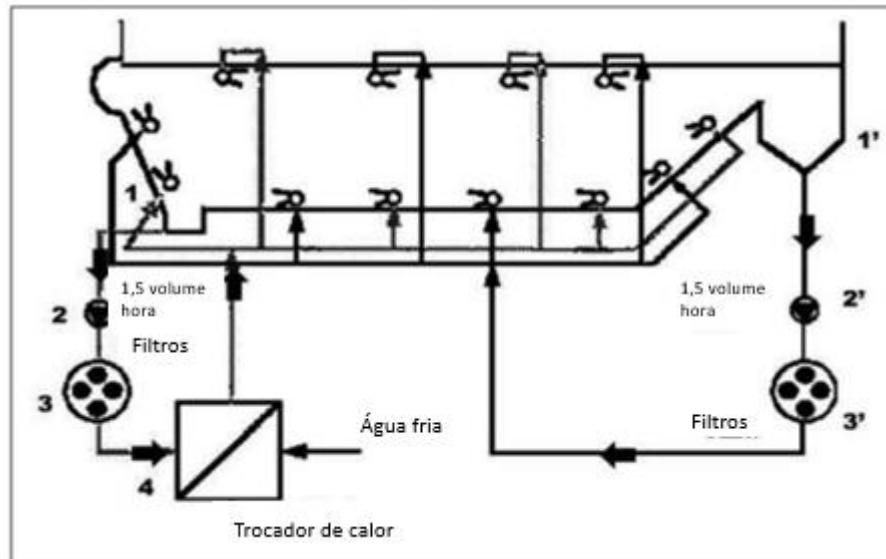


Fonte: Electrocoating (2002, apud Soares, 2013)

A maior parte da energia elétrica necessária para depositar a tinta é convertida em calor. Isso também ocorre em parte da energia mecânica gerada pela bomba de circulação principal (DE BEM, 2008).

Uma vez que a temperatura do banho tem um efeito considerável no crescimento do filme, o banho deve ser mantido constante em todos os momentos, o que pode ser alcançado por meio de um dispositivo de resfriamento ("cooler"), geralmente localizado no próximo ao filtro. A Figura 9 mostra um diagrama esquemático do uso de um trocador de calor para manter a temperatura adequada (DE BEM, 2008).

Figura 9 – Diagrama representativo da filtração e trocador de calor



Fonte: PPG Iberica S.A. (2003 apud MATOS, 2019)

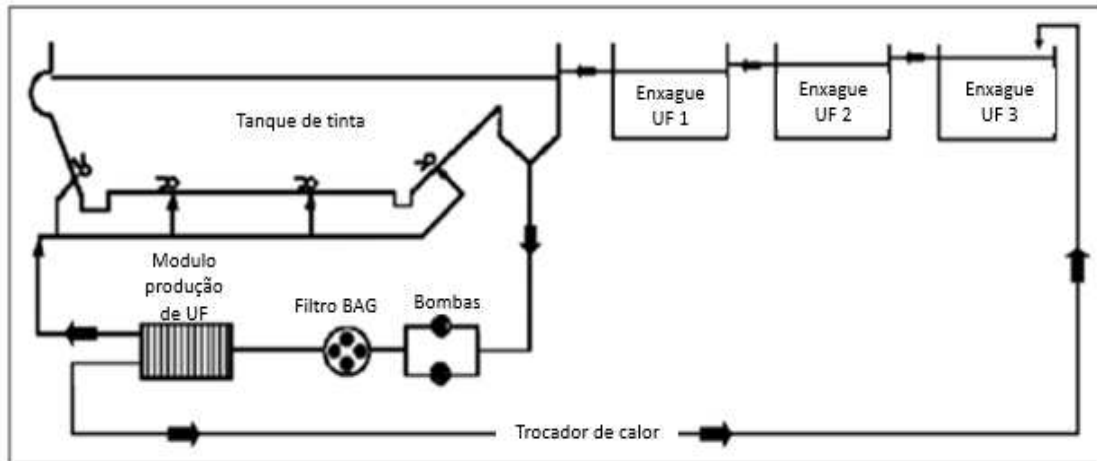
2.2.3. Processo de lavagem com ultrafiltrado

O filme de tinta depositado tem aproximadamente 80% de sólidos e é muito viscoso e adere fortemente ao substrato. Após a saída do banho, as peças pintadas são cobertas com banho líquido e espuma (devido ao processo de formação de gases durante a pintura), que deve ser removido para garantir uma superfície lisa após a cura (DE MATOS, 2019).

No início do processo de eletrodeposição, o líquido aderente e a espuma são lavados com água, causando problemas ambientais e perda de sólidos do banho (DE MATOS, 2019).

Esta situação é contornada com a introdução da tecnologia de ultrafiltração, que permite um sistema de descarga autogerado (ultrafiltrado) sem perda de sólidos no banho ou descarga de água contaminada no meio ambiente. Para remover o excesso de tinta que pode se depositar em qualquer parte da peça devido à geometria, e para melhorar a aparência do filme de tinta depositado na peça, após o processo de eletrodeposição, a peça é lavada com água produzida pela ultrafiltração da tinta, denominado Ultrafiltrado (UF) (DE BEM, 2008). A Figura 10 mostra o processo de lavagem do ultrafiltrado.

Figura 10 – Diagrama representativo do processo de lavagem com ultrafiltrado



Fonte: PPG Iberica S.A. (2003 apud MATOS, 2019)

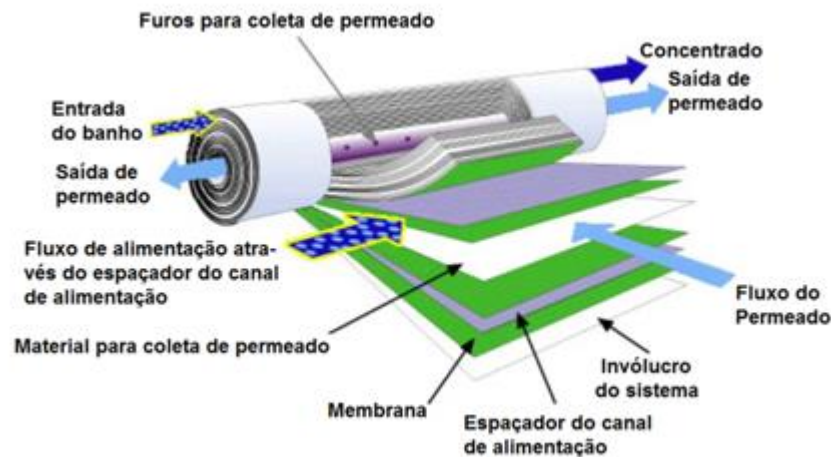
A água ultrafiltrada é produzida por membranas de filtração tangencial, onde as partículas são separadas de acordo com o tamanho e devolvidas ao tanque de tinta (DE MATOS, 2019).

O processo de ultrafiltração é basicamente a filtração através de uma membrana sob pressão e é um processo contínuo que produz um ultrafiltrado/permeado que é removido do banho e contém aproximadamente 0,2% de sólidos, compostos de baixo peso molecular e uma pequena quantidade de solvente. O resto é água. Resinas, pigmentos e alguns solventes não passam pela membrana (DE MATOS, 2019).

O permeado (líquido amarelado) é utilizado para limpar as peças que saem do tanque de eletroforese. A UF é então transferida para um tanque em um sistema de circuito fechado (DE MATOS, 2019).

A taxa de descarga recomendada é estimada em 1,5 - 2 L UF/m² de tinta. Essa relação determina que UF precisa ser gerado para satisfazer o processo de pintura. A Figura 11 demonstra o processo de ultrafiltração ocorrendo a separação das partículas (DE MATOS, 2019).

Figura 11 – Diagrama representativo do processo de ultrafiltrado



Fonte: PPG Iberica S.A. (2003 apud MATOS, 2019)

2.2.4 - Processo de cura

Estão disponíveis três tipos de estufas: por convecção, por radiação e convecção/radiação combinada. O sistema de aquecimento pode ser elétrico ou a gás (DE MATOS, 2019).

Os sistemas que trabalham com chama aberta geralmente são aquecidos indiretamente para que a chama não possa entrar em contato direto com o ar circulante (DE MATOS, 2019).

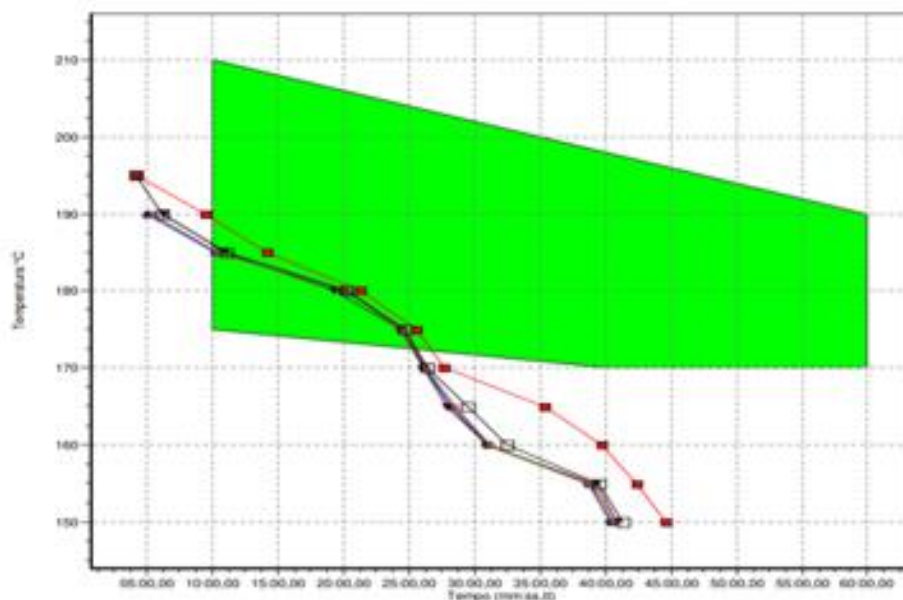
A alimentação de ar fresco deve ser de aproximadamente $3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ da superfície pintada a ser curada. O ar fresco e o ar recirculado devem ser filtrados para evitar que partículas (sujeira) soprem nas peças. É muito importante monitorar a temperatura das várias partes da estufa (DE MATOS, 2019).

O tempo de cura e a temperatura especificados pelo fornecedor da tinta devem ser rigorosamente mantidos. Respeitar os limites da janela de cura é garantir a qualidade da peça final (DE MATOS, 2019). A cura das peças deve ser feita em um forno aquecido indiretamente para evitar que os fumos da combustão do combustível formem compostos orgânicos estáveis que podem condensar e aderir às peças pintadas e paredes do forno. O aquecimento das peças deve ser lento e uniforme, para isso a distribuição da temperatura no interior do forno deve ser equilibrada (DE MATOS, 2019).

O tempo de exposição e o controle de temperatura devem seguir os parâmetros do fornecedor da matéria-prima, uma vez que a temperatura e o tempo de exposição são excedidos, a matéria orgânica do filme de revestimento será perdida, e o filme de revestimento poderá descascar quando os parâmetros de cura não forem atingidos.

Para controlar o perfil de aquecimento da peça é necessária uma análise termográfica de acordo com a Figura 12, demonstra o comportamento de cura da peça, para o fechamento completo do filme é essencial que o substrato permaneça por no mínimo 15 minutos dentro da janela de cura. Recomenda-se um mínimo de quatro análises termográficas por ano para acompanhamento e para demonstrar cicatrização normal (SOARES, 2013).

Figura 12 – Exemplo de janela de cura para o processo de pintura E-coat



Fonte: PPG (2011 apud SOARES, 2013)

2.2.5 – Corrosão

Considerando os avanços da tecnologia nos tempos atuais uma grande variedade de materiais está disponível: metais e ligas; polímeros; madeira; cerâmica e compósitos desses materiais (UHLIG, 1962).

É responsabilidade do projetista selecionar o material apropriado para uma determinada aplicação. Não existem regras gerais para a seleção de materiais

específicos para fins específicos. Uma decisão lógica envolve considerar as propriedades relevantes dos vários materiais, disponibilidade de mercado, custos relativos etc (UHLIG, 1962).

Aspectos econômicos são muitas vezes mais importantes do que aspectos técnicos na decisão final. A escolha do material ideal seria aquele com o menor custo e as propriedades adequadas para atingir a função específica. Ao manusear metais, suas propriedades mecânicas, físicas e químicas devem ser consideradas, mas deve-se notar que, embora muitas propriedades possam ser expressas como constantes, as propriedades de corrosão dependem das condições ambientais em que o metal é usado. A importância relativa das propriedades mecânicas, físicas, químicas e de corrosão de um metal depende em qualquer caso de sua aplicação.

Até recentemente, o termo corrosão era usado para descrever um certo tipo de deterioração do metal que não se aplicava aos materiais não metálicos (UHLIG, 1962).

No entanto, de acordo com os conceitos mais modernos, a corrosão é entendida como a deterioração dos materiais sob a influência do meio ambiente. Assim expresso, o conceito inclui tanto materiais metálicos quanto não metálicos, por exemplo, alguns problemas que afetam o concreto, seguindo mecanismos semelhantes aos que ocorrem na corrosão (DUTRA, 1987).

A corrosão resulta na deterioração do material devido à ação química ou eletroquímica do meio. A corrosão afeta diferentes tipos de materiais, sejam eles metálicos, como aço ou ligas de cobre, ou não metálicos, como plásticos, cerâmicas e concreto (DUTRA, 1987).

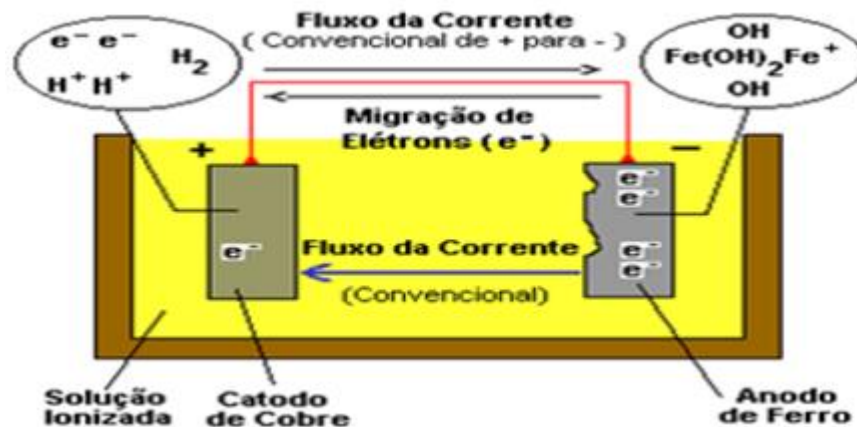
A corrosão metálica é a transformação de materiais metálicos ou ligas metálicas em um determinado meio de exposição através de suas interações químicas ou eletroquímicas, resultando na formação de produtos de corrosão e na liberação de energia. A corrosão química ocorre em altas temperaturas e na ausência de água. Os processos de corrosão eletroquímica são mais frequentes na natureza e envolvem necessariamente a presença de água e a transferência de elétrons. Esse processo ocorre devido à diferença de potencial químico entre o metal e o meio e envolve a reação desses materiais com espécies não metálicas (O_2 , H_2S , CO_2 , etc.) presentes no meio (DUTRA, 1987).

Para que uma célula de corrosão funcione, deve haver: a presença de um ânodo e um cátodo; existe um potencial elétrico entre o ânodo e o cátodo; o caminho metálico

que conecta o ânodo e o cátodo e os dois devem estar imersos em um eletrólito condutor. Enquanto essas condições existirem, uma célula corroída ocorrerá e a corrente fluirá através do metal no ânodo.

De acordo com a Figura 13 a tensão entre o ânodo e o cátodo faz com que os elétrons migrem do ânodo para o cátodo ao longo do caminho metálico. No ânodo, à medida que os elétrons são perdidos, os átomos de ferro carregados positivamente permanecem e se combinam com íons carregados negativamente (H_2O) no ambiente para formar hidróxido ferroso, que normalmente reage para formar hidróxido férrico (ferrugem). Conforme Dutra (1987) no cátodo, uma porção dos elétrons chega do ânodo. Este íon carregado negativamente combina com os íons de hidrogênio carregados positivamente no ambiente para formar hidrogênio (H_2).

Figura 13- Célula de corrosão bimetálica



Fonte: DUTRA 1987

Estas reações celulares podem ser representadas como:

- **Reação Anodo:** $2Fe \rightarrow 2Fe^{2+} + 4e^-$
- **Reação Catodo:** $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

Na presença de oxigênio, o hidróxido ferroso será transformado em ferrugem, $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$.

2.3. LEAN MANUFACTURING

O principal objetivo do Lean Manufacturing é eliminar ou pelo menos reduzir as perdas que ocorrem no processo, seja na prestação de serviços ou no processo de fabricação, portanto, para isso, é necessário utilizar um conjunto de ferramentas. Um

exemplo é o método 5S, Kaizen. Portanto, o Lean Manufacturing foca principalmente na produção enxuta, que é a eliminação sistemática de desperdícios.

Os conceitos acima podem ser resumidos na promoção da melhoria dos sistemas de produção pela eliminação de desperdícios, sempre com o olhar voltado para o processo de melhoria contínua (COUTINHO et al., 2009).

O ponto de partida do Lean Manufacturing é o processo de produção em massa que foi amplamente utilizado na primeira metade do século XX. No entanto, há uma crise nesse sistema de produção. Por exemplo, o fordismo a empresa produzia muito com pouca variação e flexibilidade. Ao longo do tempo, os clientes tornaram-se mais exigentes, conhecedores e conscientes de seus papéis, e as conseqüentes mudanças de hábitos e preferências também mudaram o cenário cultural, social e econômico, tornando as empresas mais flexíveis para a satisfação do consumidor (COUTINHO et al., 2009).

O Lean Manufacturing é baseado no princípio básico, também conhecido como Sistema Toyota de Produção, é que um produto ou serviço deve ser adaptado às necessidades do cliente, para que isso seja possível, é necessário eliminar os desperdícios para fazer melhorias substanciais no processo (KRAFCIK, 1988).

O modelo de gestão propõe a redução de sete tipos de resíduos no processo produtivo. Superprodução, tempo de espera, processamento, transporte, estoque, movimentação e defeitos (PINTO, 2014).

2.3.1 - Perdas Por Superprodução

A produção além do necessário gera uma série de outros desperdícios como: área de estoque, deterioração, custos de energia, manutenção de equipamentos e obsolescência. Portanto, vale ressaltar que a superprodução é um desperdício que afeta diretamente a empresa, trazendo custos e tarefas adicionais e desnecessários (PINTO, 2014).

O restante do produto incorre em custos irrecuperáveis que não beneficiam nem a empresa nem o cliente. As perdas por superprodução são cruciais porque escondem outras perdas, como perdas na produção de produtos defeituosos e perdas por processos de espera e espera de lotes (SHINGO, 1996).

2.3.2 - Perdas Por Tempo De Espera

Os tempos de espera podem ocorrer ao processar, inspecionar ou enviar lotes recebidos (SHINGO, 1996).

O tempo de espera é ocioso por diversos motivos, um deles é aguardar a chegada dos materiais de fabricação, o que incorre em custos para a empresa, além disso, aumenta o tempo de entrega aos clientes, fazendo com que as empresas se mantenham competitivas no mercado, onde tais atrasos não são aceitáveis. Essas perdas também podem estar relacionadas a períodos em que trabalhadores e máquinas não estão sendo utilizados de forma eficaz, embora seus custos horários continuem sendo gastos (SHINGO, 1996).

2.3.3 - Perdas Por Processamento

O processo para ou cresce de forma ineficiente, então eventualmente algumas operações extras são adicionadas ao ciclo de produção para satisfazer condições indesejadas.

Como você pode ver, esse tipo de desperdício afeta direta e indiretamente a velocidade e qualidade do processo, bem como o desenvolvimento de algo desnecessário por não ser o que o cliente pediu. Como complemento ao exposto, são atividades desnecessárias no processo e não exigidas pelo cliente (SHINGO, 1996).

2.3.4 - Perdas Por Transporte

As perdas no transporte são causadas pela movimentação desnecessária de materiais ou produtos e mudanças em sua localização sem que isso precise acontecer. Portanto, essa perda pode ser evitada por meio da aplicação de tecnologia logística, além da melhoria do layout da empresa, o que é bastante viável na maioria dos casos, visando colher os frutos dessa melhoria. A eliminação ou redução do frete deve ser considerada como uma das prioridades nos esforços de redução de custos, uma vez que, no geral, o frete responde por 45% do tempo total de fabricação dos produtos (BLACK, 1998).

2.3.5 - Perdas Por Estoque

O estoque é devido ao excesso de material, produtos acabados e componentes entre as operações no armazém.

O custo de estoque é um dos mais caros do mercado, por isso pode ser evitado a partir do planejamento e controle operacional que as empresas têm que implementar.

É dinheiro estacionado no sistema de produção. Pode ser a "paz de espírito" da fábrica, quaisquer peças, subconjuntos ou produtos completos ou incompletos que estão apenas em estoque ou aguardando entre as operações.

Com base no planejamento e controle da produção (PPC) realizado pela empresa, fica claro quais são as melhores ações a serem tomadas para reduzir substancialmente os custos nesse tipo de perda (BLACK, 1998).

2.3.6 - Perdas Por Movimentos

Os sistemas "Lean Manufacturing" buscam economia e consistência no movimento estudando métodos de trabalho e tempo.

Como se depreende do depoimento, o desperdício de movimentação pode estar diretamente relacionado ao layout da empresa, à movimentação desnecessária de trabalhadores e ao descarte irregular de ferramentas de trabalho, levando a encontrá-las, resultando em perda de tempo e redução do ritmo de trabalho. Colocar e identificar com precisão as peças para os montadores economiza movimento e torna seu serviço menos cansativo (BLACK, 1998).

2.3.7 - Perdas por retrabalho ou defeitos

As perdas na fabricação de produtos defeituosos são as perdas que mais impactam negativamente os clientes, sejam eles internos ou externos. Portanto, esse tipo de perda ocorre quando o produto ou componente fabricado não atende aos requisitos especificados. Para resolver fundamentalmente a perda de fabricação causada por produtos defeituosos, é necessário estabelecer um sistema de inspeção para evitar o aparecimento de produtos defeituosos. Nesse caso, recomenda-se a utilização do Poka-Yoke (dispositivo à prova de erros, projetado para evitar a ocorrência de defeitos) como ferramenta para realizar uma inspeção abrangente do

processo, fornecendo feedback imediato sobre os problemas encontrados, buscando assim suas soluções, levando ao impacto direto no processo Melhorias na qualidade e ganho de tempo (KANNENBERG, 1994).

Com todos os desperdícios mencionados, vale ressaltar que métodos e estratégias precisam ser criados para reduzir ou mesmo eliminar os desperdícios, por isso a manufatura enxuta utiliza ferramentas, que são fundamentais para a eficácia e rentabilidade do processo (KANNENBERG, 1994).

Essas ferramentas ajudam a coordenar os processos produtivos para aumento de produtividade, redução de custos e melhoria contínua, benefícios que toda empresa busca para se manter competitiva em seu mercado. Algumas dessas ferramentas e métodos são: Poka-Yoke; 5S; 6 Sigma; Kanban; Produção Puxada; Fluxo Contínuo; Kaizen e Redução de Conjuntos (KANNENBERG, 1994).

2.3.8 - Poka-Yoke

É um dispositivo à prova de erros que é aplicado na indústria, tendo como principal objetivo a inspeção, mostrando o problema encontrado em determinado processo e a sua causa, sendo possível de identificar e combater o mesmo.

Em qualquer evento, não há muito sentido em inspecionar produtos ao final do processo; já que os defeitos são gerados durante o processo, tudo o que se está fazendo e descobrindo esses defeitos. Neste caso são desnecessários trabalhadores na linha de inspeção, pois o objetivo é evitar o defeito (KANNENBERG, 1994).

A partir disso, pode-se perceber que a técnica poka-yoke foi criada com o objetivo de impedir que os erros ocorram, já que o processo é interrompido sempre que ocorre algum defeito, fazendo com que o processo seja reavaliado, definindo sua causa e solucionando o problema, utilizando estratégias para que o mesmo erro não venha a ocorrer novamente.

A realidade é que a prevenção de defeitos, ou detecção e remoção de defeitos, tem aplicação largamente difundida na maioria das organizações (KANNENBERG, 1994).

2.3.9 - Programa 5S

A metodologia 5S surgiu na década de 50 no Japão, com a finalidade de aumentar a produtividade, qualidade e competitividade organizacional através da criação de um ambiente laboral limpo, organizado e mais seguro (HO, 1999).

Ho (1999) aponta a utilização desta metodologia como o primeiro passo para a melhoria contínua. Porém, o seu sucesso depende da autodisciplina e motivação dos colaboradores e do comprometimento da gestão de topo (ABLANEDO-ROSAS, 2010).

Os 5S's representam uma sequência de 5 sensos que ajudam a tornar os problemas visíveis através da integração de controlos visuais (*me-de-miru kanri*) e sistemas de informação (HIRANO, 1995).

O 5S consiste em separar o que é necessário, o que poderá vir a ser necessário e o que é desnecessário, descartando-o.

Cada objeto deve ter seu lugar, para que seja facilmente encontrado quando necessário; o local deve estar sempre limpo e o que é mais importante deve estar em um local de fácil acesso.

A higiene dos ambientes também é levada seriamente em consideração; a disciplina está presente nesta ferramenta permitindo que ela se torne um hábito saudável. Logo, é notório que o 5S torna o ambiente de trabalho mais agradável e útil, sendo esse o primeiro passo para que o trabalhador se sinta seguro para exercer a sua função e desenvolver o seu papel da melhor forma possível, trazendo resultados positivos para a empresa (HIRANO, 1995).

2.3.10 - Kanban

O conceito básico e fundamental do Kanban é: controle visual. É uma forma de ordenar o trabalho, mostrando quando se deve produzir, como produzir, como transportar ou onde entregar, logo, é possível programar a produção de acordo com o "sistema puxado", pois substitui os formulários e permite uma maior agilidade nos processos, evitando ao mesmo tempo o desperdício, já que vai mostrar somente a quantidade necessária que será produzida, atendendo todos os requisitos de qualidade que o cliente deseja (BLACK, 1998).

Com isso, nota-se que o Kanban é uma sinalização que controla o fluxo de produtos, antes era feita por cartões, mas hoje em dia é mais utilizado o sistema de

luzes, que através da sua sinalização mostra imediatamente aos trabalhadores quando se tem que produzir, fazendo com que já sejam liberados os materiais para o início do processo produtivo (BLACK, 1998).

2.3.11 - Produção Puxada

A produção puxada consiste em produzir apenas aquilo que é necessário quando for necessário, logo, o estoque é praticamente inexistente, evitando desperdícios e perdas, além de entregar o que o cliente deseja quando ele precisa. Por isso a presença do Kanban nesse tipo de produção, sendo a ferramenta responsável pelo gerenciamento das demandas, contudo, a empresa irá produzir a partir da demanda, ou seja, o cliente “puxa” a produção. Cria-se assim um processo puxado pelo cliente e não empurrado pelo produtor (BLACK, 1998).

2.3.12 - Fluxo Contínuo

Para conseguir que o fluxo seja contínuo deve-se encontrar a sequência ideal de etapas que fornecem valor ao produto, visando a não interrupção desta sequência, tornando o processo e os sub processos mais ágeis, economizando tempo e evitando desperdícios. É necessário analisar o processo global em toda sua complexidade para que seja definida uma nova divisão de tarefas e etapas visando a consolidação do fluxo. Complementando o que foi dito, no fluxo contínuo, ou just in time não há interrupções nem formação de estoques intermediários ou superprodução (BLACK, 1998).

2.3.13 - Kaizen

O Kaizen é uma filosofia que busca ter melhorias diárias, envolvendo todas as áreas da empresa, do chefe ao operário, com isso, pode-se dizer que o Kaizen não pode ser classificado como um tipo de projeto, já que ele não tem começo, meio e fim, isso se deve por ele ser uma pratica que deve ser contínua e rotineira dentro do ambiente de trabalho, fazendo assim com que desperte nas pessoas o hábito de inovar, de buscar melhorias para os processos, entre outros benefícios (BLACK, 1998).

Com isso, é notório que o principal objetivo dessa filosofia é a mudança de mentalidade e comportamento de todos os níveis dentro da empresa, do pessoal ao profissional, estando assim focada nas pessoas, já que elas são a base de toda a organização. Deve-se ressaltar que a ferramenta Kaizen tem três pontos-chave para a produção ou processo produtivo, são eles: a qualidade; os custos e a entrega pontual, com isso, o fracasso de um destes três pontos significa perda de competitividade e sustentabilidade nos atuais mercados globais (PINTO, 2014).

2.3.14 - Redução de Setup

Esta ferramenta é muito utilizada em indústrias que produzem diferentes produtos em máquinas comuns a todos ou alguns produtos diferentes entre si. A redução de setup é feita a partir de estudos, onde são identificadas as melhores maneiras de agir, com isso, esse estudo é analisado e aplicado na prática, reduzindo assim os gargalos nos processos, minimizando tempos de paradas de máquinas, além de mostrar todas as atividades que podem ser realizadas enquanto as máquinas estão funcionando, fazendo com que se tenha uma melhoria significativa em todo o processo (MCINTOSH et al. 2000).

Com a utilização desses métodos e ferramentas, o processo deve se desenvolver com mais qualidade, produtividade e com o mínimo de erros possíveis, tendo resultados significativos nos produtos ou serviços, fazendo assim com que a empresa que utilize esse tipo de gestão torne-se ainda mais competitiva no mercado ao qual está inserida. Logo, para a implementação do sistema de gestão Lean não há um tempo definido do início ao fim de sua aplicação, já que segue o conceito de melhoria contínua, ou seja, conta com a colaboração de todos os envolvidos nos processos e na organização, contendo assim todos os níveis hierárquicos existentes dentro da empresa, com isso, não é possível estabelecer prazos para metas (MCINTOSH et al. 2000).

2.4 - SEIS SIGMA

Seis Sigma é uma abordagem orientada para a necessidade do cliente para melhorar processos, produtos e serviços, reduzindo a variabilidade por meio de métodos quantitativos e visando altos retornos financeiros. Ele estreou na Motorola

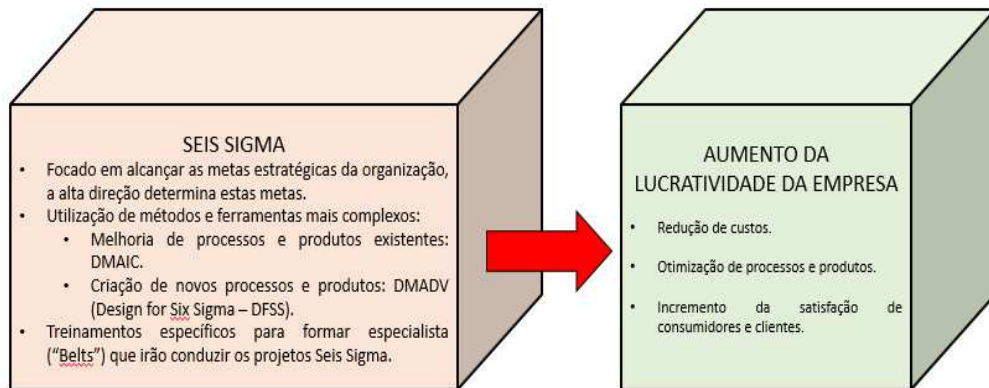
na década de 1980 e foi nomeado oficialmente em 1987. Com o apoio da alta direção e o comprometimento de todos os colaboradores, tornou-se parte da cultura da empresa com grande sucesso e reconhecimento internacional por meio de premiações.

Nogueira (2015) observou que a introdução do Seis Sigma pela Motorola em 1987 foi projetada para permitir que a empresa concorresse com concorrentes que fabricavam produtos com preços mais baixos e qualidade mais alta. A Motorola ganhou o Prêmio Nacional de Qualidade Malcolm Baldrige em 1988, provando que a abordagem Seis Sigma foi a razão do sucesso da organização (WERKEMA, 2020).

À medida que a Motorola implementou com sucesso a abordagem Seis Sigma, outras organizações seguiram o exemplo. No Brasil, o interesse pelo Seis Sigma cresce a cada dia. De acordo com Werkema (2020), empresas como Asea Brown Boveri, General Electric (GE), AlliedSignal (agora Honeywell), Sony e Kodak usaram com sucesso a abordagem Seis Sigma e anunciaram os benefícios alcançados. grande interesse nesta abordagem por parte de outras organizações. Alguns anos depois, empresas brasileiras com atuação no exterior começaram a adotar essa abordagem, a primeira empresa brasileira a fazê-lo foi o Grupo Brasmotor (Multibrás e Embraco), que em 1999 recebeu um retorno de mais de 20 milhões (WERKEMA, 2020).

Conforme a Figura 14 a metodologia Seis Sigma justifica os objetivos estratégicos da empresa, determinando a sobrevivência de todos os departamentos-chave por meio de metas de melhoria, com base em métricas quantificáveis, e por meio de cenários de aplicação projeto a projeto, conforme mostrado na (WERKEMA, 2020).

Figura 14 – Lógica da metodologia Seis Sigma



Fonte: Adaptado pelo autor, Werkema (2020)

Pande et al (2001) articulam que uma metodologia Seis Sigma é definida como um sistema flexível e abrangente projetado para manter, maximizar e alcançar o sucesso do negócio, uma metodologia única impulsionada pelo entendimento das necessidades do cliente, usando dados prescritivos, análises factuais e estatísticas com foco especial em melhoria de processos, gestão e reengenharia. Com essa definição, preparamos o terreno para descobrir o potencial da abordagem Seis Sigma para as organizações. Os benefícios que podem ser alcançados com esta abordagem são:

- Reduzir custos;
- Crescimento de market share;
- Aumentar a produtividade;
- Retenção de clientes;
- Reduzir defeitos;
- Redução do tempo de ciclo;
- Desenvolvimento de serviços/produtos;
- Mudança cultural.

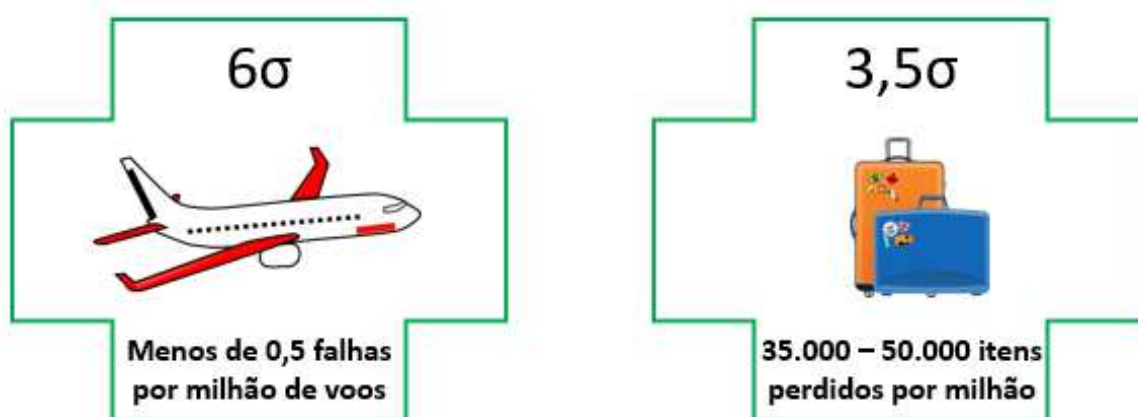
Antony e Banuelas (2002) destacam que para implementar com sucesso essa abordagem, é preciso: profissionalizar os funcionários para atender a abordagem Seis Sigma; obter um compromisso da alta administração para entender a importância da abordagem para a estrutura organizacional geral; O foco de todos funcionários está em melhoria contínua, comunicando a nova cultura aplicada nas atividades da empresa para todas as partes envolvidas e traduzindo todos os benefícios obtidos

com a abordagem Seis Sigma em linguagem financeira que todos os funcionários podem reconhecer aqui impacto na implementação.

Harry e Schroeder (2000) definem uma abordagem Seis Sigma como um processo de negócios cujo objetivo é aumentar os lucros de uma organização por meio da melhoria da qualidade, otimização operacional e eliminação de falhas, defeitos e erros. O objetivo dessa abordagem não é a qualidade Seis Sigma, mas o aumento da lucratividade.

Werkema (2004) afirmou que manter um processo Seis Sigma é muito caro, a adequação do nível sigma deve ser alcançada de acordo com o processo, quanto maior o nível sigma, melhor o processo. A Figura 15 ilustra o processo de decolagem e pouso da aeronave, onde uma falha pode causar grandes perdas humanas, um processo necessário para atingir o nível Seis Sigma e outro processo de logística de bagagem, para este processo de nível Seis Sigma, o custo será muito alto. E aumentaria desnecessariamente o valor da passagem.

Figura 15 – Comparação entre dois processos



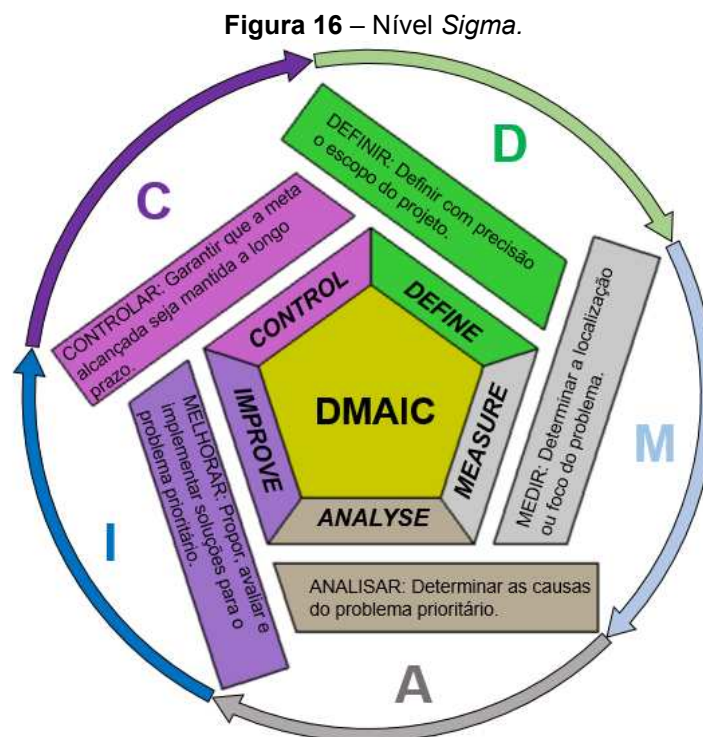
Fonte: Adaptado pelo autor, Werkema (2004)

Cada nível sigma determina o número de defeitos por milhão (ppm), quanto maior o nível sigma (desvio), menor a probabilidade de um defeito aparecer no produto ou serviço. O objetivo desta abordagem é atingir uma taxa de erro zero, mas a partir do nível 4 do Sigma, é considerado um processo de produção muito bom.

Segundo Rotondaro et al. (2002), é difícil manter um processo centralizado no longo prazo, sob o pressuposto de uma distribuição normal e, portanto, concorda com o deslocamento da média nominal de 1,5 desvios-padrão. Concluiu-se que um processo foi considerado Seis Sigma quando atingiu 4,5 desvios padrão entre a média dos limites inferior e superior da especificação.

2.4.1 Método DMAIC utilizado na filosofia Seis Sigma

Originalmente, a Motorola desenvolveu o método MAIC (Medir, Analisar, Implementar, Controlar), que é uma evolução do ciclo PDCA. Essa abordagem foi posteriormente adotada pela General Electric (GE), que determinou incluir uma fase inicial, definida pela letra "D", para demonstrar que entregaria um projeto focado. A partir de seu uso na GE, a abordagem DMAIC tornou-se a base da filosofia Seis Sigma na organização e o sucesso dessa abordagem está relacionado ao seu comprometimento com a metodologia. De acordo com Pande et al. (2001) a Figura 16 mostra a lógica básica do ciclo PDCA é "W. Edwards Deming" com o objetivo de melhorar o processo baseado em dados.



Fonte: Adaptado pelo autor, Werkema (2020).

Segundo Werkema (2012), o DMAIC pode e deve complementar o ciclo PDCA à medida que o sistema de gestão se desenvolve e o nível de treinamento dos funcionários da organização aumenta. As vantagens do método DMAIC são:

- Descrever um roteiro detalhado das atividades metodológicas, levando a análises precisas, conclusões confiáveis e manutenção dos resultados a longo prazo;

- A ferramenta se adapta ao script DMAIC;
- Concentre-se nos seguintes elementos:
- A voz do cliente (via CTQ - característica fundamental da qualidade);
- Normalização dos sistemas de medição (confiabilidade dos dados);
- Padronização do retorno econômico do projeto pelo controller da organização;
- Os gerentes estão envolvidos e diretamente envolvidos em determinadas atividades, como assinar o termo de abertura do projeto e entregar o projeto ao dono do processo;
- Revisão do projeto ao final de cada fase do DMAIC (Toll Gate) para avaliação do desenvolvimento do projeto.

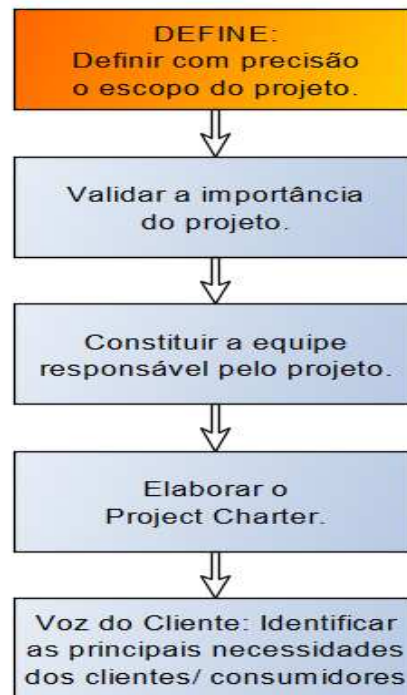
Não existe um procedimento DMAIC para solucionar o problema, utilizando julgamentos errados ou precipitados que não conseguem determinar a real causa, produzindo procedimentos errôneos e ineficazes, podendo o mesmo problema se repetir no futuro. Para cada etapa do DMAIC, é realizado um processo de aprovação chamado Gate Review. De acordo com Rozenfeld (2012), a conexão das etapas determina que a próxima etapa não deve ser iniciada até que a etapa anterior seja concluída, permitindo uma compreensão mais efetiva do processo e a identificação de formas confiáveis de melhorar o processo ou solucionar o problema.

2.4.2 Etapa D. Definir

A primeira etapa do DMAIC é D (Definição) "Definição", na qual são definidos os pontos que serão abordados e exploradas as possibilidades de melhoria existentes. Outro ponto a definir nesta etapa é que os membros da equipe participante trabalharão durante todo o processo, exigindo uma equipe diversificada para que haja contribuições de diferentes perspectivas.

Conforme Werkema (2020) a Figura 17 mostra o que devemos determinar para alcançar o objetivo com a aplicação do método, outro ponto desta etapa, e um rico brainstorming ajudará a selecionar problemas objetivamente e identificar os relevantes e acionáveis visão geral da etapa "D".

Figura 17 – Etapa D. Definir



Fonte: Adaptado pelo autor, Werkema (2020)

Werkema (2020) também esclareceu que nesta fase deve ser elaborado o termo de abertura do projeto, documento de valor contratual que será assinado pelo gestor da empresa (campeão e patrocinador) e pela equipe responsável pela execução do projeto, o projeto, os termos deste contrato O objetivo é:

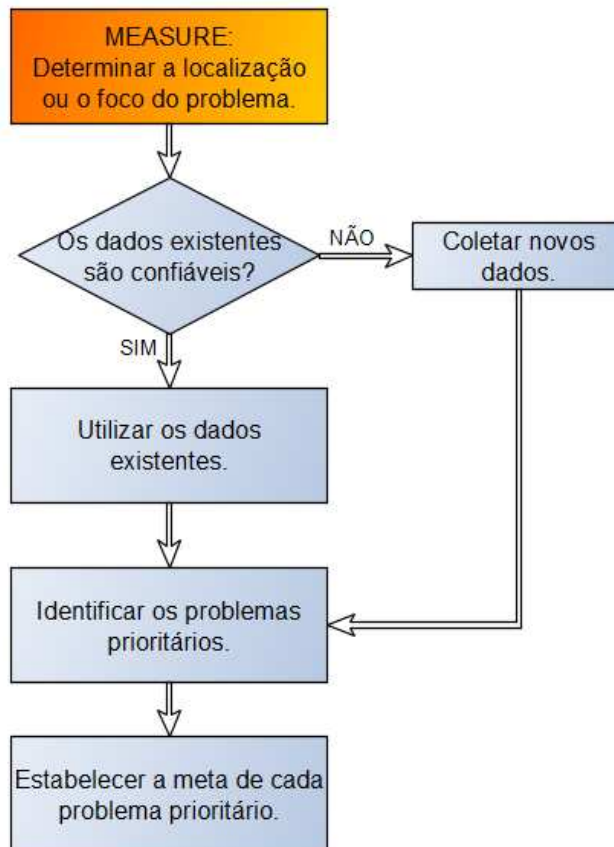
- Articular as expectativas da equipe do projeto;
- Garantir que a equipe esteja alinhada com os objetivos da organização;
- Determinar formalmente a transferência do projeto, de campeão para equipe;
- Garantir que a equipe atenda ao escopo definido para o projeto.
- Nesta etapa, também é desenvolvido um mapeamento das questões definidas no escopo do projeto e é realizada a seleção de uma ou algumas características-chave de qualidade relevantes para o fornecedor selecionado. Ainda nesta etapa, são definidas as métricas que serão monitoradas e, após a definição, é investigado o histórico do fornecedor para entender a viabilidade do projeto em relação aos objetivos da organização. De acordo com Coronado e Antony (2002) nesta fase são analisadas as necessidades do cliente e os imperativos do negócio para identificar os processos chave que irão definir a seleção do projeto a ser desenvolvido.

- A fase de definição utiliza uma variedade de ferramentas e técnicas, sendo as principais:
- VOC - Voz do cliente: A voz do cliente é projetada para identificar expectativas e necessidades, começando pela definição do projeto (DENOVE e POWER, 2006).
- SIPOC – Fornecedor, Entrada, Processo, Saída, Cliente: Esta técnica é utilizada para absorver de forma mais correta as relações contidas no processo, desde o fornecedor até o atendimento ao cliente (GUPTA, 2006).
- QFD - Desdobramento da Função Qualidade: Inclui a priorização das necessidades do cliente e seus comentários, e a transformação desses dados em especificações de produtos, projetos, serviços e/ou processos (ALLEN, 2006).

Segundo Eckes (2001), o problema deve ser descrito porque existe. O problema deve ser mensurável, alcançável e específico, pois isso fornecerá a gravidade do problema e seu impacto no negócio precisa ser descrito. Ele afirmou ainda que metas e objetivos alcançáveis devem ser identificados e acordados entre líderes e membros da equipe. Você tem que definir metas sobre os resultados, não os meios do processo.

2.4.3 Etapa M. Medir

Conforme Figura 18 a fase M (Medir) “medidas”, dimensionando as estatísticas dos indicadores de desempenho organizacional que fazem parte do processo que deve ser otimizado. É necessário ter dados quantitativos para que comparações mais confiáveis possam ser feitas antecipadamente e para garantir que a validade das mudanças seja validada com esses resultados. Possibilita que a equipe estude a situação atual da organização, verificando onde ocorrem os acertos e erros, que devem ser corrigidos. Nesta etapa, os níveis Sigma são definidos Werkema (2020) apresenta uma visão geral da etapa "M" com um fluxograma.

Figura 18 – Etapa M. Medir

Fonte: Adaptado pelo autor, Werkema (2020)

Segundo Coronado e Antony (2002), na segunda fase do DMAIC, são aplicadas ferramentas estatísticas para medir o desempenho de um processo a fim de visualizar seu estado atual e definir metas de melhoria. A etapa "medição" é a base do método DMAIC, pois garante que o sucesso dos projetos de melhoria possa ser avaliado no futuro.

Werkema (2012) descreveu que antes de iniciar a coleta de dados, o sistema de medição deve ser preparado e validado, e as verificações a serem utilizadas determinadas. Nesta atividade, são utilizadas ferramentas de "avaliação de sistemas de medição e inspeção", que permitem quantificar o grau de precisão dos dados gerados pelos sistemas de medição e inspeção de uma organização.

2.4.3.1 Análise ao sistema de medição (MSA)

A Análise de Sistemas de Medição (MSA) corresponde a um conjunto de estudos estatísticos destinados a verificar a capacidade e adequação dos sistemas de medição às características a serem medidas e assegurar que permaneçam

adequados para controlar um determinado processo ou produto. Os sistemas de medição podem ser considerados como uma das fontes de variabilidade que afetam as características de qualidade do processo e do produto final (MONTGOMERY, 2009).

O estudo MSA avalia a mudança de um sistema de medição em relação a um valor de referência em termos de posição, incluindo a avaliação de tendência, estabilidade e linearidade, e a magnitude do sistema em termos de repetibilidade e reprodutibilidade (CHRYSLER GROUP, 2010).

A análise dos sistemas de medição também depende do tipo de dados utilizados, que podem ser variáveis aleatórias numéricas ou atributos (dados binários e nominais) (SHEEHY et al., 2002). Os estudos de variáveis numéricas abrangem análises de tendência, estabilidade, linearidade e GRR (repetibilidade e reprodutibilidade de variáveis numéricas), enquanto os estudos de atributos incluem apenas análises R&R (repetibilidade e reprodutibilidade de atributos). Neste projeto, apenas a análise de R&R será tratada.

2.4.3.2 Análise R&R

A análise de R&R permite determinar a capacidade ou eficácia de cada controlador para detectar repetidamente peças não conformes e determinar se os resultados são consistentes entre controladores e em relação a uma referência ou padrão (CHRYSLER et al., 2010). A seguir, são descritas as várias etapas para realizar uma análise de R&R.

De acordo com Pande et al. (2001) Embora exija muito esforço, a maioria das coisas que acontecem em uma organização podem ser mensuradas, e a capacidade de “observar” é um dos requisitos para isso. Medir requer atenção, energia e recursos, o que significa que você não precisa fazer medições desnecessárias Eckes (2001) esclarece que se um indivíduo não faz medições e não descreve declarações sobre um processo, então é apenas um indivíduo com uma opinião específica.

Várias ferramentas e técnicas são utilizadas na fase de medição, sendo as principais:

- FMEA - Análise de Modos e Efeitos de Falha: Esta técnica é utilizada para analisar um produto ou processo, identificar possíveis modos de falha e determinar o efeito de cada modo no desempenho do processo ou produto (PALADY, 1997);
- Histograma: É uma representação visual da distribuição dos dados que permite interpretar três propriedades de um conjunto de dados de processo: tendência central, forma e dispersão (MONTGOMERY, 2004);

ANOVA – Análise de Variância: Esta técnica é um teste estatístico para verificar se existem diferenças significativas entre as médias e se esses fatores têm efeito sobre a variável dependente. Essa técnica permite comparar médias de diferentes grupos, também conhecidas como tratamentos, como médias históricas de problemas de satisfação em diferentes receitas para empresas que trabalham simultaneamente em muitas outras aplicações (VIEIRA, 2006).

De acordo com Pande (2001) É importante ter um processo de medição que inclua: desenvolvimento de definições operacionais, desenvolvimento de planos de aquisição e amostragem, seleção do que medir, identificação de fontes de dados, implementação e refinamento de medições. Compreender a diferença entre medidas discretas e contínuas é importante porque afeta não apenas como uma medida é definida, mas também como os dados são coletados e o aprendizado obtido com eles.

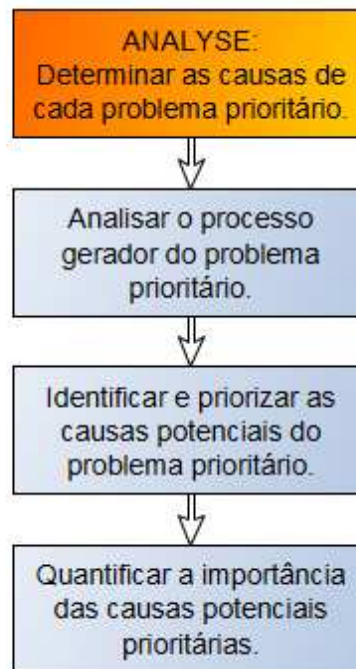
2.4.4 Etapa A. Analisar

Na terceira fase do DMAIC, a fase "Analisar" deve identificar a causa raiz do problema prioritário associado a cada meta identificada na etapa anterior, e cada meta deve ter uma resposta à pergunta: Por que o problema prioritário? Isto existe (WERKEMA, 2020).

Essa etapa é fundamental para identificar ações para eliminar o problema e implementar as melhorias necessárias. A origem ou causa raiz do problema também é definida nesta etapa. Nas etapas anteriores, a equipe analisou vários eventos para determinar o que causou cada evento, mas foi necessário determinar a causa raiz, que foi o que criou o desvio e impediu que o processo funcionasse 100%. Ao definir esta causa, espera-se que um plano de ação de melhoria possa ser desenvolvido.

Segundo Eckes (2001), às vezes uma equipe tem uma falsa compreensão da causa de um problema, levando-a a passar pela fase de análise de forma superficial para identificar soluções de melhorias precipitadas. Na Figura 19 Werkema (2020) apresenta uma visão geral da etapa "A" com um fluxograma.

Figura 19 – Etapa A. Analisar



Fonte: Adaptado pelo autor, Werkema (2020)

Segundo Coronado e Antony (2002), a terceira etapa do DMAIC é a “análise”, na qual são utilizadas ferramentas estatísticas para detectar a causa raiz do problema identificado. Essa etapa é importante porque determina a direção da ação na causa raiz do problema, permitindo que você aja na causa do problema e não nas consequências.

Rotondaro et al. (2002) esclareceram que esta fase é denominada "análise causal", na qual a análise dos dados previamente coletados durante a fase de medição é realizada por meio de ferramentas qualitativas e estatísticas. As causas que afetam o resultado do processo devem ser identificadas.

A análise de causa será processada usando técnicas e ferramentas, que são introduzidas principalmente da seguinte forma:

- DOE - Design of Experiments: Esta técnica é utilizada para projetar experimentos para definir quais dados devem ser coletados durante um determinado

experimento, em quais condições e em quais quantidades para obter maior precisão estatística e menor custo nas respostas (AGUIAR e WERKEMA, 1996);

➤ Diagrama de causa e efeito: Esta técnica, também conhecida como “diagrama de espinha de peixe” ou “diagrama de Ishikawa”, é uma representação gráfica que apresenta a relação entre um conjunto de causas e sub causas que produzem determinado resultado. (pergunta). Dessa forma, o diagrama ilustra claramente as diversas causas que afetam o processo, correlacionando e categorizando essas causas (ISHIKAWA, 1998).

Análise de Regressão e Correlação: Esta é uma técnica para entender a análise de dados amostrais e entender como determinados conjuntos de variáveis se relacionam com outra variável (JOGLEKAR, 2003).

Comece com um conjunto de ideias determinado a melhorar o processo e conduza uma análise para indicar quais ideias têm o maior impacto nos requisitos do cliente. As melhorias geralmente são vistas como tendo o menor tempo e custo, sem que se preste atenção à verificação de que atenderão aos requisitos do cliente.

Segundo Tayntor (2003), após a equipe listar as causas da variação no processo, os membros começam a pensar em formas de eliminar essa variação por meio de brainstorming para gerar ideias para categorizar em termos de tempo e custo. Implemente cada mudança.

Pande et al. (2001) declararam a fase de análise como a menos previsível das DMAICs, garantindo imprecisões na determinação da causa raiz. As ferramentas definidas para análise e como são utilizadas dependem muito do problema que está sendo analisado e dos processos envolvidos. Propõe também que a fase “Analisar” seja um ciclo de melhoria de processos impulsionado pela avaliação de “e se” sobre a causa do problema.

Para Werkema (2012) Ao final desta fase, as causas-raiz dos problemas prioritários devem ser identificadas e quantificadas, com o objetivo de lançar as bases para a geração de soluções, o que deve ocorrer na próxima fase do DMAIC.

2.4.5 Etapa I. Melhorar

Na quarta fase do DMAIC, a fase “Melhorar” envolve inicialmente a geração de ideias e soluções potenciais com o objetivo de remover as causas raízes dos problemas prioritários identificados na fase “Analisar” (WERKEMA 2020).

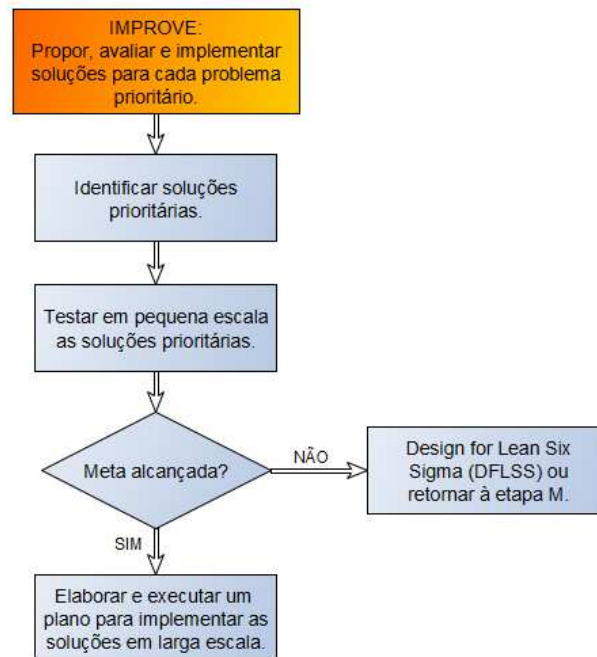
Nesta etapa, a equipe inicia o trabalho, ou seja, hands-on, com o objetivo de melhorar a causa raiz do problema identificado na etapa anterior.

A equipe lista as causas-raiz e possíveis soluções, seleciona as opções mais viáveis para desenvolver um plano de ação e testes que demonstrarão a eficácia de cada opção. Nem todas as possibilidades de ação identificadas pela equipe precisam ser testadas, elas podem ser arquivadas para testes futuros. Com base nos resultados dos testes, determine as ações de melhoria mais eficazes para eliminar a causa raiz do problema e implementá-la na organização. Essas implementações podem ser acompanhadas por colaboradores que fazem parte da equipe do DMAIC, que acompanharão a execução do processo em escala. Segundo (ROTONDARO et al. 2002).

Esta fase do DMAIC é quando a equipe deve fazer melhorias no processo existente. Quando as equipes recebem estatísticas que foram transformadas em dados do processo, elas mesmas devem fazer isso com o objetivo de modificar tecnicamente os elementos do processo e agir contra a causa raiz.

A fase de “melhoria” é considerada uma fase crítica, pois é nessa fase que as melhorias são implementadas no processo, que é a fase em que a equipe interage diretamente com os colaboradores que executam a atividade. Na Figura 20 Werkema (2020) apresenta uma visão geral da etapa "I" com um fluxograma.

Figura 20 – Etapa I. Melhorar



Fonte: Adaptado pelo autor, Werkema (2020)

Segundo Coronado e Antony (2002), a quarta etapa do DMAIC é a “melhoria”, na qual são utilizadas ferramentas estatísticas para melhorar o processo, aprimorar o processo, desenvolver novas soluções ou eliminar erros.

Pande et al. (2001) afirmaram que todos os resultados de medição, definição e análise de problemas de processo ocorrem durante a fase de "melhoria". Mas ele foi cauteloso quando disse que a falha em examinar as soluções do início ao fim, a falta de criatividade, a resistência organizacional e a implementação casual e superficial foram fatores para o sucesso do projeto Seis Sigma.

Nesta fase é importante buscar formas de maximizar os benefícios de seus esforços, desde que o risco seja aceitável, existem formas de resolver outros problemas com soluções limitadas, e você deve aproveitar essa Vantagem:

- As equipes geralmente reduzem as soluções quando podem alcançar mais, apenas usando mais criatividade e uma perspectiva mais ampla Porter (2000) define a fase de "melhoria" de forma muito simples como a fase em que se considera a resolução de problemas e a geração de soluções melhoradas, com o objetivo de atender aos requisitos financeiros e de desempenho.

Nesta fase, inclui a soma das atividades relacionadas à seleção, geração e implementação da solução. As soluções geradas e selecionadas pela equipe serão

processadas por meio de técnicas e ferramentas, que são descritas principalmente a seguir:

- Matriz de Prioridade: É uma ferramenta para auxiliar na priorização da tomada de decisão, que pode ou não ser baseada em critérios com pesos definidos (FLORAC e CARLETON, 1999);
- Pareto: é uma técnica que utiliza um gráfico de barras para ordenar a frequência de ocorrência, determinada da maior para a menor, permitindo que os problemas sejam priorizados. A maior utilidade de um "gráfico de Pareto" é identificar e visualizar facilmente os problemas ou causas mais importantes para que você possa se concentrar em resolvê-los (ALLEN, 2006);
- Análise Custo Benefício: É uma técnica para comparar os custos de implementação de estratégias possíveis pelos benefícios que elas geram. Buscando melhorar a relação custo-benefício (BREYFOGLE, 2003).

Segundo Tayntor (2003), é necessário desenvolver um plano simplificado para implementar as melhorias propostas. Partes interessadas. Também esclarece que o passo mais longo na fase de "melhoria" do DMAIC é desenvolver e implementar mudanças. Após concluir essas atividades, a próxima fase do DMAIC, controle.

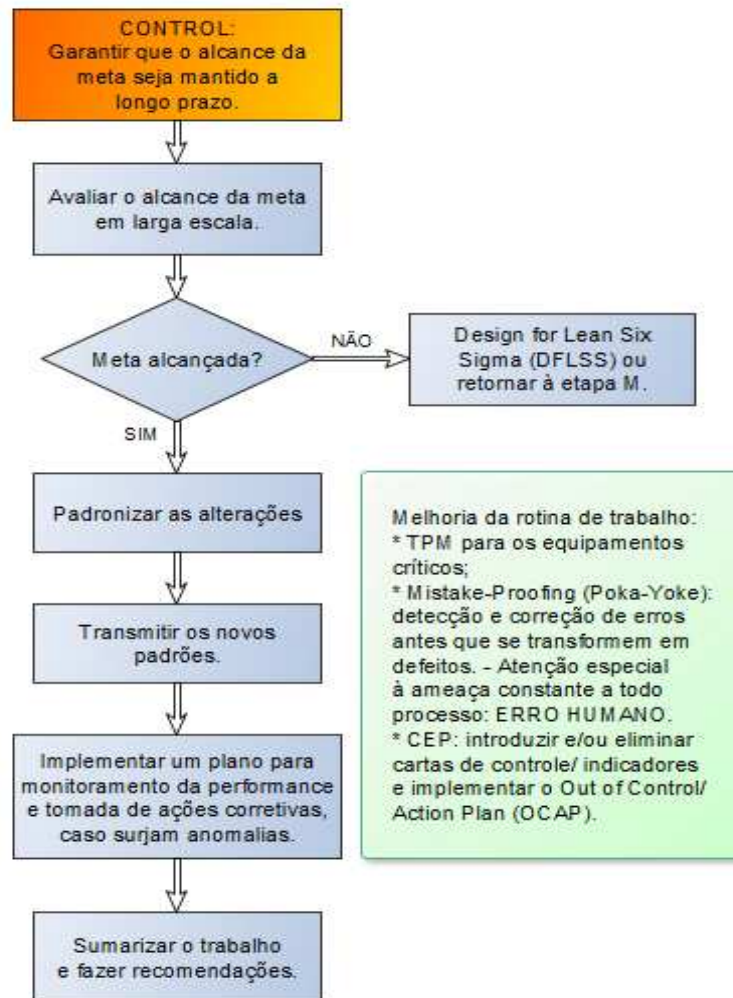
2.4.6 Etapa C. Controlar

A etapa final do DMAIC é a fase de "controle" (controle), que garante que a organização mantenha sua busca pela melhoria contínua dos processos. Depois de muito trabalho ter sido feito para implementar o plano de ação, é crucial monitorar os resultados e o desempenho alcançado. Um passo simples é criar um checklist para controlar as atividades que compõem o plano e gráficos de controle, que ajudam a quantificar esse progresso. Werkema (2020) esclareceu que essa fase do DMAIC avalia o alcance das metas em larga escala, e os resultados obtidos por meio do monitoramento durante a ampla implementação da solução confirmarão o alcance do sucesso.

Tayntor (2003) destacou que a fase de "controle" do DMAIC difere de outras determinações de qualidade, que terminam com a implementação da solução. A metodologia Seis Sigma reconhece a necessidade de uma fase adicional, denominada fase de controle, cujo objetivo é controlar o processo de melhoria,

produzindo um ciclo de melhoria contínua, ações que garantem que a melhoria seja mantida ao longo do tempo. Na Figura 21 Werkema (2020) apresenta uma visão geral da etapa "C" com um fluxograma.

Figura 21 – Etapa C. Controlar.



Fonte: Adaptado pelo autor, Werkema (2020)

Segundo Rotondaro et al. (2002), a detecção mais rápida possível de mudanças no comportamento do processo pode determinar o início de ações corretivas apropriadas para corrigir o processo a tempo de evitar surpresas.

Pande et al. (2001) defende a exploração de desafios de longo e curto prazo para apoiar a melhoria do 6 Sigma e unifica todos os métodos e conceitos das fases anteriores em uma abordagem de gerenciamento que é executada por meio de várias funções contínuas. Para o desempenho do 6 Sigma, três ações básicas precisam ser implementadas no processo de gestão:

1. Implementar medidas e ações contínuas para manter a melhoria: documentar novas abordagens e mudanças, construir suporte sólido para soluções, criar planos de resposta de processo e estabelecer métricas e gráficos significativos;
2. Definir responsabilidades de propriedade e gestão de processos: definir as suas responsabilidades, designar “donos de processos” e estabelecer novas hierarquias, quer ao nível funcional quer ao nível departamental;
3. Realize o monitoramento de “circuito fechado” e impulsiona o desempenho Seis Sigma: Forneça gerenciamento de processos que agregue valor à organização para se tornar realmente Seis Sigma.

O controle deve ocorrer no nível estratégico e tático, aplicando um conjunto de técnicas e ferramentas no processo de melhoria para garantir o desempenho do Seis Sigma, as principais técnicas e ferramentas são:

- Carta de Controle: Essa técnica é chamada de carta de controle e tem como objetivo mostrar se um processo está sob controle estatístico, auxiliando na avaliação da estabilidade do processo e no monitoramento da variabilidade (MONTGOMERY, 2004);
- Plano Institucionalizado: Este é um plano para demonstrar como a organização deve implementar melhorias (CHRISISS et al. 2006);
- Avaliação do sistema de medição: Verificação da adequação do sistema de medição da organização (FLORAC e CARLETON, 1999).

Harry e Schroeder (2000) afirmaram que se houver um período de adaptação durante a fase de controle, a capacidade do processo deve ser re-determinada para garantir que os benefícios definidos sejam mantidos. Dependendo dos resultados obtidos, algumas etapas anteriores do DMAIC precisarão ser reaplicadas. Com a conclusão das quatro fases de "medir, analisar, melhorar e controlar" para todos os principais processos da empresa, haverá melhorias revolucionárias na economia e na satisfação do cliente.

2.4.7 Definição da cultura Lean

A filosofia enxuta é um método de gerenciamento de atividades que visa evitar custos em termos de tempo, finanças, mão de obra, etc. A literatura traduz o termo “Lean” para o termo “Lean”, em uma metodologia que utiliza apenas os recursos necessários para evitar o desperdício de determinado trabalho. Fernandes e Ramos

(2006) interpretam o Lean como Lean Manufacturing, uma ferramenta focada em eliminar desperdícios e agregar valor aos clientes, atendendo com eficiência as necessidades dos clientes e otimizando recursos.

Segundo Werkema (2020), o Lean surgiu na Toyota em meados da década de 1950 para reduzir os altos custos incorridos em atividades que agregam pouco valor ao produto, determinado a partir do que os clientes estão dispostos a pagar. agregar valor a ele.

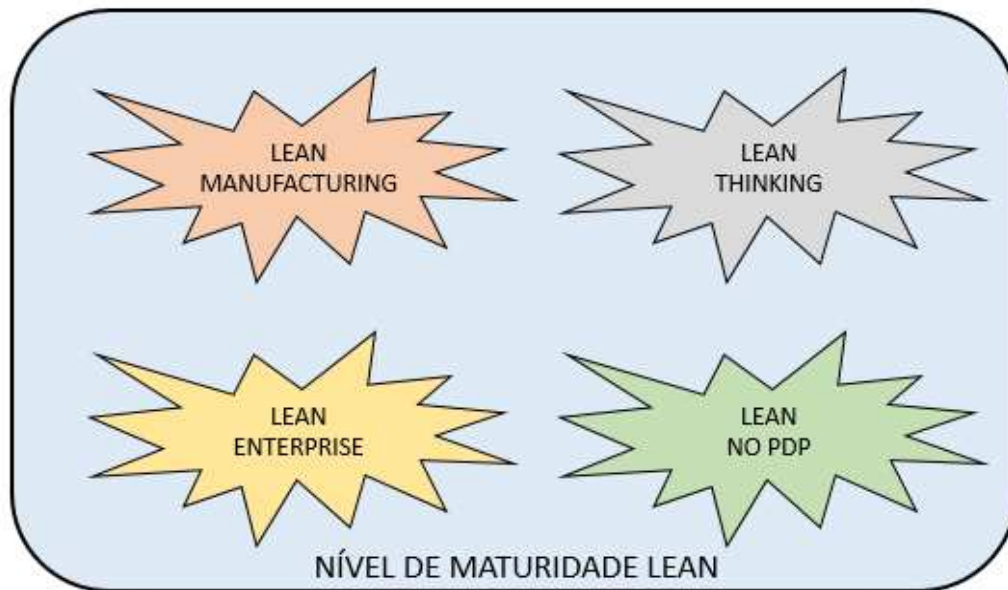
A principal característica da filosofia Lean é utilizar todos os recursos investidos em equipamentos, máquinas, instalações, pessoas e materiais para atingir o pico da capacidade produtiva e obter valor para os clientes. Segundo Womack e Jones (2003), a filosofia Lean ocorre por meio de uma série de procedimentos e conceitos projetados para simplificar a forma como as organizações eliminam todos os desperdícios e coletivamente criam valor para os clientes.

Zolkos (2007) enfatiza a filosofia enxuta focada na redução de várias fontes de desperdício, a fim de agregar valor aos clientes. Nessa perspectiva, a filosofia Lean possui cinco etapas, a saber:

- Valor: Nesta fase, a organização deve identificar as reais necessidades dos clientes, deixar que os clientes definam o que é valor em seu produto, o que não vão pagar é desperdício e deve ser eliminado;
- Cadeia de Valor: É o segundo princípio Lean e é a etapa de observar o método de entrega de valor ao cliente, identificando as etapas que agregam valor ao produto;
- Fluxo contínuo: é a fase que busca subtrair algum aspecto ou atividade que não tenha valor agregado ao processo, atende às necessidades dos clientes previamente identificadas, possui menor tempo de processamento de pedidos, baixo estoque e velocidade. tornar-se a fase mais difícil para alcançar a saciedade.
- Produção puxada: Como nesta fase começa a produzir apenas o que o cliente precisa, o estoque é reduzido ao mínimo. Na produção puxada, elimina-se a necessidade de descontos e promoções, pois acabam fazendo com que o item fique fora de produção por um longo período de tempo;
- Perfeição: Reconhece-se a dificuldade de atingir a perfeição, por isso, nesta etapa, buscamos constantemente criar valor, eliminar desperdícios e buscar a melhoria contínua de pessoas, processos, produtos, etc.

Segundo Manjunath e Bargerstock (2011), em todo o mundo, as organizações estão trabalhando rapidamente para implementar os conceitos Lean, mas existem algumas divergências quando se trata de adaptar os modelos tradicionais de gestão a essa filosofia. Quando as organizações adquirem o padrão de maturidade dessa filosofia, elas colhem os benefícios inerentes a ela. Dentro da filosofia Lean, destacam-se quatro conceitos que atingem níveis de maturidade, conforme mostra a Figura 22.

Figura 22 – Concepções da filosofia Lean.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A manufatura enxuta pode ser descrita como uma metodologia projetada para resolver problemas com base em análises estatísticas e fluxo de processos com o objetivo de otimizar o processo e evitar desperdícios durante sua execução. Womack e Jones (2003) afirmam que essa abordagem se concentra na redução de sete desperdícios: movimento; tempo de espera; estoque; superprodução; transporte; deficiências; e super processamento. À medida que esse desperdício é eliminado, os custos e o tempo de produção diminuem e a qualidade aumenta. Quando as organizações começam a implementar conceitos enxutos, elas precisam medir o nível que desejam alcançar, precisam motivar, treinar e fornece recursos adequados aos seus operadores, esses requisitos são, elementos chave de design de sucesso para Lean Manufacturing, (FITZGERALD 2011).

Os altos executivos que têm autonomia e poder para mudar processos utilizam o conceito Lean Thinking, pois envolve a implementação de mudanças ousadas nos processos de trabalho. Usando as ideias e experiências da equipe da linha de frente,

o objetivo é converter desperdícios, resíduos ou perdas em valor na perspectiva do cliente. Womack e Jones (2003) apontam que os operadores não têm autonomia para fazer mudanças em larga escala em seus processos, e sua abordagem não é um processo de resolução de problemas, mas uma abordagem de reengenharia que visa mudar o nível estratégico, fluxo de trabalho e pessoas. comportamento.

O Lean Enterprise é desenvolvido no chão de fábrica de toda a organização, e é um processo enxuto que começa no primeiro contato com o cliente e passa pela negociação e fechamento de um pedido, faturamento, fabricação, entrega do produto e pagamento ao cliente. Essas etapas buscam, em última análise, a eficácia e eficiência organizacional, reduzir custos e eliminar desperdícios Thomas et al. (2002) afirmam que o Lean Enterprise está relacionado ao Lean Thinking, cujo objetivo é qualificar uma organização para produzir e entregar qualquer produto em sua linha de produção a qualquer momento com alta qualidade e baixo custo.

O Lean no PDP decorre das expectativas do cliente em relação ao produto, captura o verdadeiro valor definido por ele e visa criar e moldar fluxos de valor novos e lucrativos para a organização.

Segundo Kennedy (2003) e Mascitelli (2007), o Lean no PDP evolui a partir do alinhamento de processos (nivelamento, padronização, engenharia simultânea, etc.), adoção de técnicas e ferramentas eficazes (base de conhecimento, comunicação e visualização simples, etc.) e atribuição de quadros técnicos (integração multifuncional, parcerias, competências funcionais, integração com fornecedores, etc.).

Ferreira (2004) afirma que o sucesso da utilização do método Lean é atribuído às várias vantagens que oferece:

- Custo: Gastos de manufatura enxuta de materiais, mão de obra e equipamentos para reduzir o que é essencialmente necessário;
- Qualidade: O sistema garante que os defeitos persistam durante todo o processo, pois os trabalhadores foram treinados e adquiriram conhecimento para identificar defeitos e desenvolver métodos para resolvê-los e evitá-los.
- Flexibilidade: somente mudanças no mix de produtos determinam sua flexibilidade;
- Rapidez: A redução do tempo, o baixo nível de estoque e a flexibilidade determinam o curto ciclo de produção e a agilidade do processo. Padronização de

componentes, diferenciação de produtos na fabricação final, garante menor lead time dos produtos;

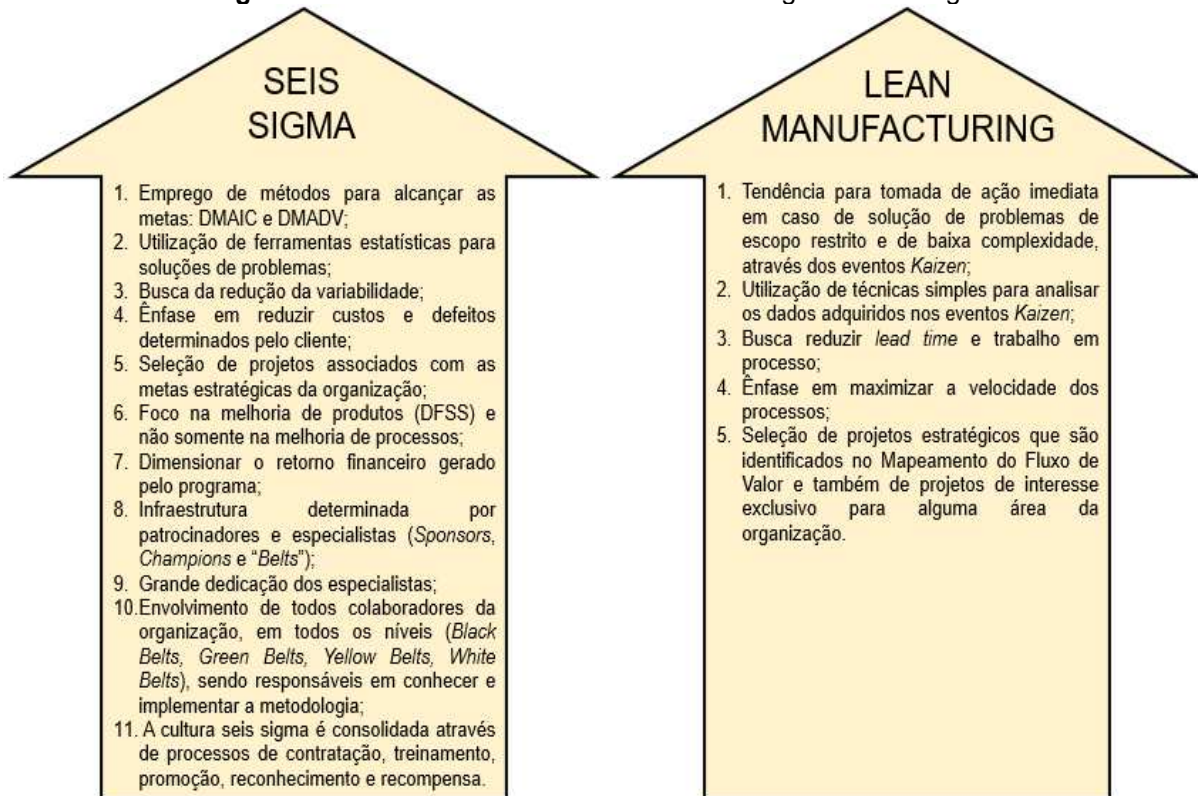
➤ Confiabilidade: A flexibilidade dos trabalhadores e a manutenção preventiva aumentam a confiabilidade da entrega. O gerenciamento visual e as regras kanban garantem a identificação ágil de problemas que podem afetar a confiabilidade.

2.4.8 Design for Lean Seis Sigma (DFLSS)

A abordagem DFLSS é a integração do Seis Sigma e do Lean Manufacturing, e seu objetivo é que as organizações aproveitem ambas as abordagens e eliminem variáveis de processo e desperdícios para alcançar a satisfação do cliente. Werkema (2012) esclareceu que o método DFLSS deve ser utilizado nas seguintes situações:

- A organização visa desenvolver novos produtos ou novos processos;
- A utilização do método DMAIC não pode atender às necessidades do cliente, sendo necessário, na melhoria do processo ou produto, redesenhar ou redesenhar o processo ou produto;
- O processo envolvido atingiu seu mais alto nível de desempenho (autorização do processo) e um novo processo deve ser desenvolvido para substituir o processo atual;
- À integração entre as metodologias de manufatura Seis Sigma e Lean é natural, e as organizações devem alavancar ambas as filosofias porque Seis Sigma não se trata de aumentar a velocidade do processo e reduzir os prazos de entrega, não há solução para a Manufatura Enxuta. Ferramentas (WERKEMA, 2020). A Figura 23 ilustra os benefícios do Lean Manufacturing e Seis Sigma.

Figura 23 – Pontos fortes do Lean Manufacturing e do Seis Sigma.



Fonte: Adaptado pelo autor, Werkema (2020)

Os pontos fortes dos métodos Seis Sigma e Lean garantem uma abordagem estruturada com atividades definidas e foco na melhoria contínua dos processos. De acordo com Anthony e Kumar (2012), o Lean visa desenvolver um ambiente para melhorar os processos e eliminar os desperdícios, enquanto o Seis Sigma visa identificar e dimensionar os problemas associados às mudanças nos processos.

O método DFLSS é a mais recente forma de gerenciar um negócio, derivado da combinação do DFSS com ferramentas e princípios Lean, abordando uma abordagem sistêmica (método DMAIC), utilizando técnicas de estatística, engenharia e manufatura enxuta para PDP e processos judiciais. Mousa (2013) esclareceu que essa abordagem agrega novos conceitos, ferramentas e métodos para remover limitações previamente identificadas. Tanto a filosofia *Lean* e a *Seis Sigma*, evoluíram para sistemas de gerenciamento extensos que desenvolveram a metodologia *Lean Seis Sigma*.

Em ambos os casos, a implementação envolve: mudança cultural na organização, investimento em treinamento de funcionários e funcionários comprometidos com novas abordagens, desde a alta direção até o chão de fábrica.

A integração dos métodos Lean e Seis Sigma deu origem à filosofia Lean Seis Sigma, Todorut et al. (2010) descrevem a tendência contínua de convergência entre as filosofias Lean e Seis Sigma, onde os pontos fortes das duas filosofias interagem como gestão sinérgica, propondo serviços e produtos de alto nível a preços competitivos, eliminando perdas de produção e alcançando um excelente nível de desempenho.

A utilização da metodologia DFLSS aprofunda o conhecimento da organização para alcançar a qualidade que os clientes esperam desde o início do desenvolvimento, desde o conceito do produto até as expectativas do mercado. Para permitir que as organizações usem métodos e ferramentas mais eficazes e eficientes no processo de planejamento da qualidade que esperam alcançar para novos produtos: reduzir o tempo de lançamento, melhorar a confiabilidade do produto, reduzir custos, introduzir novas tecnologias etc (WERKEMA, 2012).

O método DFLSS utiliza o método DMAIC, que consiste em cinco etapas: definir, medir, analisar, desenvolver e validar Werkema (2012) ilustra a justificativa para o método, parafraseada de Gerald Hahn, Necip Doganaksoy e Roger Hoerl, a Figura 24 mostra as 4 justificativas de Werkema.

Figura 24 – Princípios básicos da metodologia DFLSS.

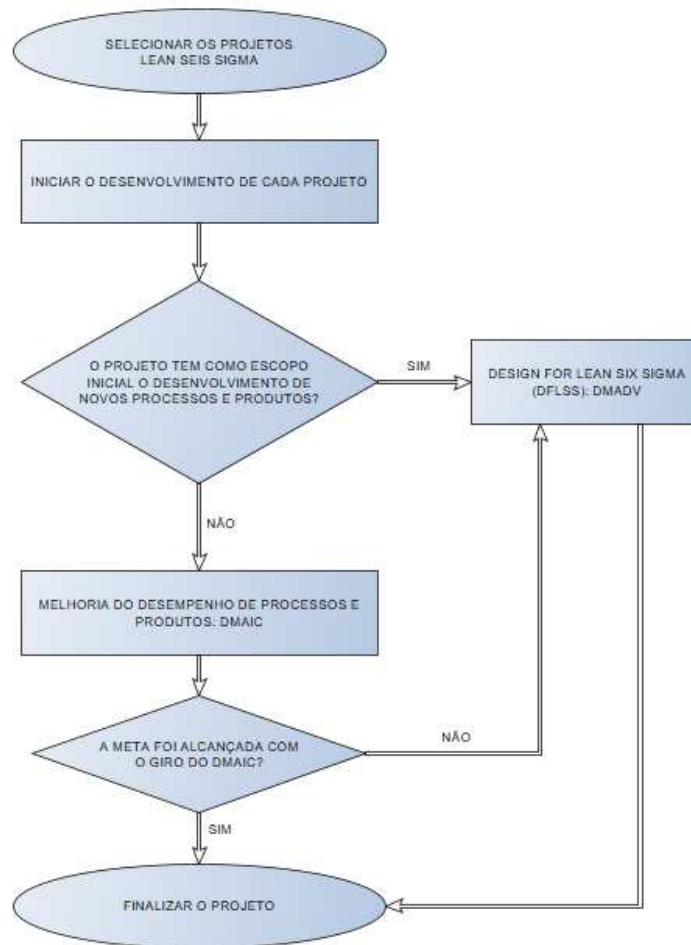


Fonte: Adaptado pelo autor, Werkema (2012)

- Identificação da Especificação do Cliente: Nesta fase, você precisa usar as ferramentas do QFD e pesquisa de mercado. A qualidade e outras características-chave exigidas pelo cliente de um novo processo ou produto são definidas no nível do cliente.
- Decomposição ou fluidização da especificação: Nesta fase, os requisitos do cliente são decompostos em especificações para projeto detalhado, projeto funcional e variáveis de controle do processo de produção.
- Capacitação ou Melhoria de Processo: Nesta etapa, a capacidade do processo ou produto de atender às especificações definidas pelo cliente é validada usando dados existentes ou novos. Essa validação pré-determina possíveis requisitos de mudança e metas reconhecidas no desenvolvimento do projeto.
- Modelagem: Neste caso, a capacidade de ter fluxos de alta especificação e fluxos de baixo volume é desenvolvida através do relacionamento entre as especificações do cliente e os elementos do projeto. O estabelecimento dessas relações é baseado em modelos de princípios físicos, modelos empíricos ou uma combinação destes.

A metodologia DMAIC identificam dois caminhos que uma organização deve seguir ao iniciar o gerenciamento de desenvolvimento de produtos ou processos Werkema (2012) ilustra a melhor maneira de implementar um projeto em um fluxograma. A Figura 25 mostra este fluxograma.

Figura 25 – Qual método utilizar- DMAIC / DMADV.

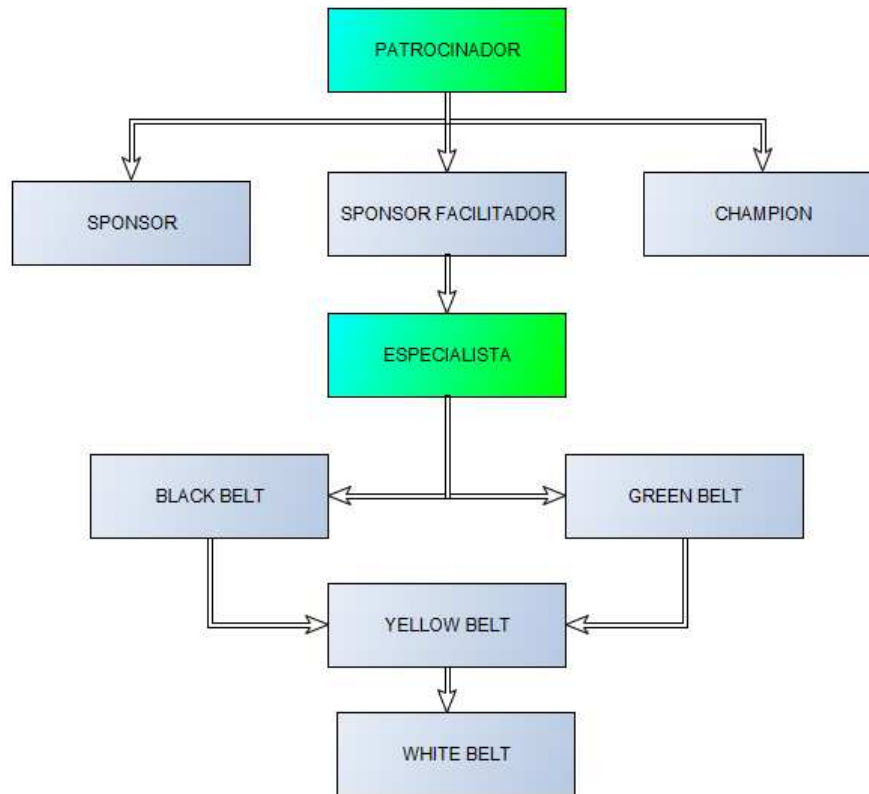


Fonte: Adaptado pelo autor, Werkema (2012)

O DFLSS garante que as organizações atinjam as recomendações estabelecidas, resultando não apenas em benefícios financeiros, mas também na fidelidade do cliente. Garanta a continuidade do processo e aumente a eficiência. Segundo Rotondaro et al. (2002) A abordagem é entendida como uma estrutura de trabalho definida com foco na melhoria contínua do processo.

Uma abordagem DFLSS a ser desenvolvida dentro de uma organização requer uma compreensão de todos na hierarquia que deve ser empregada, e o conselho e a administração devem apoiar o uso da nova abordagem para que todos possam alcançar o sucesso desejado Werkema (2020) A Figura 26 mostra essa hierarquia, dividida em patrocinadores (patrocinadores, patrocinadores de promoção e campeões) e especialistas (faixa preta master, faixa preta, faixa verde, faixa amarela e faixa branca).

Figura 26 – Hierarquia da equipe Lean Seis Sigma.



Fonte: Adaptado pelo autor, Werkema (2012)

Na implementação e desenvolvimento de projetos Lean Seis Sigma, é imprescindível a formação de especialistas em diversas áreas, e estes devem ter formação técnica. Esses profissionais serão responsáveis por facilitar a mudança organizacional.

2.4.8.1 Os Patrocinadores

De acordo com Harry e Schroeder (2000), os "patrocinadores" são tipicamente líderes informais que aplicam a abordagem Seis Sigma em seu trabalho diariamente e aproveitam todas as oportunidades para transmitir informações por meio dessa abordagem. Eles são considerados os proprietários dos sistemas e processos que ajudam a coordenar e iniciar as tarefas de melhoria Seis Sigma nos departamentos pelos quais são responsáveis.

Pyzdek (2000) afirma que uma abordagem Seis Sigma deve ser liderada pelo diretor executivo (CEO) da organização, que é responsável pelo desempenho da

organização. Pande et al (2001) descrevem o mesmo que Pyzdek (2000), com os “patrocinadores” do projeto como membros da alta administração.

Para Werkema (2020), o “patrocinador” é o primeiro na organização que define e promove diretrizes para a implementação da abordagem Seis Sigma. O “Patrocinador Promotor” é responsável por assessorar o patrocinador e deve ser um dos diretores da organização.

2.4.8.2 Os “Campeões”

Segundo Harry e Schroeder (2000), o comprometimento de uma organização com o processo de implantação da cultura Seis Sigma deve ser realizado por um representante da alta administração, que desempenhará o papel de um “campeão” responsável pela disseminação do Seis Sigma. Sigma dentro de uma organização não se certifique de que há comprometimento da equipe no desenvolvimento do projeto. Procedimentos regulares de avaliação.

Pyzdek (2000) também descreve “campeões” como “patrocinadores”, afirmando que são profissionais seniores que entendem o método Seis Sigma e focam em seu sucesso. Um patrocinador é o proprietário dos sistemas e processos que ajudam a iniciar e coordenar as atividades de melhoria Seis Sigma.

Segundo Rotondaro et al. (2002) O papel de “campeão” é definido por uma referência simplificada e muito objetiva à sua função, o que ocorre frequentemente em grandes organizações com vários departamentos. Para Pande et al. (2001) “Campeões” devem assumir responsabilidades-chave, muitas vezes exigindo um equilíbrio delicado, pois as equipes precisam de liberdade para tomar suas próprias decisões, mas por outro lado, também precisam de um líder para orientar a direção dos esforços da equipe.

2.4.8.3. Os “Black Belts”

Segundo Harry e Schroeder (2000), os “faixa preta” é um líder de um projeto de grande porte que atua em determinadas áreas da organização. Essa função geralmente é desempenhada por funcionários experientes e com visão global da empresa. Ele gasta 100% do seu tempo trabalhando em métodos Seis Sigma. Desses

forma, a organização conta com uma equipe totalmente dedicada e bem treinada, focada na melhoria contínua de seus processos.

Rotondaro et al. (2002) afirma que sob o comando de um “Master Black Belt”, um “Black Belt” deve trabalhar ao lado de um “Green Belt”, ele também enfatiza a atribuição de funções: como dominar técnicas estatísticas e de resolução de problemas, e ter um Excelente conhecimento técnico.

Os “Master Black Belts” possuem o mais alto nível de competência organizacional e técnica na filosofia Seis Sigma. Desta forma, eles possuem todo o conhecimento da “faixa preta” e podem levar os “faixa preta” a utilizar o método corretamente em situações anormais PYZDEK (2000). Ele também esclareceu que os “faixas pretas” são colaboradores orientados para a tecnologia cujas habilidades incomuns são levadas em consideração. Eles precisam participar dinamicamente no desenvolvimento organizacional e nos processos de mudança e se esforçam para extrair conhecimento dos estoques de informações organizacionais.

Pande *et al* (2001) descrevem os papéis, princípios e responsabilidades dos termos “faixa preta” e “faixa preta master” como essencialmente os mesmos. A principal diferença entre eles é o nível de treinamento e experiência adquirida, os “Master Black Belts” geralmente são especialistas em ferramentas estatísticas, mas também podem se tornar consultores internos de gestão de mudanças.

2.4.8.4. Os “Green Belts”

Segundo Harry e Schroeder (2000), “green belt” são membros de equipes multifuncionais que não estão totalmente focadas no projeto, geralmente são colaboradores profissionais em suas atividades e possuem um nível inferior de conhecimento.

Pyzdek (2000) afirma que um “cinturão verde” na metodologia Seis Sigma lidera e gerencia projetos, capacitando e construindo equipes Seis Sigma do conceito à conclusão.

Rotondaro et al. (2002) apontaram que os cargos de “cinturão verde” geralmente são ocupados pela gerência intermediária de uma organização. Ele também afirmou que os “faixas verdes” recebiam menos treinamento que os “faixas pretas” e que seu

principais papéis era auxiliar as "faixas pretas" na condução de experimentos e coleta de dados.

2.4.8.5. Os "Yellow Belts"

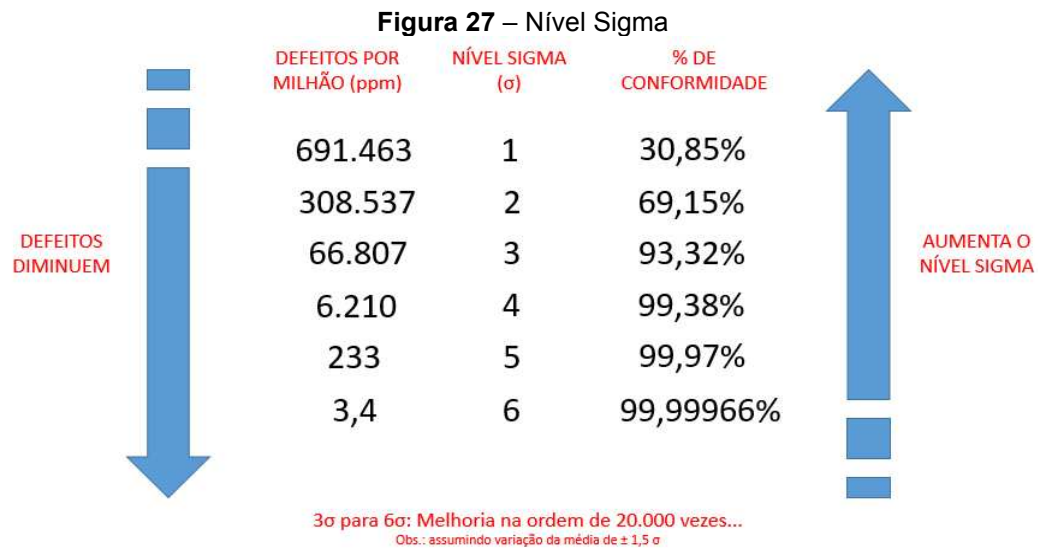
Harry e Schroeder (2000) elucidam que os "Yellow Belts" são membros da equipe "Black Belts" e "Green Belts". O objetivo principal deste membro, é contribuir para a disseminação da metodologia e cultura Seis Sigma, auxiliando para o êxito dos projetos.

Segundo Werkema (2020) os "Yellow Belts" detêm um nível de supervisão na organização, sua função principal é supervisionar como está sendo utilizado as ferramentas Seis Sigma no dia-a-dia da organização, executando projetos focados e com desenvolvimento mais acelerado do que os realizados pelos "Green Belts".

2.3.8.6. Os "White Belts"

De acordo com Harry e Schroeder (2000), "White Belts" são os restantes membros do grupo que adquiriram um conhecimento básico da metodologia Seis Sigma para poder informar e colaborar com sucesso em projetos.

Werkema (2020) afirma que os "cinturões brancos" têm um nível operacional em uma organização e devem ser treinados nos fundamentos da metodologia Seis Sigma para dar suporte tanto aos "cinturões verdes" quanto aos "cinturões pretos". Sua principal função é executar as ações operacionais do dia a dia da organização para garantir que os resultados de longo prazo sejam mantidos conforme a Figura 27.



Fonte: Adaptado pelo autor, George (2002)

A filosofia que sustenta o Seis Sigma é a melhoria contínua e pode ser aplicada a empresas de todos os portes, em todos os setores de serviço ou produção, sejam eles públicos ou privados.

Portanto, vale destacar que o principal objetivo do Seis Sigma está focado na obtenção de resultados de qualidade tanto para o processo quanto para o produto. Para isso, essas estratégias buscam facilitar mudanças significativas, buscando sempre a melhoria contínua no processo, serviço ou produto fornecido aos clientes para sua satisfação (YANG, 2012).

2.5 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM)

Sabendo que o mercado se tornou mais intenso e competitivo nos últimos anos devido ao processo de globalização, as empresas brasileiras buscam cada vez mais alcançar altos níveis de produtividade e competitividade por meio de diversos métodos de planejamento da qualidade. Entre eles, podemos focar no modelo de referência TPM do Japão - Total Productive Maintenance.

Segundo Nakajima (1989) o TPM visa melhorar a eficiência dos ativos reduzindo as falhas de máquinas, aproveitando melhor os equipamentos disponíveis e reduzindo as perdas em diferentes etapas e áreas do processo produtivo.

No presente trabalho, foi realizado um levantamento sobre o tema para encontrar informações sobre a atual fase de uso do modelo no Brasil e sua disseminação pelo mundo.

Para tal, procuramos primeiramente descrever a origem do modelo, começando pelas empresas associadas ao Grupo Toyota por volta de 1971, sendo o Japão o país onde começou a sua aplicação em empresas do setor automóvel.

Após a Segunda Guerra Mundial, os EUA decidiram apoiar o Japão técnica e financeiramente, e o Japão foi geralmente devastado pela guerra, com o lançamento da primeira bomba atômica matando dezenas de milhares de japoneses.

Nessa nova situação competitiva, os japoneses começaram a buscar formas de eliminar desperdícios e aprimorar procedimentos para aumentar a qualidade e a produtividade.

Empresários japoneses remanescentes da crise do pós-guerra, apoiados por professores norte-americanos como Edward Deming e Joseph Juran, iniciaram uma poderosa mobilização nacional para conscientizar sobre a importância da qualidade como fator de sobrevivência. O cenário econômico que surgiu após a guerra.

A busca pelo aprimoramento das atividades empresariais e pela industrialização aprimorada fornece a base para a popularização de conceitos e técnicas relacionados a programas de manutenção, qualidade e produtividade. Assim, segundo Robinson & Ginder (1995, p: 1), "O termo 'manutenção produtiva total' foi utilizado pela primeira vez no final da década de 1960 pela Denso, fornecedora de peças elétricas para a Toyota. Wang (2006) Falando sobre o processo de TPM se espalhando pelo mundo, ele descreveu que "os métodos e técnicas de TPM foram implementados com sucesso no Japão e foram aplicados no exterior".

Segundo Seth (2006) "Os benefícios do TPM criam uma estratégia abrangente e representam uma poderosa ferramenta de gestão que pode reduzir os custos do ciclo de vida de equipamentos e instalações".

Para Nakajima (1989, p: 10), "TPM pode melhorar o desempenho geral de uma instalação, graças a uma organização baseada no respeito à criatividade humana e na participação universal de todos os funcionários da empresa".

Shirose (1996) destacou: "A maior característica do TPM é a participação de todos os membros da empresa, desde o chão de fábrica até a alta direção, na forma de pequenos grupos de trabalho, visando atingir os seguintes objetivos: dano zero; dano zero; acidentes; zero defeitos; melhorar a eficiência dos equipamentos e processos de gestão".

Yamashina (2000) concluiu que "através do uso eficaz de equipamentos, máquinas e serviços de suporte, o TPM pode ser a maior fonte de lucratividade e boa governança para uma organização".

Segundo Suzuki (1992, p: 6), "o TPM está crescendo rapidamente na indústria de montagem e é amplamente adotado por empresas do setor automotivo, eletrodomésticos e fabricantes de semicondutores e componentes eletrônicos.

Além disso, o TPM foi introduzido em indústrias de processamento contínuo, como refino de petróleo, química, siderurgia, alimentos, gás natural, cerâmica, cimento, papel, farmacêutica, metalurgia, vidro, pneus e impressão. Segundo o mesmo autor, "Existem três fortes razões para a popularidade do TPM no Japão: excelentes resultados nas operações; melhoria do ambiente da planta e a possibilidade de receber o prêmio PM's Outstanding Plant Award, que é concedido anualmente pelo JIPM – Concedido pelo Japan Institute Plant Of Maintenance para empresas que demonstram excelência no uso do TPM.

Dedica-se aos seguintes objetivos: pesquisa e análise do progresso do TPM; pesquisa sobre a crescente utilização de tags RFID (Radio Frequency Identification Tags) e o uso de sensores em ambientes industriais; desenvolvimento de MOSMS - Maintenance Optimization Strategic Management System (Sistema de gestão manutenção estratégica) e realizar estudos de segurança e acidentes.

2.5.1- TPM ao redor do Mundo

Nas décadas de 1970 e 1980, o avanço da economia japonesa e a expansão da participação de mercado da indústria automobilística japonesa levaram a um crescente interesse pelo uso de tecnologias de produtividade como TPM na América do Norte, Europa, Ásia e até mesmo na América do Sul, especialmente no Brasil.

Em novembro de 1991, o JIPM realizou seu primeiro TPM World Congress em Tóquio, com a presença de mais de 700 pessoas de mais de 100 empresas em 22 países diferentes. Segundo Robinson & Ginder (1995), 150 deles eram estrangeiros e 29 deles norte-americanos.

A conferência teve uma grande parcela de melhorias e processos relacionados ao TPM em todo o mundo e gerou grande interesse porque muitas empresas participantes possuem subsidiárias em outros países, como grandes corporações como Alcoa, Ford, Kodak, Xerox e DuPont. A discussão nesta conferência focou em

como estabelecer a ligação entre qualidade e manutenção, e o caso relatado pela Volvo introduziu o conceito de “qualidade autônoma” ou “manutenção autônoma” através do TPM (ROBINSON & GINDER, 1995).

De acordo com os autores acima, nos Estados Unidos da América, organizações como AIPE (American Institute for Total Production Maintenance) realizam muitas conferências e reuniões sobre TPM; IIE - Institute of Industrial Engineers; SMRP - Institute for Repair Feasibility; IMI - International Instituto de Reparação.

Grandes empresas como a Ford estão muito interessadas no TPM.

Este fato originou-se há muitos anos, após a publicação do livro em inglês de Seiichi Nakajima "Introduction to PMS" em 1988.

Em novembro de 1998, a North American TPM Conference organizada pelo JIPM foi realizada em Evergreen, Atlanta, EUA, e apresentou quatro prêmios "Excellence in TPM" foi escrito pelo vice-presidente da entidade - Tokutaro Suzuki. Na Europa, o interesse e a curiosidade sobre o tema também persistem, pois a EFNMS (Federação Europeia e Nacional das Sociedades de Manutenção) é realizada a cada dois anos em cada estado membro de forma rotativa um workshop sobre TPM. O JIPM participa enviando palestrantes e compartilhando histórias de sucesso da aplicação TPM.

Na França, o TPM é amplamente utilizado, especialmente na fabricação de aço, máquinas-ferramenta, indústria gráfica e empresas automotivas. O mesmo vale para os fabricantes italianos de automóveis e cerâmicas, conforme descrito por FERRARI et al. (2002, p:2). No estudo intitulado "TPM: Situações e Procedimentos para a Introdução Gradual da Indústria Italiana", a implementação do conceito TPM é caracterizada pela análise e análise entre indústrias (Alemanha, Noruega e Finlândia).

Por exemplo, em países asiáticos como a Malásia, o TPM também existe, conforme descrito em um trabalho de pesquisa dos pesquisadores da Universidade da Malásia em Kuala Lumpur em um trabalho de pesquisa intitulado "The Status of TPM Implementation on SMI". A Survey Study in Malaysia", publicado no Journal of Maintenance Engineering Quality (2004, p. 93), demonstrando a importância do impacto da aplicação de métodos TPM em pequenas e médias indústrias em países em desenvolvimento.

Na Índia, segundo Seth e Tripathi (2006), “Recentes reformas econômicas têm atraído muitas empresas estrangeiras para um dos maiores mercados do mundo e,

para tanto, muitas empresas indianas têm buscado soluções comerciais para aumentar sua competitividade. exemplo TQM (Total Quality Management) e TPM" Todos os anos, o JIPM reconhece e premia fábricas que praticam TPM em todo o mundo.

O Brasil também tem demonstrado grande interesse no uso do método, desde a primeira visita do professor Seiichi Nakajima, 1986, falando na cidade de São Paulo, algumas empresas brasileiras foram candidatas ao prêmio JIPM TPM ao longo da década de 1990, também pelo fato de as empresas brasileiras divulgarem o uso do TPM em diferentes estados e nas mais diferentes regiões da atividade.

Uma empresa chamada IM&C Internacional de São Paulo teve um papel muito importante na divulgação da metodologia TPM, uma consultoria com fins lucrativos que realiza fóruns, visitas ao Japão, cursos de formação para multiplicadores, facilitadores e instrutores teve um papel importante. Normas JIPM e serviços de consultoria para o processo de premiação.

Outro serviço importante é o fornecimento de literatura sobre o assunto por meio de uma licença obtida em uma oficina japonesa.

Em novembro de 1996, no Rio de Janeiro, em evento organizado conjuntamente pelo Instituto Brasileiro de TPM (IBTPM) e IM&C, o professor Seiichi Nakajima participou da comemoração dos 10 anos de sua primeira visita ao Brasil e realizou um evento. TPM Forum, empresas de todo o mundo, incluindo Ford nos Estados Unidos, Clabinal em Portugal, Grupo Carbajal na Colômbia, e outras incluindo o Japão, estiveram presentes e apresentaram cases.

Segundo Ribeiro (2004) no Brasil, muitas empresas vêm adotando o TPM, com base em alguns princípios de trabalho em equipe e autonomia, e uma abordagem de melhoria contínua para evitar falhas.

O mesmo autor observa ainda que "algumas empresas instaladas no Brasil têm um processo de implantação uniforme, inclusive algumas que ganharam o prêmio JIPM. São elas: Yamaha, General Motors, Alcoa, Pirelli Cabos, Pirelli Pneus, Andréas Stihl, Alumar, Texaco do Brasil, Fiat, Copene, Ford, Azaléia, Marcopolo, Multibras, Editora Abril, Votorantin Celulose e Papel, Eletronorte, Gessy Lever, Tilibra, Cervejaria Kaiser, Ambev e mais."

No final da década de 1990, a organização sem fins lucrativos IBTPM teve um papel importante na divulgação do TPM, pois realizou diversos eventos para

compartilhar prêmios práticos realizados por empresas brasileiras e estrangeiras que já haviam recebido o TPM. Obrigado pela troca de informações entre as empresas que adotam o TPM e os resultados de desempenho alcançados pelos praticantes, em todo o Brasil, o número de empresas interessadas neste tema está crescendo muito rapidamente.

Nos últimos anos, surgiram diversas consultorias com foco especial nas tecnologias dos diversos pilares do TPM, a maioria concentrada no estado de São Paulo um estudo de Rossi & Lima (2004) analisou uma amostra de 25 empresas do estado de São Paulo e a utilização de técnicas e pilares de TPM em diversos aspectos.

Os autores concluem que existem diferentes formas de sequenciar a implementação dos projetos e diferentes situações de verdadeira compreensão do significado e alcance do projeto.

Uma das questões abordadas pela ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção - realizada a cada dois anos em um estudo nacional com dezenas de empresas brasileiras é identificar o uso do TPM nas empresas de resposta.

Ribeiro (2004), ao estudar a teoria e a prática do TPM no Brasil, cita diversos casos de implementação da prática do TPM, focando no caso da Tilibra - indústria de cadernos e agendas, onde o TPM vem ganhando força desde julho de 1997. Destaca-se também a Alcoa – divisão Poços de Caldas – a TPM apoia a Alcoa Business Systems e a Cromex Brancolor, esta divisão tem obtido excelentes resultados desde 2001, aumentando a capacidade produtiva, reduzindo perdas, melhorando a qualidade do produto e reduzindo significativamente os Acidentes Sennics no setor industrial Paulo e Bahia.

Em outros estados, como no Rio Grande do Sul, diversos trabalhos acadêmicos sobre TPM vêm sendo desenvolvidos por meio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS - envolvendo estudos de caso implementados por empresas da região. No norte do Brasil, existe uma importante empresa do setor de energia, a Eletronorte, vem desenvolvendo a implantação do TPM desde 1997, conforme definido no estudo de Melo (2002, p: 9).

A região da Eletronorte da Somália e Amapá está na área de transmissão, conversão e geração de energia. Desde 1999, a Eletronorte também implantou o TPM nas áreas de transmissão e produção dos estados do Pará, Maranhão, Tocantins, Rondônia, Acre e Roraima. Segundo Tenório e Palmeira (2002, p: 24), “a Eletronorte

foi a primeira concessionária de energia elétrica do mundo a adotar o TPM, sem paradigma comparável”.

A Unilever é um grupo internacional com importante posição no mercado brasileiro, que adota o TPM como modelo de gestão em suas fábricas globais e contribui decisivamente para a disseminação do TPM no Brasil. Diversas fábricas se inscreveram para concorrer em várias categorias de premiação do JIPM, promovendo o uso do TPM em vários estados brasileiros. Em 2007, a fábrica da Unilever do Brasil em Pouso Alegre – MG recebeu o Prêmio JIPM TPM – 1º lugar. categoria.

Outra empresa internacional que adotou o TPM no Brasil é a Tetrapak, que recebeu o Prêmio Especial TPM Achievement em 2005 para sua divisão de Monte Mor no interior de São Paulo, que também utiliza o mesmo procedimento para sua divisão de Ponta Grossa – PR 2007, a Tetrapack tem também foi reconhecido pelo JIPM novamente por sua consistência de boas práticas de TPM nas duas plantas mencionadas acima.

Podemos concluir que o TPM é um programa ou mesmo uma filosofia que vem se difundindo entre as empresas brasileiras desde a década de 1990 e tem se mostrado uma forma eficaz de buscar a excelência e a competitividade. No entanto, seu uso entre empresas nacionais tem permanecido bastante limitado, e sua prática tem sido estimulada por corporações multinacionais, em especial, que trouxeram ao país o modelo que o mundo adotou em suas operações.

Isso pode ser visto a partir de dados obtidos do JIPM durante o processo de premiação do TPM no ano passado, quando o Brasil estava apenas em 11º. No ranking de 29 países com reconhecimento de empresas, há apenas 3 fábricas brasileiras, o mesmo que empresas multinacionais, a saber, Unilever de Pouso Alegre, Tetra Pak de Monte Mais Ponta Grossa com premiação especial e Arcor de Bragança Paulista em 97 reconhecimentos e prêmios médios.

A disseminação global do TPM também mudou, com 29 países recebendo cada vez mais reconhecimento pela excelência na prática do TPM, acima de um total de 24 nomeações em 2005.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, a dissertação caracteriza e justifica a metodologia empregada na realização desta pesquisa, consistindo pela descrição do tema pesquisado, procedimentos técnicos e objetivos que se deseja alcançar. O delineamento desta pesquisa pode ser visto na Figura 28, este fluxograma tem o objetivo de facilitar a visualização das abordagens, das metodologias e dos processos empregados. Iniciando nos objetivos, na pesquisa teórica, no estudo de caso e finalizando na divulgação e discussão dos resultados encontrados.

Figura 28 - Fluxo do delineamento da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O tipo de pesquisa utilizado neste trabalho está alinhado com os seus objetivos, sendo caracterizado como pesquisa exploratória. Esta pesquisa tem como foco aperfeiçoar ideias e buscar informações em relação a algum assunto ou fenômeno. Este tipo de pesquisa é utilizado por pesquisadores que não dominam um tópico e o adquirem com o desenrolar da pesquisa.

De acordo com Yin (1994) a metodologia exploratória é adotada quando o estudo procura buscar questionamentos, inicialmente são úteis para gerar hipóteses centradas nos eventos sob investigação, sendo esta pesquisa considerada um estudo preliminar para a execução de um estudo final.

Na busca de aprimoramento do conhecimento, a pesquisa exploratória se fez necessária para a realização de um estudo de caso, este estudo tem o objetivo de desenvolver uma metodologia para gerenciar o processo de desenvolvimento do produto Ventura (2007) elucida que quando se decide utilizar um estudo de caso, deve-se definir o universo que será observado. Existindo a possibilidade de estudar um único caso ou o próprio universo, no primeiro é necessário ressaltar que não pode trabalhar somente na situação, mas no que ela configura para o todo. Ele ainda explica que de acordo com os objetivos da investigação, o estudo de caso é possível ser instrumental (análise de um caso para entendimento de outra questão), intrínseco ou particular (entendimento do caso em si) ou coletivo (ampliação do estudo para vários casos instrumentais). Este estudo deve ser completo, significativo, apresentar indícios suficientes, levar em conta perspectivas alternativas e ser idealizado de maneira agradável.

3.3 APLICABILIDADE DA PESQUISA

A pesquisa exploratória determinou a construção do Estado da Arte desta pesquisa, sendo adquirido compreensão dos fatos e estabelecido fatores que sustentaram alterações ou implementações de melhorias em um determinado produto ou processo.

Com o domínio do Estado da Arte, o estudo de caso foi realizado em uma empresa do setor automotivo, esta empresa emprega para a gestão de desenvolvimento e alteração de produto, com eficiência e eficácia, a metodologia definida pela ferramenta APQP.

Observa-se uma carência na gestão de desenvolvimento de produto na segunda fase do APQP nesta empresa, por este motivo, o estudo de caso terá o objetivo de incluir a metodologia DFLSS, que utiliza o método DMAIC, nesta fase da metodologia APQP. A utilização das ferramentas deste método, auxiliará o setor de Engenharia de Produto a realizar uma gestão padronizada e organizada.

3.4 MÉTODO DA PESQUISA

Com a finalidade de atingir os objetivos da pesquisa, é proposta uma metodologia bibliográfica assomado de documentos publicados na *Internet*, livros e em um estudo de caso de uma empresa automobilística do segmento de cinto de segurança.

De acordo com Silva e Menezes (2005), pesquisa significa um grupo de ações recomendadas para descobrir a solução de um problema, tendo como base a execução de procedimentos sistemáticos e racionais. Portanto, pesquisa é a tarefa essencial para descobrir respostas para os questionamentos propostos.

O enfoque desta pesquisa é a unificação das metodologias APQP e DFLSS na gestão de desenvolvimento de produto no setor automotivo, apresentando as principais carências de ferramentas de gestão na segunda fase do APQP, em uma indústria de cinto de segurança.

Na primeira etapa da pesquisa será realizada a fundamentação teórica, construindo o Estado da Arte. Portanto, iniciará a formação do portfólio bibliográfico, relacionado a temática PDP, APQP, Seis *Sigma*, DFSS, DFLSS, mediante uma ampla e sistemática revisão bibliográfica, descrevendo as etapas e ferramentas utilizadas nestas metodologias.

A segunda etapa abordará a construção do método oferecido, confrontando com os métodos já presentes na literatura, uma vez que será concebido com base na gestão de projetos de uma empresa automotiva.

Na terceira etapa da pesquisa delineará a verificação da aplicação do método proposto em uma empresa automotiva. De acordo com Banks *et al* (1998), ao realizar uma simulação tem-se a reprodução de um sistema ou processo do mundo real no decurso do tempo. Envolvendo uma criação artificial com o objetivo de observar as características da operação no sistema que o representa.

Os resultados das etapas anteriores fundamentarão a quarta etapa, destinada a consolidação da pesquisa e elaboração da defesa. Descreverá claramente e analisará os resultados obtidos, partindo da implementação da metodologia proposta, com a finalidade de alcançar a conclusão da pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

O estudo de caso desta pesquisa foi realizado em uma empresa do setor automotivo, o nome dela será omitido nesta pesquisa, portanto, fica nomeado a empresa como “*NO PAINT NO GAIN*”. Para atender estas considerações, a empresa aplica programas de melhoria contínua (KAIZEN), com o objetivo de eliminar quaisquer desperdícios, realizando treinamentos constantes para os seus colaboradores. Ela tem a missão de produzir e comercializar produtos de alta qualidade para o mercado automotivo, sendo referência no segmento de bancos automotivos.

A “*NO PAINT NO GAIN*” é uma empresa totalmente verticalizada. Nela dispõe vários setores para atender todos os processos produtivos necessários para a manufatura de banco automotivo, possuindo: uma ferramentaria, um setor de estamparia, com processo de corte, dobra e repuxo de componentes metálicos, processo de soldagem, pintura KTL, uma área reservada para as injeções de espumas, um setor de tecelagem, onde são encapados os bancos.

Todos estes processos e tecnologias devem atender as exigências de gerenciamento descritas na norma IATF 16949:2016, que é responsável em avaliar o atendimento dos processos de acordo com os requisitos das montadoras. O Sistema de Gestão da Qualidade da empresa, para garantir este atendimento, realiza auditorias internas regulares, para certificar-se que os processos estejam atendendo os requisitos e garantindo que a empresa seja certificada por esta norma. Caso a empresa perca a certificação, ela é impossibilitada de participar de novos desenvolvimentos e correndo o risco de ser impedida de fornecer os produtos correntes.

O foco deste trabalho estará no setor de Pintura KTL desta empresa, ela utiliza a metodologia PDCA o atendimento desta metodologia é uma exigência para as empresas do seguimento automotivo.

4.2 PROPOSTA DO PROJETO

A proposta é desenvolver uma nova tecnologia de limpeza dos substratos metálicos a baixa temperatura, sem risco ambientais para a empresa “NO PAINT NO GAIN”.

A gestão destas atividades é realizada pelo *Químico responsável* que deve ser um colaborador com formação Técnica ou Engenheiro, ele será responsável em gerenciar as atividades internas do programa KAIZEN (melhoria contínua).

A Tabela 1 mostra o consumo durante a etapa de teste para verificar os possíveis ganhos com a troca da tecnologia. Foi proposto trabalhar um período de 30 dias com a faixa de temperatura abaixo da especificação que são entre 55°C a 65°C tendo a média de trabalho de 60°C mantendo então o processo controlado entre 25°C a 50°C. Esses controles foram monitorados pelo técnico químico do laboratório.

Tabela 1 – Consumo de gás durante a fase de teste.

Data	Temp Boyler	Perido	Leitura	Consumo em m ³	Consumo em kg	Consumo em R\$	Media consumo atual em R\$
13/ago	50 C°	Incio	2041				
		Final	2113	72	277,2	R\$ 1.006	R\$978
14/ago	30 C°	Incio	2113				
		Final	2142	29	111,65	R\$ 405	R\$978
15/ago	25 C°	Incio	2142				
		Final	2146	4	15,4	R\$ 56	R\$978
16/ago	28 C°	Incio	2146				
		Final	2155	9	34,65	R\$ 126	R\$978
17/ago		Incio					
		Final		0	0	R\$ -	R\$978
Total semanal				114	438,9	R\$1.593	R\$4.891
Total mensal				456	1755,6	R\$6.373	R\$19.566
Delta anual do Projeto em R\$						R\$ 158304,00	
Delta mensal do Projeto em %						67%	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO FLUXO PROPOSTO

4.3.1 Apresentação do produto

O Produto consiste no uso racional dos recursos naturais para produção de energia (produzir mais com menos recursos possíveis).

A Figura 29 mostra dois pilares da eficiência energética e as energias renováveis baseada na política energética sustentável o produto além de ser alto sustentável, proporciona benefícios como:

- Redução do consumo de energia (gás ou elétrica).
- Redução do consumo de água.
- Redução da emissão de vapores.
- Redução da emissão de CO₂.
- Manutenção reduzida nos trocadores de calor.
- Menor risco de acidentes trabalhistas.
- Mesmo rendimento que os desengraxantes tradicionais.

Figura 29 – Fontes de energia

Fontes de Energia Renováveis	Fontes de Energia Não Renováveis
Luz do sol (Solar)	Petróleo (Combustível fóssil)
Água dos rios (Hidrelétrica)	Carvão mineral (Combustível fóssil)
Força dos ventos (Eólica)	Xisto (Combustível fóssil)
Materiais orgânicos (Biomassa)	Gás natural (Combustível fóssil)
Força das ondas (Ondas/maremotriz)	Urânio (Nuclear)
Calor interior da Terra (Geotérmica)	Tório (Nuclear)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

4.3.2 Motivo da escolha

A empresa “NO PAINT NO GAIN”, sempre com foco na melhoria contínua, solicitou para o setor de Engenharia de Produto um estudo para eliminar esta interferência e melhorar a capacidade de limpeza dos substratos metálicos. Ao alcançar o Estado da Arte com o conhecimento adquirido na pesquisa exploratória, viu-se a oportunidade de implementar uma nova metodologia para gerenciar esta atividade.

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um produto, capaz de garantir a limpeza da superfície sem a necessidade de aquecimento possibilitando uma

economia de gás e redução no consumo de água por evaporação, mas a utilização da metodologia DFLSS para gerenciar o desenvolvimento do produto em uma empresa automotiva, por este motivo, pois a metodologia servirá para qualquer produto em processo de desenvolvimento ou melhoria.

4.3.3 Aplicação da fase “Definir”

A primeira etapa do método DMAIC é a fase. Definir, nesta fase a primeira atividade é criar uma equipe multifuncional e realizar um *Project Charter*, que significa um documento contendo o título do projeto, a descrição clara dos objetivos do projeto, o nome do líder e dos colaboradores que participarão do projeto, a descrição do problema e a data de seu início e término.

Seguindo a metodologia *Lean Seis Sigma*, foi criado na empresa uma equipe multifuncional, abrangendo todos os níveis administrativos e operacionais. Os envolvidos realizaram treinamentos da metodologia, conforme a classificação do nível exercido, sendo determinado desta maneira:

- **Champion:** Foi designado para o idealizador do conceito sendo o responsável pelo projeto, ele tem a incumbência de fazer a equipe multifuncional dedicar-se no desenvolvimento do projeto, ele fornece subsídios para as alterações necessárias e divulgação dos resultados para as demais áreas envolvidas.

- **Master Black Belt e Black Belt:** Foi designado pelos técnicos do laboratório químico, sendo eles responsáveis em conduzir o projeto. O Master Black Belt por ter um alto nível de treinamento, se torna um consultor interno, sendo responsável em treinar os demais colaboradores da equipe.

- **Green Belts, Yellow Belts e White Belts:** São os líderes do processo, supervisores e colaboradores da empresa, eles formaram uma equipe polivalente, receberam treinamento do Master Black Belt e foram responsáveis no planejamento e realização do projeto.

O primeiro passo realizado na empresa “*NO PAINT NO GAIN*” após a definição da equipe foi uma reunião de abertura do projeto, convocada pelo *Champion*. Nesta reunião foi preenchido um termo de abertura do projeto, firmando um acordo entre a equipe e o *Champion*, este documento inicialmente definiu um título para o projeto, no estudo apresentado neste trabalho o título foi “Redução no consumo de gás no

processo de pintura”, seguindo a metodologia Lean Seis Sigma foi determinado o início e o término obedecendo um cronograma, dando sequência ao preenchimento foram descritos os seguinte itens: um breve histórico dos componentes envolvidos neste projeto; a voz do cliente, com suas necessidades e reclamações; o requisito do cliente, sendo por meio de norma ou determinado pelo próprio cliente; os objetivos gerais e específicos; as necessidades e justificativas do projeto; e finalizando com uma descrição do desafio tecnológico deste projeto. A figura 30 apresenta o modelo do documento termo de abertura do projeto desenvolvido para empresa “NO PAINT NO GAIN”.

Figura 30 - Modelo do termo de abertura do projeto

O modelo do termo de abertura do projeto (PROJECT CHARTER) é composto por várias seções:

- Logo e Título:** Logo da empresa "NO PAINT NO GAIN" e o título "PROJECT CHARTER".
- Informações Gerais:** Campos para "PROJETO DO CONSULTOR/CLIA", "CLIENTE", "SUSCITAÇÃO", "OBJETIVO", "PROPOSTA" e "REQUISITO/REGRAS".
- Área de Conteúdo:** Seções para "HISTÓRICO", "OBJETIVO GERAL", "REQUISITO DO CLIENTE", "OBJETIVO GERAL", "OBJETIVO ESPECÍFICO" e "JUSTIFICATIVA".
- Tabela de Recursos:** Tabela com 4 colunas: "RECURSO", "UNIDADE", "QUANTIDADE" e "CUSTO ESTIMADO".
- Tabela de Riscos:** Tabela com 4 colunas: "RISCO", "UNIDADE", "QUANTIDADE" e "CUSTO ESTIMADO".

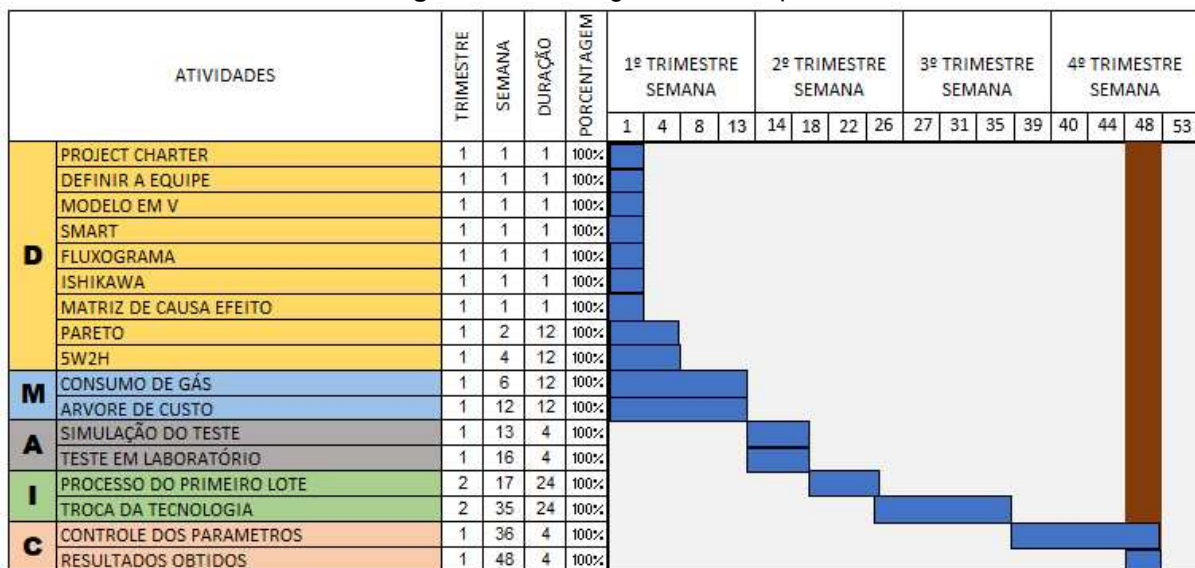
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O termo de abertura do projeto foi utilizado para documentar as premissas do projeto, e manter a equipe empenhada e otimista com as atividades, onde um cronograma foi criado para auxiliar o andamento do projeto.

Nesta fase, a metodologia descreve a realização de um cronograma preliminar, neste projeto foi realizado um cronograma com todas as etapas do DMAIC, que foram executadas durante o estudo de caso.

Foram realizadas reuniões semanais onde o Champion do Projeto acompanhou o andamento das atividades descritas no cronograma, auxiliando a equipe a tomar decisões mais dinâmicas e evitando um atraso no prazo. A Figura 31 apresenta o cronograma realizado neste projeto, utilizado na empresa “NO PAINT NO GAIN”.

Figura 31 – Cronograma das etapas



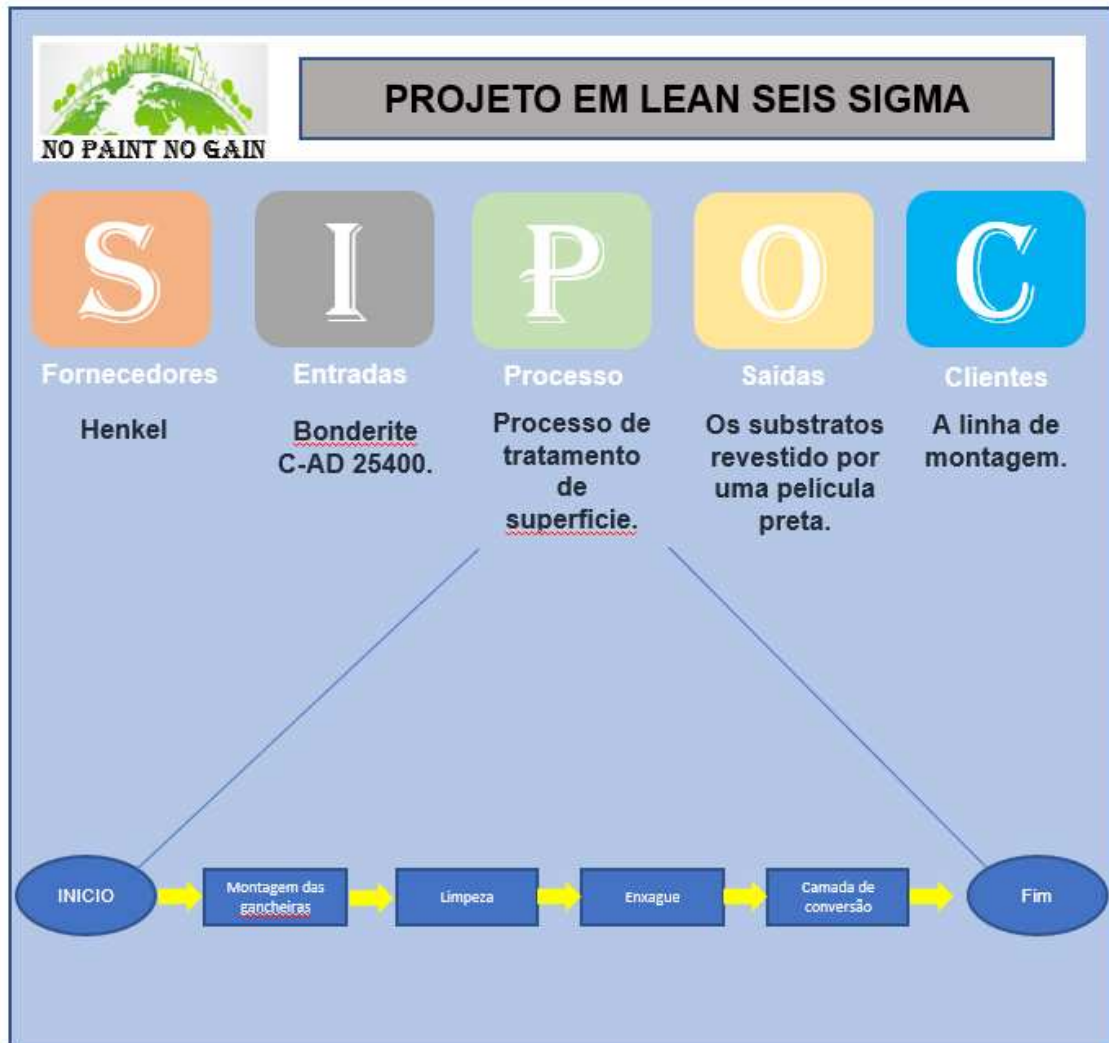
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

No início das atividades, para definir uma solução robusta para o problema, foi realizado uma análise SIPOC das etapas do processo de pintura, com a participação de uma equipe multidisciplinar. Esta ferramenta realizou um resumo em forma de tabela, das entradas e das saídas de um ou mais processos e auxiliou na constatação de elementos expressivos incluso nos processos.

De acordo com Andrade *et al.* (2012), o método conhecido como SIPOC tem como objetivo principal dar uma perfeita visualização do desenrolar dos processos por todos os colaboradores da organização, partindo do isolamento das informações de cada atividade em: entradas, processos, saídas, fluxos e especificações de cada uma. Permitindo uma visão mais abrangente de todos os processos, tornando-os possíveis de atingir um nível de qualidade melhor e determinar diversas melhorias.

Na figura 32, é apresentado a ferramenta SIPOC, foi levada em consideração os processos de pintura, aplicação do produto e a montagem do subconjunto.

Figura 32 - SIPOC



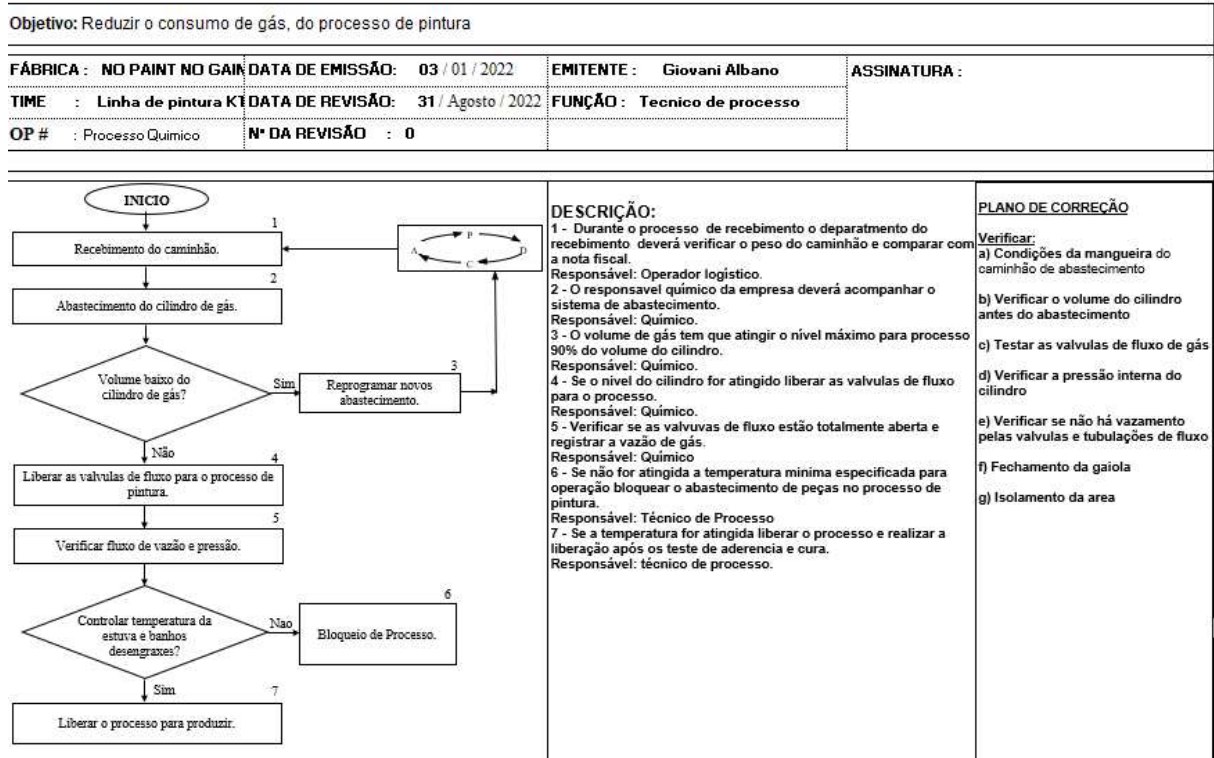
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A próxima tarefa realizada pela equipe multifuncional, foi a realização de um fluxograma, para que todos, por meio de símbolos gráficos, obtivessem uma visão dos processos envolvidos neste problema.

De acordo com Lucinda (2010), fluxograma é uma representação gráfica, que apresenta todas as etapas de um processo, dando uma sequência do início ao fim, esta ferramenta objetiva uma visão do processo atual e proporciona ideias para novos projetos, sendo utilizados diversos símbolos standardizados. A figura 33 apresenta este fluxograma.

Figura 33 - Fluxograma dos Processos


PLANO DE REAÇÃO P/ REDUÇÃO DO CONSUMO DE GÁS
(para processo fora de pré-tratamento em sustratos metálicos)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A próxima atividade realizada pela equipe, foi a utilização da técnica 5W2H, com ela foi realizada uma série de perguntas com foco no processo produtivo. De acordo com SEBRAE (2021), é uma ferramenta prática que possibilita identificar rotinas e dados significativos de uma unidade de produção ou de um projeto, possibilitando identificar quem é quem dentro da empresa, o que eles fazem e o motivo de realizarem suas atividades. Este método é constituído por sete perguntas, dando sete diretrizes, quando bem respondidas extinguem quaisquer dúvidas, são elas: *What, o que será realizado? Why, por que será realizado? Where, onde será realizado? When, quando? Who, por quem será realizado? How, como será realizado? How much, quanto vai custar?* A Tabela 2 apresenta a técnica 5W2H realizada na empresa “NO PAINT NO GAIN”, a técnica foi utilizada para identificar as rotinas dos processos de revestimento do substrato.

Tabela 2 - Técnica 5W2H

5W2H (Plano de Ação)						
QUE ?	QUEM ?	QUANDO ?	ONDE ?	PORQUE ?	COMO ?	QUANTO CUSTA ?
O que será feito?	Quem vai fazer isso?	quando isso será feito?	Onde isso será feito?	Por que isso será feito?	Como será feito?	Quanto custará fazer?
Limpeza do tanque	Sergio Tanaka	16/06/2022 a 20/06/2022	GEMBA	Evitar contaminação	Mão de obra terceira	R\$ 5.200,00
Controle do consumo de gás	Rodrigo Mendes	01/08/2022	Saída do cilindro de gás	Garantir o real consumo	Coleta diária	R\$ 0,00
Atualização do plano de controle	Barbara Caldas	02/05/2022	Documentos da Qualidade	Manter os parâmetros atualizados	Engenharia de processo	R\$ 0,00
Atualização do FMEA	Nelson Queiroz	02/05/2022	Engenharia de Processo	Garantir o processo	Com todas as áreas envolvidas	R\$ 0,00
Amostra para validação da Nova tecnologia	Giovani Albano	22/03/2022 a 24/03/2022	Laboratório Externo	Para garantir que a nova tecnologia garante a limpeza do substrato		R\$ 400,00
Teste de corrosão	Cezar Hummel	30/06/2022	Axalta Henkel Torks		GMW 14669	R\$ 0,00 R\$ 0,00 R\$ 2.600,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Objetivando o nivelamento de toda equipe, foi realizado um diagrama de causa e efeito (Diagrama de *Ishikawa*), foram envolvidos colaboradores da manutenção, líderes de produção, Engenharia, Qualidade, Compras, Almoxarifado e Materiais.

De acordo com Pyzdek (2000), uma equipe que trabalha sobre um determinado problema, estrutura e exibe graficamente, de forma compreensível, seus conhecimentos conquistados sobre este problema até esse momento. Neste diagrama, define-se o problema em questão, anota-se as possíveis causas que ocasionam o problema, organizando as causas por meio das categorias e demonstrando as relações existentes entre cada categoria e as informações documentadas.

A figura 34, apresenta a forma organizada de exibir as informações descritas para o problema “Alto consumo de gás no processo de pré-tratamento”, estas informações foram úteis para a discussão e análise da equipe, dando a eles uma profundidade do problema. Este diagrama foi exposto em um lugar para que todos da equipe pudessem se inspirar e terem mais ideias.

Figura 34 - Diagrama de Causa e Efeito



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Finalizando a fase definir, a equipe realizou uma Matriz de Causa e Efeito e um Diagrama de Pareto 80/20, com a finalidade de identificar quais causas estão impactando mais diretamente no problema, as 24 variáveis dentro do processo descritas nesta matriz foram pontuadas para determinar as variáveis que seriam atacadas primeiro, na fase analisar elas serão avaliadas criteriosamente, algumas serão descartadas por terem uma pontuação muito baixa.

Lucinda (2010) elucida que esta ferramenta possibilita a identificação das principais causas dos problemas, determinando a quantidade de eventualidades dessas causas e designando classificações em ordem decrescente do impacto que ocasiona em sua empresa. A Tabela 3 apresenta a Matriz de Causa e Efeito realizada na empresa "NO PAINT NO GAIN".

De acordo com o Diagrama de Pareto, os três motivos que deverão ser atacados são: Qualidade do produto, Startup e Temperatura do Banho. Na fase analisar este diagrama teve uma grande importância, ele direcionou a equipe a atacar o principal motivo para diminuir o consumo de gás.

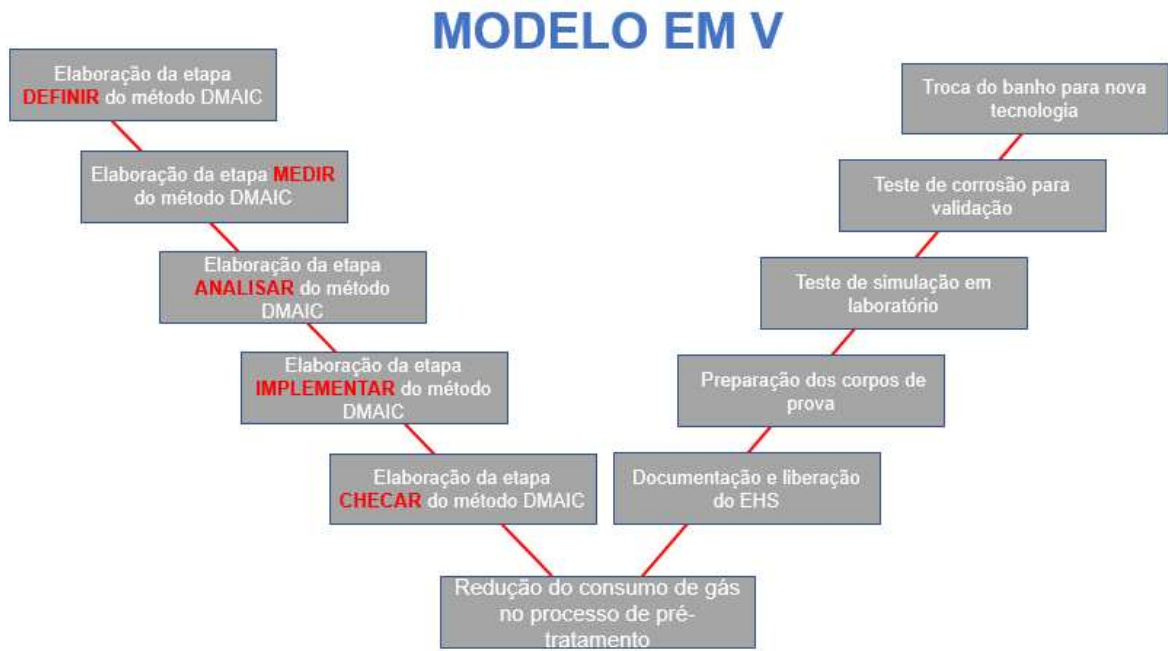
4.3.4 Aplicação da fase “Medir”

A segunda fase do método DMAIC iniciou-se com a definição da medição do consumo de gás no primeiro estágio do processo. O processo de limpeza do substrato metálico a ser pintado é bem definido na produção, o colaborador pega os componentes e pendura em um gancho, onde o mesmo é arrastado por um transportador por todo o processo de revestimento.

Primeiramente foram realizados ensaios experimentais para determinar o consumo. O volume apresentado determina o consumo de gás GLP consumido conforme a temperatura do banho de desengraxante. A premissa desta melhoria é a redução do consumo em 24,66%.

A Figura 36, mostra como foi o desenvolvimento para a solução do problema e o desenvolvimento para adquirir maior ganho no processo aplicando uma técnica de melhoria contínua, utilizando uma metodologia de desenvolvimento do modelo em V,

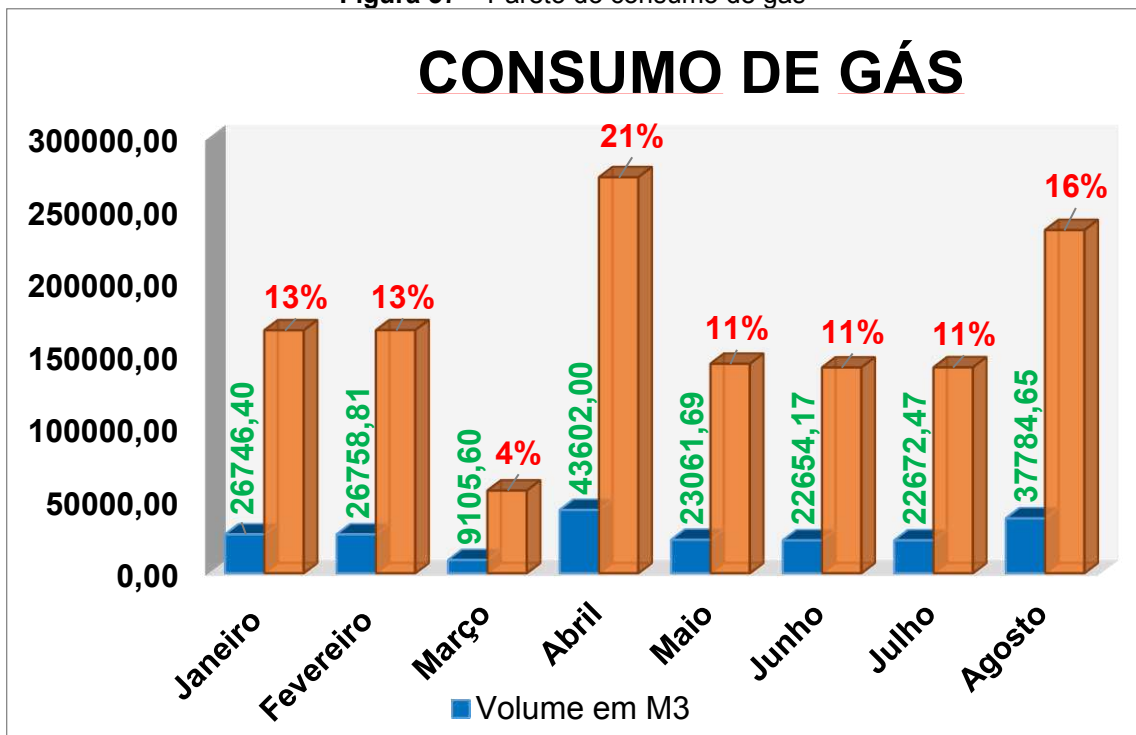
Figura 36 – Aplicação da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Outra atividade realizada na fase medir, foi o consumo de gás, e a porcentagem do custo desse consumo mensalmente, conforme A Figura 37 representado em um gráfico de Pareto.

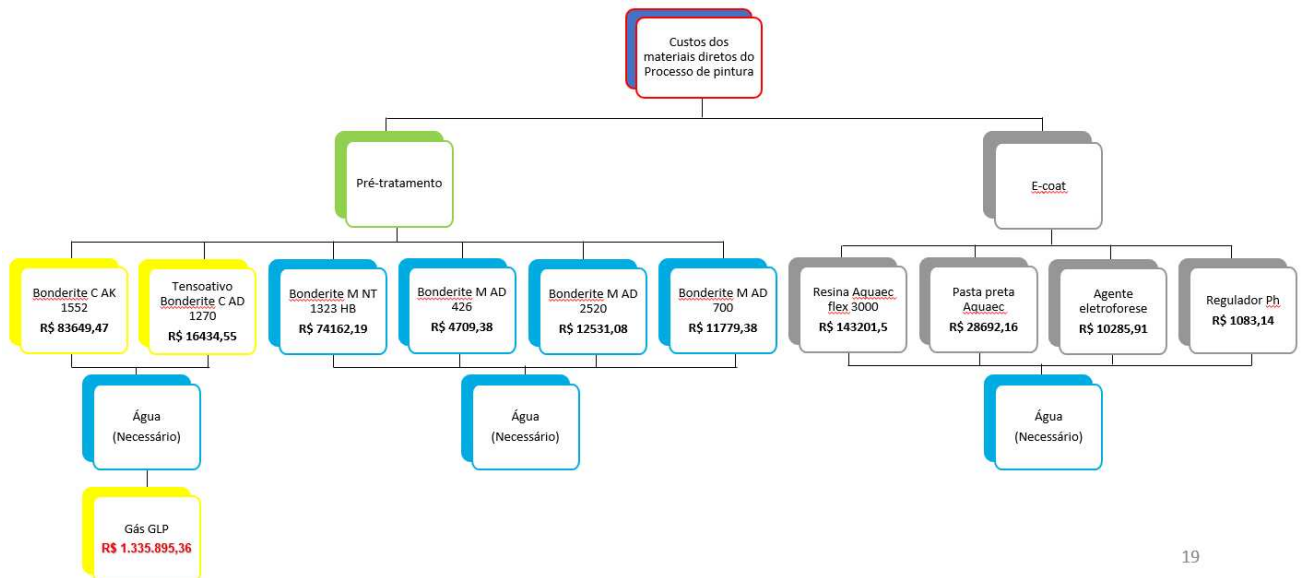
Figura 37 – Pareto do consumo de gás



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A Figura 38 mostra os custos de cada produto utilizado no processo de revestimento, demonstrada em uma árvore de custo CTQ, desenvolvida para este processo, tendo como destaque o alto consumo de gás gerado no processo de pré-tratamento.

Figura 38 – Árvore de custo CTQ



19

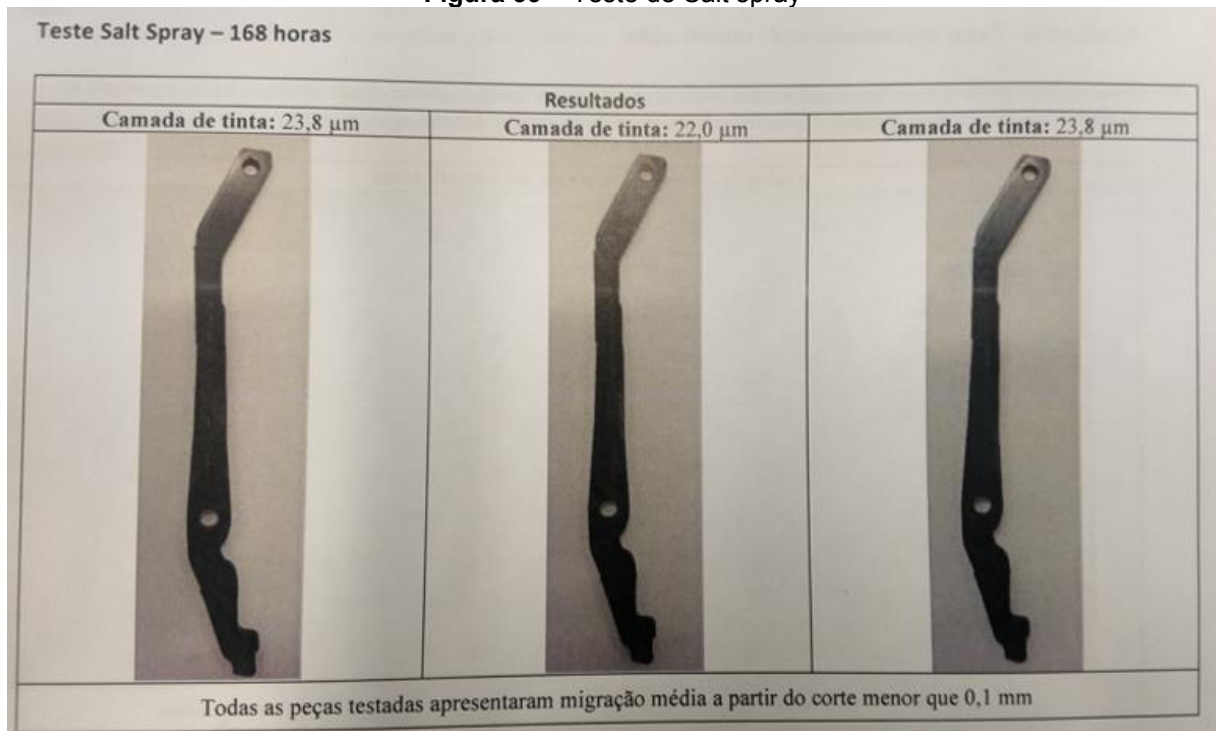
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

4.3.5 Aplicação da fase “Analisar”

A terceira fase consistiu em produzir conceitos de projetos, com base em parâmetros de seleção objetiva, foi escolhido o mais adequado.

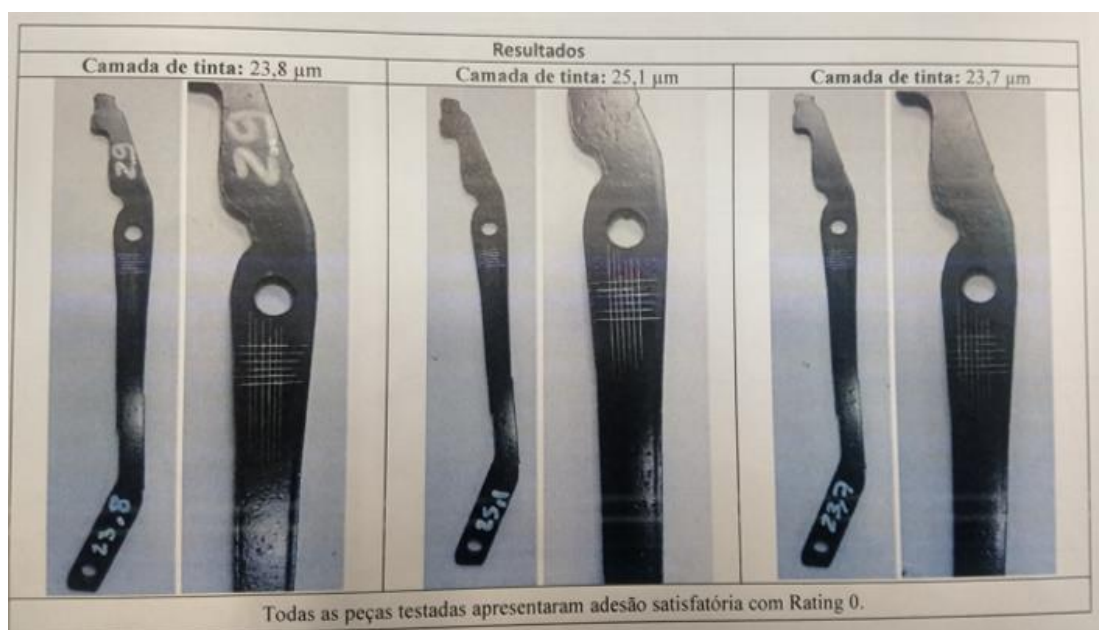
A fase iniciou-se com a análise das temperaturas do banho de desengraxante determinadas pela voz do cliente. Requisitado como objetivo, a redução do consumo de gás no processo de pintura. Foi levado em consideração, que o acompanhamento do processo para garantir a limpeza será realizada pelo técnico do laboratório, onde a observação vai ser referente a quebra d’água.

A Figura 39 mostra a preparação das peças para ser inseridas ao teste de corrosão utilizando uma cabine de salt spray em laboratório externo.

Figura 39 – Teste de Salt spray

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A Figura 40 apresenta o resultado do teste de aderência aplicado na camada de tinta após o processo de revestimento, tendo resultado satisfatório não havendo nenhum indicio de deslocamento comprovando a boa limpeza do substrato.

Figura 40 – Teste de Aderência

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Durante as reuniões de brainstorming, foram apresentadas as documentações e evoluções, da equipe e dos colaboradores do processo produtivo, para a definição das variáveis que mais contribuía para o alto consumo de gás no processo de revestimento.

A matriz de Causa e Efeito definiu 3 possíveis causas que devem ser atacadas para uma definição exata do motivo do problema. Foi determinado trabalhar na temperatura do banho, qualidade do produto e no startup da máquina.

A conclusão da fase analisar, foi propor uma substituição do tensoativo, por outro com alto poder de limpeza, sem a necessidade de temperatura.

4.3.5 Aplicação da fase “Melhorar”

A fase melhorar consistiu em desenvolver uma nova tecnologia para o tensoativo com alto poder de limpeza através de testes em laboratório, reduzindo a temperatura de aplicação até atingir seu máximo desempenho e com o mesmo consumo e concentração de processo.

A proposta de solução teve que atender uma premissa do projeto, realizar um lote de peças nas piores condições de sujidades por todo processo de pré-tratamento em laboratório e depois realizar o processo de revestimento na linha e submeter em teste de corrosão e aderência.

Observa-se na figura 41, foi possível desenvolver um tensoativo capaz de trabalhar com a mesma concentração, mesmo tempo de aplicação, menor temperatura e menor arraste para os processos subsequentes. desta forma proporcionou uma boa performance de limpeza e boa camada de conversão, além de reduzir o consumo de gás, ainda proporcionou uma redução no consumo de água devido a não evaporação.

Figura 41 – Parâmetro de Processo

Desengraxante + tensoativo atual	Desengraxante + tensoativo proposto
➤ Concentração do banho: 1% - 3%	➤ Concentração do banho: 1% - 3%
➤ Concentração do tensoativo: 1g/L – 3g/L	➤ Concentração do tensoativo: 1g/L – 3g/L
➤ Tempo mínimo de Spray: 60s	➤ Tempo mínimo de Spray: 60s
➤ Tempo mínimo imersão: 3 min	➤ Tempo mínimo imersão: 3 min
➤ Temperatura: 55°C a 65°C	➤ Temperatura: 25°C a 40°C
➤ Aditivo tensoativo: Não iônico de alta e baixa espuma.	➤ Aditivo tensoativo: Não iônico de baixa espuma + hidrocarbonetos glicóis.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

4.3.6 Aplicação da fase “Controlar”

Após as etapas de desenvolvimento foi criado um check list conforme a tabela 5 para controle dos parâmetros, garantindo a eficácia da mudança de tecnologia e satisfação do cliente interno, aumentando a produtividade carga máquina por eliminar o tempo de startup do processo.

A Tabela 4, mostra os parâmetros de processo na mediana de especificação, possibilitando uma garantia durante o processo de revestimento eliminando qualquer tipo de risco ao cliente.

Tabela 4 – Especificações de processo

Parâmetros / Estágios	1° Estágio Desengraxe	2° Estágio Desengraxe	3° Estágio Enxágue	4° Estágio Enxágue	5° Estágio Conversor	6° Estágio Enxágue
Aplicação	Spray	Imersão	Spray	Spray	Imersão	Spray
Produto	BONDERITE C-AK 1552	BONDERITE C-AK 1552	Água de rede	Água DI	BONDERITE M-NT 1323	Água DI
Concentração	2,0 %	2,0 %	-	-	Comp. A: 0,782 Comp. B: 0,355	-
Aditivo	BONDERITE C-AD 25400	BONDERITE C-AD 25400	-	-	BONDERITE M-AD 700 BONDERITE M-AD 426	-
Concentração	10% sobre a massa do alcalino	10% sobre a massa do alcalino	-	-	-	-
pH	-	-	7,07	5,91	4,25	5,81
Condutividade	-	-	449 µS/cm	3,04 µS/cm	513 µS/cm	2,80 µS/cm
Temperatura	35°C	35°C	Ambiente	Ambiente	Ambiente	Ambiente
Tempo do Estágio	110 s	200 s	110 s	160 s	210 s	120 s

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A revisão bibliográfica apresenta uma técnica da metodologia empregada no gerenciamento de projetos. A pesquisa delineou as técnicas e as ferramentas da engenharia de sistema, destacando a importância de realizar uma análise robusta no planejamento de uma solução.

A metodologia Lean Seis Sigma DMAIC utilizada na pesquisa, apresentado no referencial teórico, apresentou uma robustez nas três primeiras etapas (Definir, Medir e Analisar), possibilitando a todos da equipe uma ampla visão e conhecimento dos requisitos e dos custos gerado no processo de revestimento, além de tornar todo o projeto, um evento com característica Seis Sigma.

A empresa, quando sugeriu realizar uma pesquisa para melhorar o custo do processo de revestimento para tornar viável manter a atividade, teve que definir uma equipe focada no sucesso da metodologia, independentemente do nível hierárquico.

Por este motivo, investiu no desenvolvimento da equipe com cursos de Lean Seis Sigma Green Belt, com reuniões visando o objetivo de manter toda a equipe no mesmo nível de conhecimento em relação a aplicação da metodologia.

Essa visão da diretoria proporcionou um excelente ambiente de trabalho melhorando e contribuindo para o desenvolvimento todos da equipe. As atividades descritas nas cinco fases do DMAIC, direcionou a equipe a tomadas de decisões muito assertivas. Estas atividades são gerenciadas pelo Líder do Projeto.

A pesquisa se direcionou para um estudo de caso, por ser considerado uma melhoria de processo eficiente e eficaz da utilização das atividades do método DMAIC.

Outro ponto foi a possibilidade da utilização da metodologia para novos projetos de melhoria, realizando várias atividades em grupo, melhorando a comunicação e conhecimento por cada um dos colaboradores.

A partir do termo de abertura do projeto foi muito produtivo e construtivo com a ideia de buscar técnicas para o processo de revestimento, com desafio de não agredir o meio ambiente, devido ao processo gerar bastante resíduo. O apoio da alta direção, foi fundamental uma vez que todo trabalho realizado em um processo produtivo se torna ainda mais desafiador devido a parada de processo, gerando horas extras de trabalho aumentando ainda mais seu custo. A equipe se propôs a buscar soluções robusta para viabilizar o projeto.

O projeto apresentado no estudo de caso determinou o desenvolvimento de um produto, capaz de realizar a remoção das impurezas presente no substrato metálico que antecede o processo de pintura sem que haja a necessidade de aquecimento.

O método DMAIC direcionou a equipe a realizar várias atividades a partir do termo de abertura do projeto, sugerido pelo líder do projeto à criação de um cronograma das atividades a serem realizadas e seus realizadores sendo a primeira atividade realizada na fase, definir, ao realizar este documento todos os membros da equipe obtiveram uma visão do objetivo do projeto e o desafio tecnológico que a equipe iria enfrentar. Como primordial para a solução do problema o líder propôs a utilização do Diagrama de Ishikawa para solução de problemas.

Na fase, medir, foi levantado todos os gastos gerados no processo, onde foi fundamental para tomada de decisão determinando o trabalho sendo um trabalho quantitativo.

Na fase, analisar, a equipe se propôs a realizar teste em laboratório, para saber como será o comportamento da nova tecnologia implantada, referente a teste de aderência e corrosão para garantir a satisfação do cliente referente ao produto final.

Na fase, implementar, após os resultados dos testes realizado na etapa anterior foi realizado a limpeza dos tanques e realizado a troca de tecnologia.

Na fase, controlar, teve com exceto resultado surpreendente, uma vez que todos os parâmetros de processos foram mantidos sem sofrer alterações na qualidade do produto, proporcionando uma redução no consumo de gás e água para o processo de revestimento além das expectativas iniciais do projeto.

Após a aplicação das ferramentas foi possível alcançar o objetivo proposto, reduzir custo no processo de pré-tratamento da linha de pintura da empresa, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados obtidos

CHEMICAL PRODUCTS									
Production	6.336.000		Piece/year		Production	6.336.000		Piece/year	
Current process					Propost Process				
Products	R\$/Kg	Kg/year	g/piece	R\$/year	Products	R\$/Kg	Kg/year	g/piece	R\$/year
Bonderite C-AK 1552	22,99	8400	1,33	193.116,000	Bonderite C-AK 1552	22,99	8400	1,33	193.116,000
Bonderite C-AD 1270	35,13	720	0,11	25.293,600	Bonderite C-AD 25400	78,92	720	0,07	56.822,40
Total R\$				218.409,600	Total R\$				249.938,400
COST PER PIECE									
Current process					Propost Process				
Products	R\$/Kg	g/piece	R\$/piece M ²		Products	R\$/Kg	g/piece	R\$/piece M ²	
Bonderite C-AK 1552	22,99	1,33	0,0305		Bonderite C-AK 1552	22,99	1,33	0,0305	
Bonderite C-AD 1270	35,13	0,11	0,004		Bonderite C-AD 25400	78,92	0,07	0,006	
Total R\$/ M ²			0,034		Total R\$/ M ²			0,036	
GÁS HEATING									
Current process					Propost Process				
Stage	M ³ /month	M ³ /year	R\$/Lt	R\$/year	Stage	M ³ /month	M ³ /year	R\$/Lt	R\$/year
Desengraxe Spray	8.743,32	104.919,84	6,29	659.945,79	Desengraxe Spray	2.219,40	26.632,80	6,29	167.520,31
Desengraxe imersão	4.062,00	48.744,00	6,29	306.599,76	Desengraxe imersão	1.102,86	13.235,52	6,29	83.251,42
Total R\$				966.545,55	Total R\$				250.771,73

TOTAL R\$/YEAR	
Current process	Propost Process
1.184.955,15	500.710,13
SAVING	
R\$/ year	RATE %
684.245,02	57,74

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além dos ganhos a empresa obteve outros benefícios relacionado ao meio ambiente tais como:

- Redução no consume de água;
- Redução na emissão de vapores;
- Redução na emissão de CO₂;
- Manutenção reduzida nos queimadores;
- Menor risco de acidentes trabalhista;
- Mesmo rendimento do processo anterior.

5. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa buscou-se avaliar o comportamento de um tensoativo capaz de remover as sujidades dos substratos metálicos sem a necessidade de aquecimento no processo de desengraxe do pré-tratamento em uma linha de pintura. Para chegar a uma condição de trabalho eficiente foi realizado teste reduzindo a temperatura até atingir uma temperatura mais próximas da temperatura ambiente.

Tudo isso, para otimizar os recursos energéticos e financeiros da empresa, gerando maior lucratividade e tornando a empresa mais competitiva.

Porém verificou-se uma grande oportunidade pelo fato de ser uma novidade no Brasil, sendo a empresa NO PAINT NO GAIN a primeira a usar dessa tecnologia.

Durante a aplicação da nova tecnologia, a equipe envolvida dispôs de reuniões periódicas com a finalidade de direcionar as tomadas de ações mais assertivas. O sucesso da metodologia, no projeto, deu-se início na escolha da pessoa adequada para monitorar e gerenciar as atividades. As atividades descritas no método DMAIC, utilizadas neste projeto, mostraram que, se elas forem aplicadas acertadamente, as metas estabelecidas na atividade termo de abertura do projeto da etapa definir foram alcançadas. Desta maneira, esta pesquisa tornou capaz de reduzir o consumo de gás e água no processo de pré-tratamento para substrato metálico.

A metodologia Lean Seis Sigma, de um modo geral, se tornou essencial para realização de melhoria contínua nas empresas, proporcionando oportunidades de melhorias em qualquer seguimento com a utilização da metodologia DMAIC. Poucos trabalhos foram direcionados para esse tema de pesquisa devido as condições precárias dos processos que antecedem o revestimento.

Como oportunidade de melhoria para futuros trabalhos, é proposto realizar um estudo para a utilização na camada de conversão (fosfato), também a baixa temperatura eliminando a instalação de trocador de calor ou caldeira no processo de pré-tratamento, como continuidade de buscar melhorias para o processo de revestimento o autor verificou a possibilidade da aplicação deste modelo de gerenciamento, para buscar aumentar a capacidade de produção.

Após o trabalho realizado, pode se observar todo o crescimento e aprendizado da equipe com a aplicação das ferramentas de melhoria para soluções de problemas, tendo como mérito todo o conhecimento da diretoria da empresa, sabendo que o

desafio para reduzir custo no processo e torna-lo viável, manter o processo dentro da cadeia produtivas era fundamental para o futuro da empresa.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS

Devido ao excelente resultado alcançado nesta pesquisa, deixo como sugestão a realização de uma pesquisa voltado para redução do consumo de energia elétrica ou gás em estufas em processo de pintura.

7. REFERÊNCIAS

- ABLANEDO-ROSAS, J. H., ALIDAEI, B., CARLOS MORENO, J., & URBINA, J. (2010). **Quality improvement supported by the 5S, an empirical case study of Mexican organisations**. *International Journal of Production Research*, 48(23), 7063–7087. <https://doi.org/10.1080/00207540903382865>.
- AGUIAR, S.; WERKEMA, M. C. **Planejamento e Análise de Experimentos: Como identificar as principais variáveis influentes em um processo**. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, vol. 8, 1996.
- ALLEN, T. T. **Introduction to Engineering Statistics and Six Sigma: Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems**. Springer, 2006.
- ANDRADE, G. E. V.; MARRA, B. A.; LEAL, F.; MELLO, C. H. P. **Análise da Aplicação Conjunta das Técnicas SIPOC, fluxograma e FTA em uma empresa de médio porte**. XXXII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Bento Gonçalves, RS, 2012.
- ANTHONY J.; KUMAR M. **Lean and Six Sigma methodologies in NHS Scotland: an empirical study and directions for future research**. *Quality Innovation prosperity/ Kvalita inovácia prosperita XVI/2* – p. 19-34, 2012.
- ANTONY, J.; BANUELAS, R. **Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program**. *Measuring Business Excellence*, 6, 2002, p. 20-27.
- BANKS, J. **Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- BHUSHAN, B. (2017). **Introduction to nanotechnology**. In Springer handbook of nanotechnology (pp. 1-19). Springer, Berlin, Heidelberg.
- BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre: Bookman, 1998
- BREYFOGLE, F. W. **Six Sigma: smarter solutions using statistical methods**. 2nd edition. Austin: Wiley, 2003.
- CHRISSIS, M. B.; KONRAD, M.; SHRUM, S. **CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement**. 2nd edition, Boston, Addison Wesley, 2006.
- CHRYSLER GROUP LLC, FORD MOTOR COMPANY, & GENERAL MOTORS CORPORATION. (2010). **MAS - Measurement System Analysis** (4 ed). Automotive Industry Action Group (AIAG).
- CORONADO, R. B. e ANTONY, J., **Critical success factors for the successful implementation of Six Sigma projects in organizations**, *The TQM Magazine*, 2002, p. 92-99.

COUTINHO, C. P., SOUSA, A., DIAS, A., BESSA, F., FERREIRA, M. J. R. C., & VIEIRA, S. R. (2009). **Investigação-acção: metodologia preferencial nas práticas educativas**. *Psicologia, Educação e Cultura*, XIII, 355–379.

DE BEM, P.P.T. **Minimização do efluente gerado em pré-tratamento de pintura automotiva**. 2008. 215 f. Dissertação apresentada como requisito para obter o título de Mestre em Engenharia Mecânica do curso de mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2008.

DE MATOS, T.P. **Tratamento de superfícies metálicas por cataforese**. 2019. 153 f. Dissertação no âmbito do Mestrado em Química – Controlo de Qualidade e Ambiente orientada pelo Professor Doutor Jorge L.G.F.S. Costa Pereira e apresentada ao Departamento de Química, no âmbito da unidade curricular Projeto Científico ou Projeto Industrial. Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. 2019.

DENOVE, C.; POWER, J. **Satisfaction: How Every Great Company Listens to the Voice of the Customer**. Portfolio, 2006.

DUTRA, A. C. & NUNES, P. L., **Proteção Catódica. Técnica de combate à Corrosão**, Editora McKlausen, 1987.

ECKES, G. **A Revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros**. Rio de Janeiro, Campos, 2001.

FERNANDES, P. M. P.; RAMOS, A. W. **Considerações sobre a integração do Lean Thinking com o Seis Sigma**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 26, 2006, Fortaleza. Anais do 26º ENEGEP. Rio de Janeiro: ABEPRO. 2006. p. 1 - 7.

FERRARI, E.; PARESCHI, A.; PERSONA, A. & REGATTIERI, A. **TPM: Situação e procedimentos de introdução gradativa nas indústrias italianas**. The TQM Magazine, Vol 14, Iss. 6, p. 350-358, 2002.

FERREIRA, F. P. **Análise da implantação de um sistema de Manufatura Enxuta em uma empresa de autopeças**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Unitau, Taubaté, 2004.

FITZGERALD, M. **Five common Lean maintenance missteps: how to avoid the five most common mistakes made by manufacturers on their journey to Lean maintenance**. Industry Week, v. 260, n. 8, p. 32, 2011.

FLORAC, W. A.; CARLETON, A. D. **Measuring the software process: statistical process control for software process improvement**. Addison-Wesley, 1999.

GULLICHSEN, J., PAULAPURO, H., AROMAA, J., KLARIN, A., ATTWOOD, BENNETT, D. **Materials, Corrosion Prevention, and Maintenance**. Papermaking Science and Technology, Book 15, Editora: TAPPI PRESS, 1999.

GUPTA, P. **Six Sigma Business Scorecard – Creating a comprehensive corporate performance measurement system**. 2nd edition, McGraw-Hill, 2006.

HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations**. New York, Currency Publishers, 2000.

HIRANO, H. (1995). **5 pillars of the visual workplace**. Productivity Press.

HO, S. K. M. (1999). **5-S practice: The first step towards total quality management**. TOTAL QUALITY MANAGEMENT, 10(3), 345–356.
<https://doi.org/10.1080/0954412997875>

ISHIKAWA, K. **Controle de Qualidade Total – À Maneira Japonesa**. Rio de Janeiro, Campus, 6ª edição, 1998. **Integrating TPM and QFD for improving quality in maintenance engineering** Journal of Maintenance Engineering Quality (2004)

JOGLEKAR, A. M. **Statistical Methods for Six Sigma: In R&D and Manufacturing**. Wiley-Interscience, 2003.

KANNENBERG, G. **Proposta de sistemática para implantação de troca rápida de ferramentas**. Dissertação (Mestrado), Porto Alegre. –PPGEP/UFRGS, 1994.

KENNEDY, M. **Product development for the Lean enterprise: why Toyota's system is four times more productive and how you can implement it**. New York: Oaklea Press, 2003.

KRAFCIK, J. F. (1988). **Triumph of the lean production system**. Sloan Management Review, 30 (1), 41–52.

LUCINDA, M. A. **Qualidade: fundamentos e práticas para cursos de graduação**. Rio de Janeiro: Brasport. 2010.

MASCITELLI, R. **The Lean product development guidebook: everything your design team needs to improve efficiency and slash time-to-market**. The Lean Guidebook Series. 1st edition. Northridge: Technology Perspectives, 2007.

MCINTOSH, R. I.; CULLEY, S. J.; MILEHAM, A. R. **A critical evaluation of Shingo's 'SMED' methodology**. *Int. J. Production Research*, v. 38, n. 11, p. 2377-2395, 2000.

MELO, J.L. **Metodologia TPM: uma ferramenta de gestão inovadora na Eletronorte**. Monografia MBA em Administração Financeira, Escola de Administração Pública da Fundação Getúlio Vargas, Brasília, 2002.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4ª edição, Rio de Janeiro, LTC, 2004.

MONTGOMERY, D. C. (2009). **Introduction to Statistical Quality Control** (6 ed). John Wiley & Sons, Inc.

MOREIRA, M.P. **Avaliação de um trocador de calor utilizado no aquecimento de água de desengraxe**. 2015. 81 f. Relatório de Estágio II, apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Mecânica na Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul. 2015.

MOUSA, A.; **Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma overview**. International Journal of Scientific & Engineering Research, vol. 4, issue 5, May-2013. pg.: 1137-1153. ISSN 2229-5518.

NAKAJIMA, S. **La Maintenance Productive Totale (TPM)**. Traduzido do japonês por Yoko Sim, Christine Condominas e Alain Gómez, Afnor, Paris, France, 1989

NETO, C. DE M., AMARANTE, M., LEITE, K., VITOR, A., DANTAS, B., BARROSO, C., SILVA, P., & SANTOS, W. (2018). **Processo de pintura e revestimento superficial E-COAT**. Revista Pesquisa E Ação, 4(1), 101-105. Recuperado de: <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/view/387>. Acessado em: 12 out. 2020

NOGUEIRA, R. R. **Análise da implementação do Lean Six Sigma com foco na ferramenta DMAIC em uma indústria de fios**. Maringá, 2015.

PALADY, P. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeito** – Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. Instituto IMAM, 1997.

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**. Qualitymark Ed., Rio de Janeiro, 2001.

PEDRO, J.S., SOUZA A.B., GONÇALVES J.V.C., PEREIRA C. DE S.S., MADUREIRA M.T., **Estudo preliminar da otimização do processo de pré-tratamento e-coat em uma planta de pintura automotiva**. 2018. 10 f. Brazilian Journal of Production Engineering Disponível em: https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/V05N02_11/pdf Acessado em: 27 set. 2020.

PINTO, J. P. (2014). **Pensamento Lean** (6th ed.). Lisboa: Lidel - Edições Técnicas.

PORTER, L. **Six Sigma excellence**. Quality world, p.12-15, 2000.

PYZDEK, T. **A revolução dos Seis Sigma**. Revista Banas Qualidade, p.38-43, maio 2000.

RIBEIRO, H. **Total Productive Maintenance – Manutenção Produtiva Total**. Banas Report, EPSE, São Paulo, 2004.

RIBEIRO, J.C. **Tratamento e reuso do efluente gerado em um processo de pintura industrial por eletrodeposição**. 2015. 86 f. Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação pela Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2015.

- ROBINSON, C.J. & GINDER, A.P. **Implementing TPM: north American experience**. Productivity Press, Portland, USA, 1995.
- ROSSI, A. R. & LIMA, C.R.C. **Verificação dos resultados obtidos com a implantação do Total Productive Maintenance em indústrias do estado de São Paulo** – Trabalho de conclusão de curso graduação em Engenharia de Produção – Santa Bárbara do Oeste – 2004
- ROTONDARO, R. G. *et al.* **Seis Sigma: Estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. Ed. Atlas, São Paulo, 2002.
- ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2012. 542p. ISBN 978-85-02-05446-2 / 85-02-05446-5.
- SEBRAE. **5W2H**: tire suas dúvidas e coloque produtividade no seu dia a dia. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/5w2h-tire-suas-duvidas-e-coloque-productividade-no-seu-dia-a-dia,06731951b837f510VgnVCM1000004c00210aRCRD>>. Acesso em: 31.jan.2021.
- SETH, DINESH & TRIPATHI, DEEPAK – **A Critical Study of TQM and TPM Approaches on Business Performance of Indian Manufacturing Industry** – Total Quality Management, Vo. 17, No. 7, 811-824, September 2006.
- SHEEHY A.M. **Isolation of a human gene that inhibits HIV-1 infection and is suppressed by the viral Vif protein** Nature, 418 (2002), pp. 646-650.
- SHINGO, S. **Sistema de produção com estoque zero**. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SHIROSE, K. **TPM New Implementation Program in Fabrication and Assembly Industries**. JIPM – Japan Institute Plant Of Maintenance, Tokyo, 1996
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ed, Florianópolis: UFSC, 138p, 2005.
- SOARES, B.B. **A utilização do modelo de simulação computacional para análise e modificação de um sistema de produção de pinturas automotivas**. 2013. 130 f. Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul. 2013.
- SUZUKI, T. **New Directions for TPM**. Productivity Press, Cambridge, USA, traduzido do japonês por John Lotus, 1992.
- TAYNTOR, C. B. **Six Sigma Software Development**. Flórida, Auerbach, 2003.

TENÓRIO, F. G. & PALMEIRA, J.N. **Flexibilização Organizacional: aplicação de um modelo de produtividade total**. Editora FGV-Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2002.

THOMAS, C. C.; DEAK, M.; ALESSI, D. R.; van AALTEN, D.M. **High-resolution structure of the pleckstrin homology domain of protein kinase B/ Akt bound to phosphatidylinositol (3,4,5)-trisphosphate**. *Curr. Biol.*, v. 12, n. 14, p. 1.256-1.262, 2002.

TODORUT, V. A.; RABONTU I. C.; CÎRNU D.; **Lean Management: The way to a performant enterprise**. *Annals of the University of Petrosani, Economics*, vol. 10(3), p. 333-340, 2010.

UHLIG, H. H., **Corrosion and Control**, John Wiley & Sons, New York, 1962.

VENTURA, M. M. **O estudo de caso como modalidade de pesquisa**. *Pedagogia médica*, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007.

VIEIRA, S. **Análise de Variância: (Anova)**. Atlas, 2006.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Nova Lima, MG: Werkema Ed., 2004.

WERKEMA, C. **DFLSS-Design for Lean Six Sigma: Ferramentas básicas usadas nas etapas D e M do DMADV**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. ISBN: 978-85-352-5427-3.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma - Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing**. Werkema Editora, São Paulo: Atlas, 2020-a. ISBN: 978-85-352-5364-9.

WERKEMA, C. **Método PDCA e DMAIC e suas ferramentas**. Werkema Editora, São Paulo: Atlas, 2020-b. ISBN: 978-85-352-5429-7.

WOMACK, J.; JONES, D. T. **Lean Thinking: banish waste and create wealth for your corporation**. New York: Simon and Schuster, 2003.

YAMASHINA, H. – **Challenge to World Class Manufacturing – International Journal of Quality & Reliability Management**, 17(2), pp. 132-143, 2000.

YANG, C.-C. (2012). **The Integration of TQM and Six-Sigma**. Chung-Yuan Christian University. <https://doi.org/10.5772/48731>.

YIN, K. **Case Study Research - Design and Methods, Applied Social Research Methods Series 5**, 2.ed. Newbury Park, CA: Sage, 1994.

ZOLKOS, R. SOA, **Lean Manufacturing, lead IT trends on CIO radar**. *Business Insurance*, v. 1, n. 23, 2007.