

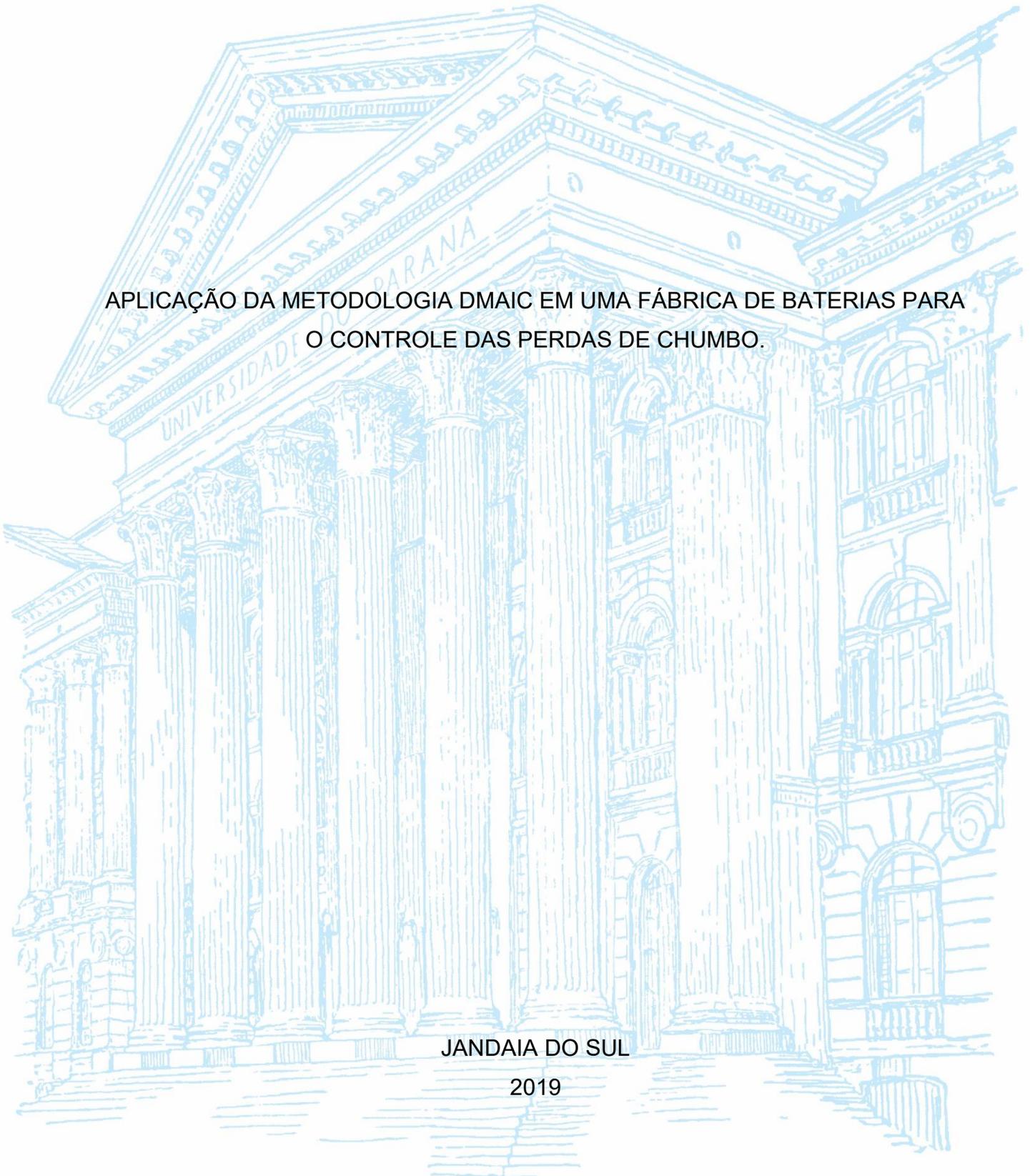
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL DE FREITAS BARBOSA

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC EM UMA FÁBRICA DE BATERIAS PARA
O CONTROLE DAS PERDAS DE CHUMBO.

JANDAIA DO SUL

2019



DANIEL DE FREITAS BARBOSA

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC EM UMA FÁBRICA DE BATERIAS PARA
O CONTROLE DAS PERDAS DE CHUMBO.

TCC apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de produção, Campus Avançado de Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de produção.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira

JANDAIDA DO SUL

2019

B238a Barbosa, Daniel de Freitas
 Aplicação da metodologia DMAIC em uma fábrica de baterias para o controle das perdas de chumbo. / Daniel de Freitas Barbosa. – Jandaia do Sul, 2019.
 57 f.

 Orientador: Prof. Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira
 Trabalho de Conclusão do Curso (graduação) – Universidade Federal do Paraná. Campus Jandaia do Sul. Graduação em Engenharia de Produção.

 1. DMAIC. 2. Perda de chumbo. 3. Chumbo. 4. Bateria automotiva. I. Oliveira, André Luiz Gazoli de. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD: 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 029 DANIEL DE FREITAS BARBOSA/2019/UFPR/R/JA/CCEP
PROCESSO Nº 23075.079917/2019-87
INTERESSADO: DANIEL DE FREITAS BARBOSA

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

Título: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC EM UMA FÁBRICA DE BATERIAS PARA O CONTROLE DAS PERDAS DE CHUMBO
Autor(a): DANIEL DE FREITAS BARBOSA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau no curso de Engenharia de Produção, aprovado pela seguinte banca examinadora.

André Luiz Gazoli de Oliveira (Orientador)

Rafael Germano dal Molin Filho

Juliana Verga Shirabayashi



Documento assinado eletronicamente por **ANDRE LUIZ GAZOLI DE OLIVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/12/2019, às 17:13, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **RAFAEL GERMANO DAL MOLIN FILHO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/12/2019, às 17:51, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA VERGA SHIRABAYASHI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2019, às 13:02, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **2387791** e o código CRC **4FFCE741**.

RESUMO

A perda de chumbo é um grande problema nas empresas produtoras de baterias de chumbo-ácido, afetando sua produtividade e a competitividade. O presente estudo aplica a metodologia DMAIC em uma empresa fabricante de baterias automotivas, com o intuito de identificar e controlar as perdas de chumbo nos processos de produção de bateria. Esta pesquisa é um estudo de caso, onde foram analisados inicialmente três setores da produção de uma indústria. Foi identificado um grande volume de perda de massa de chumbo no setor de fundição, de tal modo que foi possível reduzir esta perda em 70%, representando aproximadamente 2940 Kg de massa de chumbo por dia de produção. A partir dos resultados é possível concluir que a metodologia DMAIC foi eficaz em sua aplicação no estudo, trazendo um consequente aumento na produtividade da indústria e se mostrando uma ferramenta útil para compreensão de problemas complexos. O estudo pode servir como base para estudos futuros ou melhorias na indústria estudada, pois, apresenta outros problemas que não foram focos da pesquisa e que podem gerar benefícios para empresa.

Palavras-chave: DMAIC. Perda de chumbo. Chumbo. Bateria automotiva.

ABSTRACT

Lead loss is a major problem for lead acid battery companies, affecting their productivity and competitiveness. The present study applies the DMAIC methodology in an automotive battery manufacturer to identify and control lead losses in battery production processes. This research is a case study, where three sectors of production of an industry were initially analyzed. A large volume of lead mass loss was identified in the foundry sector, so that it was possible to reduce this loss by 70%, representing approximately 2940 kg of lead mass per production day. From the results it is possible to conclude that the DMAIC methodology was effective in its application in the study, bringing a consequent increase in industry productivity and proving to be a useful tool for understanding complex problems. The study can serve as a basis for future studies or improvements in the studied industry, as it presents other problems that were not focus of the research and that may generate benefits for the company.

Keywords: DMAIC. Lead loss. Lead. Automotive battery.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO DOS NIVEIS DE SIGMA | 16 |
| FIGURA 2 – CICLO DMAIC | 19 |
| FIGURA 3 - EXEMPLO DE UM DIAGRAMA DE ISHIKAWA | 23 |
| FIGURA 4 - EXEMPLO DE UM GRÁFICO DE PARETO | 25 |
| FIGURA 5 - PROCESSO SOB CONTROLE | 27 |
| FIGURA 6 - PROCESSO FORA DE CONTROLE | 27 |
| FIGURA 7 – ETAPAS DA PRODUÇÃO DE BATERIA | 29 |
| FIGURA 8 – FLUXOGRAMA DA FUNDIÇÃO | 36 |
| FIGURA 9 – BATERIA DE CARRO POR DENTRO | 38 |
| FIGURA 10 – DIAGRAMA DE ISHIKAWA | 43 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| GRÁFICO 1 – REJEITOS DA FUNDIÇÃO..... | 39 |
| GRÁFICO 2 – MÉDIA DE PERDA DIÁRIA AMOSTRAL..... | 41 |
| GRÁFICO 3 – PERDA MÉDIA (ESTRATÉGIA DE CURTO PRAZO) | 47 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| QUADRO 1 – COMPARAÇÃO ENTRE DOIS NIVEIS DE SIGMA..... | 18 |
| QUADRO 2 – FORMULÁRIO DE PESQUISA..... | 31 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 – NÍVEIS DE SIGMA | 17 |
| TABELA 2 – 5W2H..... | 25 |
| TABELA 3 - TABELA COMPARATIVA DE DADOS | 32 |
| TABELA 4 – REJEITOS DE AGOSTO (MONTAGEM)..... | 33 |
| TABELA 5 – REJEITOS DE AGOSTO (FUNDIÇÃO)..... | 34 |
| TABELA 6 – REJEITOS DE AGOSTO (REFINO) | 34 |
| TABELA 7 – EXEMPLO DAS AMOSTRAS DE REJEITO DE MASSA | 40 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 CONTEXTO | 11 |
| 1.2 OBJETIVOS | 12 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 13 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 13 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA | 13 |
| 1.4 ESTRUTURA DO TCC..... | 14 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1 SEIS SIGMA E O CICLO DMAIC | 15 |
| 2.2 O DMAIC | 18 |
| 2.2.1 Definir (<i>Define</i>) | 19 |
| 2.2.2 Medir (<i>Measure</i>) | 20 |
| 2.2.3 Analisar (<i>Analyse</i>) | 21 |
| 2.2.4 Melhorar (<i>Improve</i>)..... | 21 |
| 2.2.5 Controlar (<i>Control</i>)..... | 22 |
| 2.3 FERRAMENTAS DE APOIO | 22 |
| 2.3.1 Diagrama de Ishikawa | 22 |
| 2.3.2 Gráfico de Pareto | 24 |
| 2.3.3 5W2H | 25 |
| 2.3.4 Gráficos de controle | 26 |
| 3 METODOLOGIA DE PESQUISA | 28 |
| 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA | 28 |
| 3.2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DO PROBLEMA | 28 |
| 3.3 FERRAMENTAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS | 31 |
| 4 ESTUDO DE CASO | 33 |
| 4.1 O SETOR DE FUNDIÇÃO..... | 36 |
| 4.2 REJEITOS..... | 37 |
| 4.3 DEFINIR..... | 38 |
| 4.4 MEDIR..... | 39 |
| 4.5 ANALISAR..... | 42 |
| 4.6 MELHORAR..... | 44 |
| 4.7 CONTROLAR..... | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 4.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE O DMAIC | 47 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 49 |
| 5.1 PRINCIPAIS RESULTADOS | 49 |
| 5.2 CONCLUSÕES ACERCA DOS OBJETIVOS DE PESQUISA | 50 |
| 5.3 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS | 51 |
| 5.4 RELEVANCIA DO ESTUDO | 52 |
| REFERÊNCIAS..... | 54 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

O mercado de bateria teve seu início no século XX quando começou a se substituir as manivelas de ignição dos veículos por baterias que servem não apenas para dar ignição ao carro, mas também para alimentar os sistemas auxiliares presentes no carro (CASTRO, BARROS, & VEIGA, 2013).

A indústria de baterias se divide em dois tipos de mercados, o primeiro é chamado de *Original Equipment Manufacturer* que é voltado para vendas às montadoras de veículos e o segundo tipo é baseado nas vendas para reposição e substituição de baterias em veículos usados (PEREIRA; BÁNKUTI, 2016).

De acordo com Castro *et al.* (2013), o mercado de repositores é composto em sua maioria de indústrias de pequeno e médio porte e de capital nacional, mesmo assim essa maioria domina a menor parte do mercado estimado em 45% do mercado nacional, enquanto os 55% restantes ficam na mão das grandes indústrias de capital aberto como a empresa Moura e a *Johnson Controls* (Heliar).

Hoje já existem vários tipos de baterias que se divergem pelo tipo de material que é utilizado para a geração de energia, as indústrias de baterias do Brasil têm seu foco de produção em um tipo específico de baterias, as chamadas baterias de chumbo-ácido (PbA), o tipo mais comum utilizado pelos automóveis com exceção de veículos elétricos e híbridos que necessitam de outros tipos de tecnologia, (CASTRO *et al.*, 2013).

A empresa que será analisada no presente estudo, faz parte do tipo de mercado chamado de reposição e de acordo com suas características é considerada uma empresa de médio porte de acordo com o número de funcionários segundo o SEBRAE (100 a 499 funcionários), que atua no ramo da produção de acumuladores de chumbo-ácido (baterias), ela busca aumentar sua produtividade, objetivando alcançar uma fatia maior do mercado e melhorar sua competitividade com indústrias do mesmo setor que atuam na região.

A empresa hoje sofre com perda do chumbo (Pb) no processo produtivo e a solução utilizada pela empresa para este problema é retorná-lo para o início do processo para ser fundido novamente e assim reaproveitá-lo, mas com isso a empresa perde em produtividade, pois, a quantidade de matéria-prima que

realmente está em processo é menor do que estava previsto e com isso a quantidade prevista de produtos acabados é afetada.

Segundo Ohno (1997), idealizador do *Lean Manufacturing*, dentro das indústrias podem ocorrer sete tipos distintos de desperdícios, que podem variar desde tempo, transporte e estoque até perdas de matéria prima e produto acabado.

As perdas presentes na indústria em questão se encaixam no tipo de perda que Ohno (1997) classifica como defeito; o defeito pode ocorrer por falhas no processo, em operações do processo e em matérias-primas, podem assim se ter dois destinos para esse tipo de perda, retrabalho ou descarte (REZENDE *et al.*, 2015).

Para saber mais sobre as perdas presentes na indústria estudada, foi utilizada a metodologia DMAIC para identificar, quantificar, analisar e controlar os desperdícios do processo produtivo de acumuladores de chumbo-ácido.

A metodologia DMAIC (sigla para os termos em inglês *Define, Measure, Analyse, Improve e Control*) utilizada junto com a metodologia do *Six Sigma* e tem como objetivo resumidamente melhorar processos, aumentando sua produtividade, reduzindo custos, perdas etc. (MINETTO, 2018).

O DMAIC utiliza de ferramentas estatísticas clássicas e ferramentas da qualidade organizadas sequencialmente, seguindo um modelo rigoroso e aplicadas de forma integrada e divididas entre suas cinco etapas. (HOLANDA *et al.*, 2013).

Para Santos (2015), o DMAIC se baseia na redução de custos e melhoria de produtividade através da investigação e administração de defeitos presentes no processo. Segundo Lynch (2003, *apud* COUTINHO, 2011) o DMAIC tem similaridade com um funil, onde o problema é gradualmente estreitado e o resultado é uma problemática de baixa complexidade, auxiliando assim nas tomadas de decisões.

Objetivando reduzir as perdas de matéria prima, chumbo (Pb), no processo produtivo de bateria chumbo-ácido e utilizando-se como base a metodologia DMAIC, o presente estudo busca responder a seguinte questão:

Quanto a perda de matéria prima durante o processo produtivo afeta a produtividade e qual seu impacto nos produtos acabados?

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção apresenta-se os objetivos do trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é aplicar a metodologia DMAIC em uma empresa fabricante de baterias automotivas, com o intuito de identificar e controlar as perdas de chumbo (Pb) nos processos industriais de produção de bateria.

1.2.2 Objetivos específicos

Visando atingir o objetivo geral deste estudo, foram elaborados os seguintes objetivos específicos, auxiliando na aplicação da metodologia DMAIC, assim, contribuindo para o sucesso do estudo.

- Identificar as perdas de chumbo no processo.
- Definir um problema principal a ser estudado.
- Implementar um plano de melhorias para o processo de redução de desperdício de chumbo.
- Definir um plano de ação para a continuidade do projeto.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com a globalização e o aumento da competitividade mercadológica, as indústrias necessitam melhorar suas capacidades produtivas, para se manter competitivas e não perderem espaço no mercado em que está inserida. Como solução para isso, algumas dessas empresas objetivam aumentar sua produtividade reduzindo perdas presentes em seus processos produtivos.

Segundo Maciel (2012) a redução de perdas do processo produtivo pode ser interpretada como ponto estratégico competitivo da empresa.

Com o objetivo de aumentar a produtividade com redução das perdas do processo, o presente trabalho faz o uso dos conceitos da metodologia DMAIC, que contribui para a melhoria do processo e auxilia na tomada de decisões por parte da organização empresarial.

Desta maneira, com a utilização das ferramentas do DMAIC, o estudo trará para realidade a aplicação de ferramentas teóricas em cima das perdas que estão presentes ao longo do processo produtivo da bateria, provando suas capacidades

reais no auxílio das tomadas de decisões, assim como controlar as reações do processo produtivo após a aplicação de mudanças ou melhorias.

A aplicação do DMAIC, trará um aprofundamento e um melhor entendimento de ferramentas de gestão da qualidade, assim como, a aplicabilidade de determinados métodos estatísticos voltados para controle e mensuração de perdas até então vistos em aplicações teóricas.

O presente estudo auxiliará no entendimento de como a ferramenta DMAIC administra e orienta um estudo de modo a melhorar a compreensão de um problema, desta forma, o estudo trará um exemplo da aplicação do DMAIC e os resultados obtidos em uma empresa real, com isso, o trabalho acrescenta de forma relevante no meio acadêmico, tendo como objetivo facilitar o estudo e a aplicação desta metodologia.

1.4 ESTRUTURA DO TCC

O estudo é composto por 5 capítulos. No primeiro Capítulo é feita uma introdução onde é abordado uma breve explicação do mercado e do problema da empresa estudada, introduz alguns conceitos que serão trabalhados ao longo dos outros capítulos.

O Capítulo dois, traz uma revisão teórica dos conceitos mais importantes para o estudo, como, a explicação de seis sigma e ciclo DMAIC, é explicado também as ferramentas que serão utilizadas para dar apoio ao estudo.

O Capítulo três é focado na metodologia do estudo, abordando e classificando o tipo de pesquisa e suas características básicas, também é feita uma breve descrição da empresa estudada e do problema que se busca solucionar, este capítulo mostra a estratégia para coleta e análise dos dados.

O quarto Capítulo apresenta a aplicação do DMAIC, assim como, o setor estudado e os tipos de rejeito identificados.

O Capítulo cinco tem um foco em comentar os resultados obtidos e analisar outras possibilidades que poderiam ser aplicadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este Capítulo apresenta os principais termos e ferramentas utilizados no estudo de caso, com o objetivo de facilitar a compreensão da metodologia DMAIC e de como o estudo foi orientado até sua conclusão.

2.1 SEIS SIGMA E O CICLO DMAIC

Segundo Carpinetti (2017) o programa *Six Sigma* ou seis sigma, em tradução literária para o português, teve sua origem nos anos de 1980 com o engenheiro Bill Smith funcionário da Motorola, alguns anos após o surgimento da metodologia, foi criada pelos especialistas em qualidade Mikel Harry e Richard Schroeder, a chamada “*Six Sigma Academy*” com o objetivo de difundir a metodologia seis sigmas para outras empresas.

De acordo com Coutinho (2011), a metodologia seis sigmas visa a otimização de processos mediante a redução ou minimização da variabilidade e redução de desperdícios.

Os difusores do seis sigma, Mikel e Richard, definem a metodologia como “Um processo de negócio que permite que as empresas melhorem drasticamente suas atividades de forma a reduzir desperdícios ao mesmo tempo em que aumenta a satisfação dos clientes”.

Para Barney (2002), a estratégia desenvolvida por Bill Smith padronizou uma forma na contagem de defeitos e de como definir um alvo para ações administrativas. Eckes (2001) também define o seis sigma como sendo uma sistemática que busca uma melhoria de desempenho dos processos essenciais através da redução de variabilidade dos produtos ou serviços.

Coronado (2002) ainda define seis sigma como sendo uma filosofia baseada nos princípios da Gestão da Qualidade Total que faz um uso intenso de métodos estatísticos e de ferramentas da qualidade objetivando reduzir taxas de falha, assim, reduzindo as perdas e/ou sucatas.

Coutinho (2011), explica que após a difusão da metodologia, recebeu contribuições de diversas empresas ao redor do mundo, mas a mais conhecida foi a contribuição da empresa GE (*General Electric*) que foi a padronização do processo de melhoria DMAIC à metodologia Seis Sigma.

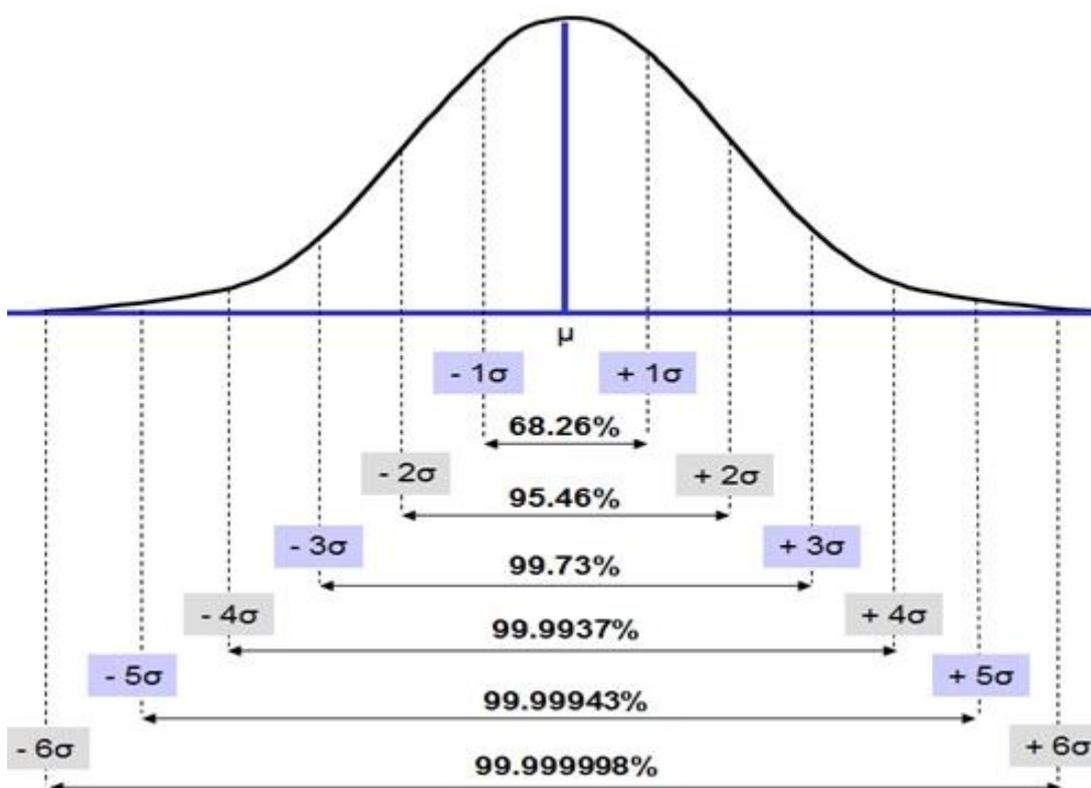
O processo DMAIC e as etapas que compõem este método serão descritos no próximo capítulo.

Para Pande *et al.* (2001), o Seis Sigma pode ser também uma medida de desempenho de um processo ou produto que busca a redução de variabilidade.

“Seis Sigma, faz referência ao nível de capacidade de processos. Ou seja, um processo Seis Sigma é aquele cuja variabilidade do resultado é medida em unidades de desvio-padrão, sigma” (CARPINETTI, 2017, p.143 e 144).

A exemplificação dos níveis de sigma distribuídos em uma curva de distribuição normal é apresentada na FIGURA 1.

FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO DOS NÍVEIS DE SIGMA.



FONTE: *Institute* (2019).

Para Werkema (2002), quanto menor for o desvio-padrão, maior a padronização do processo e menor a variabilidade, contribuindo para a redução de erros, perdas e desperdícios.

Segundo Trad e Maximiano (2009), o nível de sigma aumenta ao mesmo nível em que o desvio-padrão reduz.

Carpinetti (2017), explica que o nível de sigma nos dá a probabilidade de ocorrências por milhão de um produto ou serviço sair dos limites aceitáveis de variação.

Segundo Coutinho (2011), são raras as empresas que tem o processo em nível seis sigma, pois, não conseguem controlar o processo a longo prazo, fazendo assim, o desvio-padrão aumentar e o nível sigma reduzir; no atual cenário das indústrias o nível sigma mais comum de se encontrar é o nível quatro de sigma.

Para exemplificar como funcionam os diferentes níveis sigma em processos ou serviços, a TABELA 1 pode dar uma base dos efeitos que os níveis sigma podem gerar em um processo.

TABELA 1 – NÍVEIS DE SIGMA.

| Taxa de acerto | Taxa de erro | Defeitos por milhão de Oportunidades (DPMO) | Escala sigma |
|-----------------------|---------------------|--|---------------------|
| 30,9% | 69,1% | 691.462 | 1,0 |
| 69,1% | 30,9% | 308.538 | 2,0 |
| 93,3% | 6,7% | 66.807 | 3,0 |
| 99,38% | 0,62% | 6.210 | 4,0 |
| 99,9775 | 0,023% | 233 | 5,0 |
| 99,99966% | 0,00034% | 3,4 | 6,0 |

FONTE: Adaptado de Trad e Maximiano (2009).

O QUADRO 1 compara o nível quatro sigmas, dito por Coutinho (2011) como sendo o nível sigma mais comum entre as empresas, com o nível Seis Sigmas que é o ponto ideal segundo a metodologia seis sigma.

QUADRO 1 – COMPARAÇÃO ENTRE DOIS NÍVEIS DE SIGMA.

| Quatro Sigma (99,38% conforme) | ➔ | Seis Sigma (99,99966% conforme) |
|---|---|--|
| Sete horas de falta de energia elétrica por mês | ➔ | Uma hora de falta de energia elétrica a cada 34 anos |
| 5.000 operações cirúrgicas incorretas por semana | ➔ | 1,7 operação cirúrgica incorreta por semana |
| 3.000 cartas extraviadas para cada 300.000 cartas postadas | ➔ | Uma carta extraviada para cada 300.000 cartas postadas |
| Quinze minutos de fornecimento de água não potável por dia | ➔ | Um minuto de fornecimento de água não potável a cada sete meses |
| Um canal de TV 1,68 horas fora do ar por semana | ➔ | Um canal de TV 1,8 segundos fora do ar por semana |
| Uma aterrisagem de emergência no aeroporto de Guarulhos por dia | ➔ | Uma aterrisagem de emergência em todos os aeroportos do Brasil a cada cinco anos |

FONTE: Werkema (2006).

O QUADRO 1 exemplifica o efeito de dois níveis de sigma distintos em diferentes tipos de empresa e em diferentes tipos de produtos.

2.2 O DMAIC

Para Krahembuhl (2005), DMAIC é um roteiro composto por cinco etapas, muito utilizado pela metodologia seis sigma. Carpinetti (2017, p.150) explica que “DMAIC, é um acrônimo para *Define, Measure, Analyse, Improve e Control*”.

Coutinho (2011) considera o DMAIC uma ferramenta flexível, disciplinada e rigorosa composta por cinco etapas logicamente ligadas.

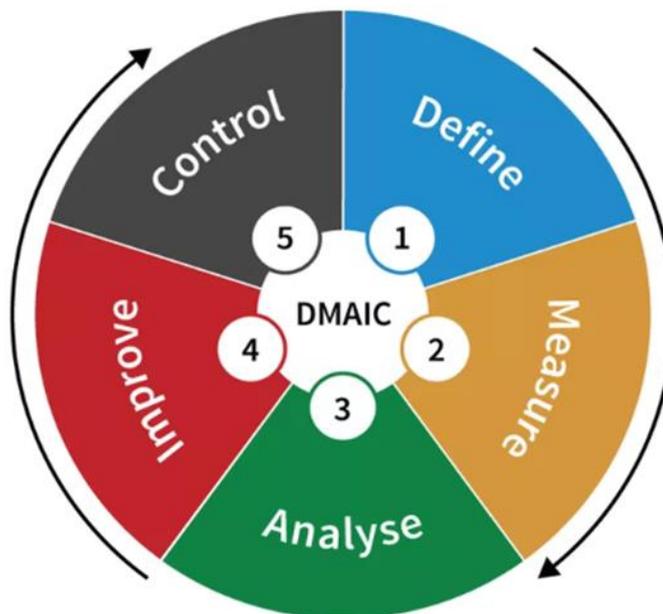
Lynch (2003) analisa a ferramenta como um funil, ajudando no estreitamento do escopo do projeto, aumentando a facilidade e agilidade na identificação e solução do problema.

Segundo Montgomery (2016) o DMAIC não é inteiramente dependente do Seis Sigma e pode ser usado como um procedimento geral sem a filosofia *Six Sigma*.

De acordo com Harry e Schroeder (2000), o DMAIC é utilizado de forma sequencial respeitando as etapas, mas nem sempre é possível seguir a sequência direta, assim, podendo ocorrer inversões ou trocas entre as etapas.

Uma ilustração que representa o funcionamento do ciclo DMAIC e de como se sequênciam as cinco fases desta metodologia são apresentadas na FIGURA 2.

FIGURA 2 – CICLO DMAIC.



FONTE: Goltzman (2019).

Para entender as etapas que seguem o DMAIC, cada fase e as ferramentas utilizadas serão explicadas abaixo.

2.2.1 Definir (*Define*)

Para Chowdhury (2001) citado por Coutinho (2011), nesta fase é onde são definidos os dados que devem ser analisados, são estabelecidas a situação inicial e a situação que se pretende chegar e as métricas que serão utilizadas.

Segundo Dos Santos (2015), nesta fase é quando o problema é definido e discutido até seu completo entendimento por todos os membros envolvidos no projeto.

Werkema (2002), simplifica dizendo que esta fase tem o foco de definir o objetivo e as metas a serem atingidas pelo programa.

As principais ferramentas que auxiliam nesta etapa, segundo Carpinetti (2017), são os gráficos de tendência, gráfico de Pareto e folha de verificação. Mais ferramentas de apoio são citadas por Coutinho (2011) que menciona mapa de fluxo de valor, diagrama SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs e Customers*), que

possibilitam identificar as variáveis que possa existir no processo e a matriz de causa e efeito que possibilita analisar as relações entre variáveis e informações geradas pelo processo produtivo.

Montgomery (2016) diz que esta fase só se conclui quando o projeto tiver uma validação e um legítimo avanço potencial comprovado, devendo ser importante para os clientes e para o negócio.

2.2.2 Medir (*Measure*)

Segundo Carpinetti (2017), esta fase tem o objetivo de coletar dados que auxiliem na investigação do problema. Para Montgomery (2016), esta fase é importante para avaliar e compreender o estado atual do processo, através da coleta de dados das variáveis-chave que afetam o processo.

Autores como Werkema (2002), Coutinho (2011), Montgomery (2016) e Carpinetti (2017) ressaltam a importância de se haver um plano de coleta de dados para que não ocorra medição de informações desnecessárias ou medição incorreta dos dados, analisando aspectos de pouca importância.

Para Krahe mbuhl (2005), a ferramenta 5W2H pode ser uma maneira de facilitar a elaboração do plano de coleta de dados. Ainda, segundo Krahe mbuhl (2005), ferramentas como folha de verificação e diagrama de Pareto são de grande importância para identificarem os níveis de amostragem necessários e identificar os problemas que terão prioridade para o estudo.

De acordo com Montgomery (2016), para facilitar a análise dos dados coletados, as informações podem ser apresentadas em formas de histogramas, diagrama de dispersão e gráficos de sequências.

Após todos os dados necessários coletados, segundo Coutinho (2011), a empresa consegue calcular seu nível de sigma de acordo com a metodologia Seis Sigma, assim como, seus defeitos por milhão que auxiliam na identificação da performance do sistema produtivo.

Para Montgomery (2016), após o encerramento desta etapa, a equipe do projeto deve analisar a necessidade de atualizar os objetivos desenvolvidos na etapa anterior (Definir), com base nas informações obtidas a partir das amostras coletadas.

2.2.3 Analisar (*Analyse*)

De acordo com Werkema (2002), esta fase tem o objetivo de identificar e organizar as causas do problema prioritário através da análise dos dados obtidos na etapa anterior. Para Coutinho (2011), nesta etapa são elaboradas estratégias, oportunidades e ações de melhorias.

No processo de análise de dados são utilizadas algumas ferramentas, como descrito por Krahe mbuhl (2005), dentre as mais comuns utilizadas para analisar dados estão o histograma, *boxplot*, diagrama de dispersão.

Para a identificação de causas fundamentais, segundo Carpinetti (2017), são utilizados métodos estatísticos como: teste de hipótese, análise de variância, análise de regressão e também a análise do FMEA (*failure modes and effects analysis*); o FMEA é útil neste tipo de análise, pois, de acordo com Montgomery (2016), esta ferramenta possibilita hierarquizar as fontes potenciais de variabilidade do processo, através de seus índices de controle. Além das ferramentas estatísticas utilizadas para a identificação, também é possível a utilização, segundo Krahe mbuhl (2005), do diagrama de causa e efeito ou diagrama de Ishikawa, que ilustra graficamente a análise das causas, dividindo-as em categorias.

Ao fim desta etapa, de acordo com Carpinetti (2017), espera-se uma explicação para o problema e a identificação de uma estratégia de melhoria.

2.2.4 Melhorar (*Improve*)

Segundo Coutinho (2011), esta etapa é o resultado da realização de todas as etapas anteriores. Para Montgomery (2016), essa etapa tem o objetivo de desenvolver uma solução para o problema identificado e adequar para um teste piloto.

De acordo com Carpinetti (2017), a quarta etapa do DMAIC deve planejar e executar ações de melhoria; pode necessitar de novas coletas de dados para validar a proposta de melhoria.

Segundo Krahe mbuhl (2005), se o teste piloto atingir sua meta, traça-se um plano para implementação em uma escala maior, caso contrário, é necessário retornar para a segunda etapa do DMAIC, medir, para uma nova coleta de dados mais confiáveis, com o intuito de gerar análises mais assertivas.

2.2.5 Controlar (*Control*)

De acordo com Harry (1994), a palavra controlar em processos produtivos significa, acompanhar e registrar as decisões, indicadores e métricas do processo analisado.

Para Carpinetti (2017), esta última etapa do DMAIC, tem como objetivo evitar que as melhorias obtidas não se percam.

Segundo Gijo *et al.*, (2011), para manter a sustentabilidade da estratégia de melhoria deve-se padronizar as alterações feitas no processo e elaborar um plano de acompanhamento ou plano de controle.

Seguindo o pensamento de Pande (2001, *apud* Coutinho, 2011, p.47), “as organizações são como uma fita elástica, que no início das mudanças e implementações podem esticar e adotar a forma desejada, mas quando o esforço deixa de ser aplicado, ela retorna a sua forma original”.

Para manter e acompanhar o processo e as ações de melhoria é necessário o uso de algumas ferramentas de apoio, segundo Matos e Caten (2003), uma ferramenta muito usual para esta etapa é o CEP (controle estatístico do processo) que impõe limites de tolerância da variabilidade do processo. Mais ferramentas são mencionadas por outros autores aplicadas a esta etapa, de acordo Krahembuhl (2005) e Dos Santos (2015), na fase de controle do projeto pode-se usar também histogramas, gráfico de tendência, folha de verificação, relatórios de coleta de dados e índices de capacidade.

2.3 FERRAMENTAS DE APOIO

Esta parte tem como objetivo, explicar as ferramentas mais usadas que foram mencionadas nos tópicos anteriores e que normalmente auxiliam em todas as etapas do DMAIC.

2.3.1 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito ou diagrama de espinha de peixe, de acordo com Andrade *et al.*, (2012), foi

desenvolvido no ano de 1953 por Kaoru Ishikawa, no Japão, com o intuito de relacionar alguns efeitos mensuráveis com um conjunto de possíveis causas.

Para Longo (2011), o diagrama de causa e efeito possibilita conhecer os problemas do processo mais detalhadamente e é uma ferramenta de compreensão básica, que pode ser aplicada por pessoas de qualquer nível da empresa que esteja envolvido no processo.

O diagrama, segundo Mariani (2005), é uma técnica simples e eficaz para relacionar possíveis causas ao um dado problema. O objetivo desta ferramenta, de acordo com Lins (1993), é identificar as causas de um problema, através das chamadas “categorias básicas” de possíveis causas, divididas entre máquina, materiais, mão-de-obra/operador, método, meio ambiente e medida.

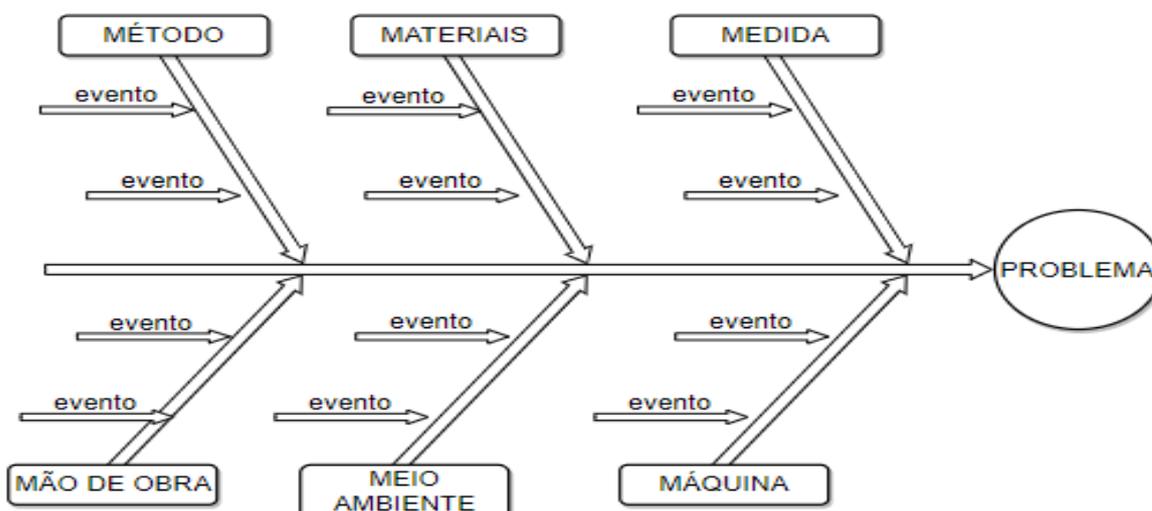
Para Seleme e Stadler (2012), esta técnica tem o intuito de mostrar a relação entre características da qualidade e seus diversos fatores.

Um fator negativo ligado a esta técnica, segundo Martinelli (2009), é que este diagrama não tem capacidade de priorizar as causas, dificultando a seleção de quais problemas devem ter um foco maior para correção.

Para a elaboração desta ferramenta, de acordo com Behr (2008), o primeiro passo é definir qual o problema a ser estudado, feito isso, é necessário evidenciar o maior número possível de causa que podem gerar o problema.

Um exemplo visual de como é o diagrama de Ishikawa e de como são organizadas as informações no mesmo é apresentado na FIGURA 3.

FIGURA 3 – EXEMPLO DE UM DIAGRAMA DE ISHIKAWA



FONTE: Autor (2019).

Algumas das vantagens da aplicação desta ferramenta, de acordo com Lins (1993), é que ela propicia uma análise geral do conhecimento que o grupo envolvido tem sobre o problema em questão, ajudando na redução de tempo para identificação de causas mais críticas e contribui também para troca de informações entre todos os envolvidos no projeto.

2.3.2 Gráfico de Pareto

A análise de Pareto, de acordo com Martinelli (2009), surgiu com o economista Vilfredo Pareto, na Inglaterra, quando ele constatou que 80% da riqueza do país estava concentrada em 20% da população, mas foi Joseph Juran que utilizou este conceito no ambiente industrial, analisando que uma minoria dos problemas eram responsáveis por uma maior fatia dos custos industriais.

Para Lins (1993), o gráfico de Pareto é um gráfico de barras onde as barras representam as causas do problema, elas são quantificadas em função de suas contribuições para o problema. De acordo com Longo (2011), essa técnica organiza de forma decrescente de contribuição as causas do problema.

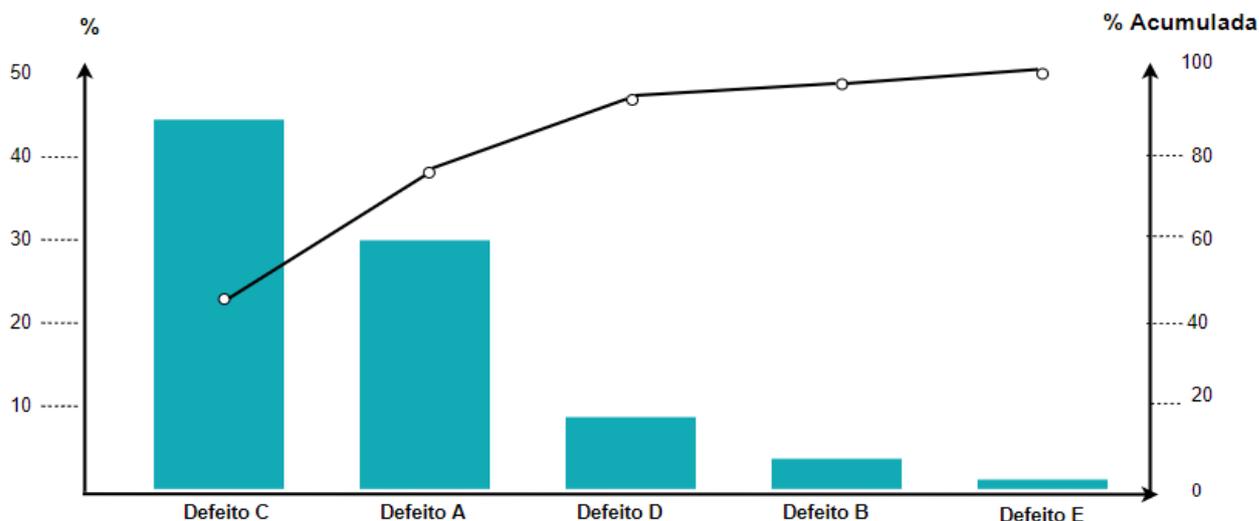
Uma característica deste método, segundo Behr (2008), é que este gráfico auxilia na melhor visualização do problema e suas causas, apontando as causas principais e ajudando a priorizar as ações de melhoria e concentrar recursos onde são mais necessários.

É considerado de acordo com Andrade *et al.*, (2012), uma das melhores ferramentas para priorizar problemas, melhorar a visualização das causas e pode servir como comparativo do processo após a aplicação de ações de melhoria.

Segundo Vieira (2007, p. 58), *apud* Martinelli, (2009, p. 145), “Esta ferramenta é importante na medida em que indica as ações prioritárias, para que não gastemos energia com coisas pequenas, deixando as mais importantes em segundo plano”.

Uma exemplificação do gráfico de Pareto é mostrada na FIGURA 4.

FIGURA 4 – EXEMPLO DE UM GRÁFICO DE PARETO.



FONTE: Adaptado Andrade *et al.*, (2012).

2.3.3 5W2H

De acordo com Seleme e Stadler (2012), esta ferramenta tem como objetivo responder sete perguntas, *what?*, *who?*, *where?*, *when?*, *why?*, *how?* e *how much?*, com o objetivo de tentar identificar possíveis causas do problema e organizar possíveis ações de melhorias.

A TABELA 2, mostra as perguntas em língua inglesa juntamente com sua tradução em português e quais os direcionadores de cada pergunta.

TABELA 2 – 5W2H.

| Pergunta | Significado | Pergunta instigadora | Direcionador |
|------------------|---------------|-----------------------------|-----------------|
| <i>What?</i> | O quê? | O que deve ser feito? | O objeto |
| <i>Who?</i> | Quem? | Quem é o responsável? | O sujeito |
| <i>Where?</i> | Onde? | Onde deve ser feito? | O local |
| <i>When?</i> | Quando? | Quando deve ser feito? | O tempo |
| <i>Why?</i> | Por quê? | Por que é necessário fazer? | A razão/ motivo |
| <i>How?</i> | Como? | Como será feito? | O método |
| <i>How much?</i> | Quanto custa? | Quanto vai custar? | O valor |

FONTE: Adaptado Seleme e Stadler (2012).

Segundo Behr (2008), as perguntas devem ser respondidas de forma clara e objetiva, para que não haja divergências de interpretação entre os membros da

equipe do projeto, assim, facilitando na estruturação de uma estratégia de melhoria e auxiliando em uma melhor visão de como os processos estão se desenvolvendo.

Para Mariani (2005), a ferramenta tem a capacidade de priorização de atividades, identificando através de interpretação, qual ou quais são as causas que tem prioridade para ações corretivas.

2.3.4 Gráficos de controle

Segundo Carpinetti (2017), os gráficos de controle têm como objetivo acompanhar um processo, de modo a garantir que ele opere na sua melhor condição. Para Andrade et al., (2012), os gráficos de controle analisam o comportamento do processo em um período determinado, podendo informar se este processo está ou não sob controle.

De acordo com Longo (2011), quando um processo é definido como sob controle, significa que ele sofre influência apenas de variações casuais, que são variações inerentes ao processo e aparecem no processo de forma aleatória e são de difícil controle, já quando este processo está fora de controle, significa que além de variações casuais há também a presença de variações de caráter especial, que são variações que acontecem em momentos pontuais ao longo do processo e que ocorrem por meio de influência de fatores externos.

Segundo Andrade *et al.*, (2012), estes gráficos de controle são compostos por três linhas, chamadas de limites de tolerância, esses limites são calculados a partir de métodos estatísticos, baseados nos dados amostrais coletados do processo, formando assim, os limites superior, inferior e ao limite central que representa o ideal do processo.

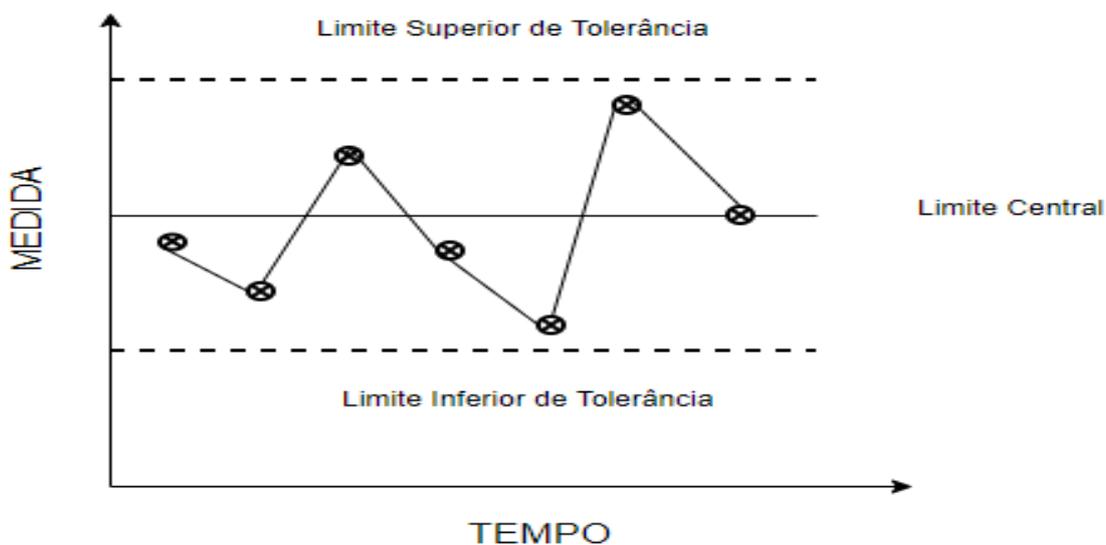
Explica Carpinetti (2017), que quando o processo está sob controle estatístico, significa dizer que os dados amostrais coletados variam aleatoriamente dentro dos limites de tolerância; já quando está fora de controle, significa que um ou mais pontos das amostras do processo estão acima ou abaixo dos limites de tolerância.

De acordo com Longo (2011), quando se é constatado que um processo está fora de controle, é necessário identificar a(s) causa(s) especiais, investigar e controlar os fatores causadores de variações anormais.

Ainda segundo Longo (2011), existem diversos tipos de cartas de controle, que devem ser aplicados de acordo com de característica, processo, produto ou qualquer tipo de saída que se quer acompanhar.

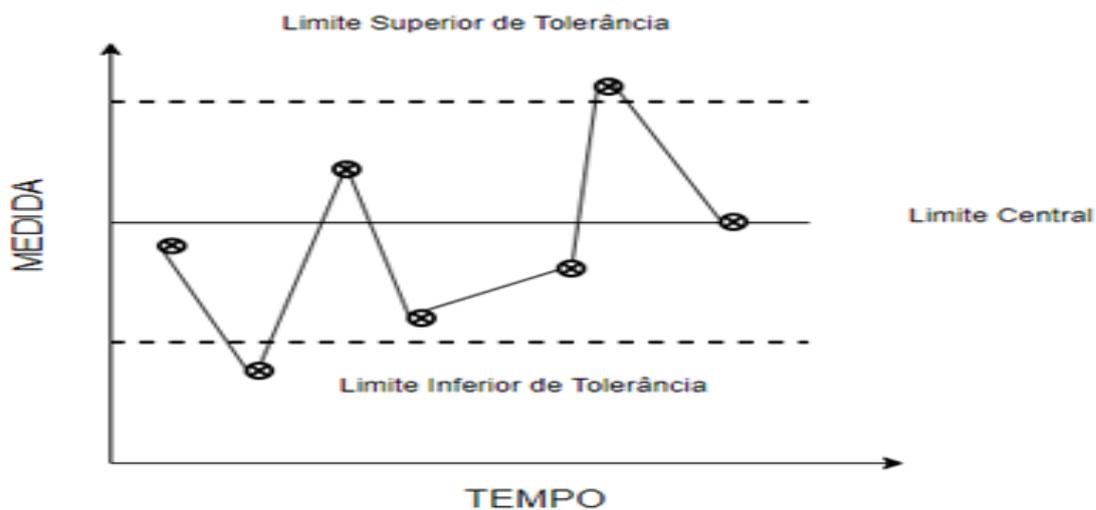
As FIGURAS 5 e 6 apresentam os gráficos do processo sob controle e fora de controle respectivamente.

FIGURA 5 – PROCESSO SOB CONTROLE.



FONTE: Adaptado Silveira (2019).

FIGURA 6 – PROCESSO FORA DE CONTROLE.



FONTE: Adaptado Silveira (2019).

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Este capítulo apresenta informações referentes a classificação e características da pesquisa desenvolvida, o processo produtivo da empresa analisada e algumas ferramentas elaboradas para auxiliar na coleta de dados.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

No que se refere a natureza da pesquisa, ela se enquadra em pesquisa aplicada. Segundo Silva e Menezes (2005), este tipo de pesquisa busca gerar conhecimento para a solução de problemas específicos.

Com relação a estratégia de pesquisa, o estudo é classificado como estudo de caso, pois, de acordo com Silva e Menezes (2005), é um estudo que busca ampliar e detalhar um conhecimento sobre uma área ou problema específico.

Já caracterizando o tipo de abordagem da pesquisa, ela se enquadra em pesquisa quantitativa, ou seja tudo pode ser quantificável ou traduzido em números e requer o uso de ferramentas estatísticas.

Os objetivos são caracterizados com exploratórios, pois, buscam familiarizar o problema com o intuito de formular hipóteses (GIL, 1991).

3.2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DO PROBLEMA

A empresa que será utilizada como base para o levantamento de dados e demais informações que serão necessárias ao longo do estudo, é uma empresa que atua no setor automotivo, produzindo baterias para carros, motos, caminhões e ônibus, sendo essas baterias destinadas apenas para o chamado setor de reposição, onde as baterias são revendidas por atacado ou varejo. A empresa está localizada na cidade de Apucarana, interior norte do estado do Paraná, Brasil.

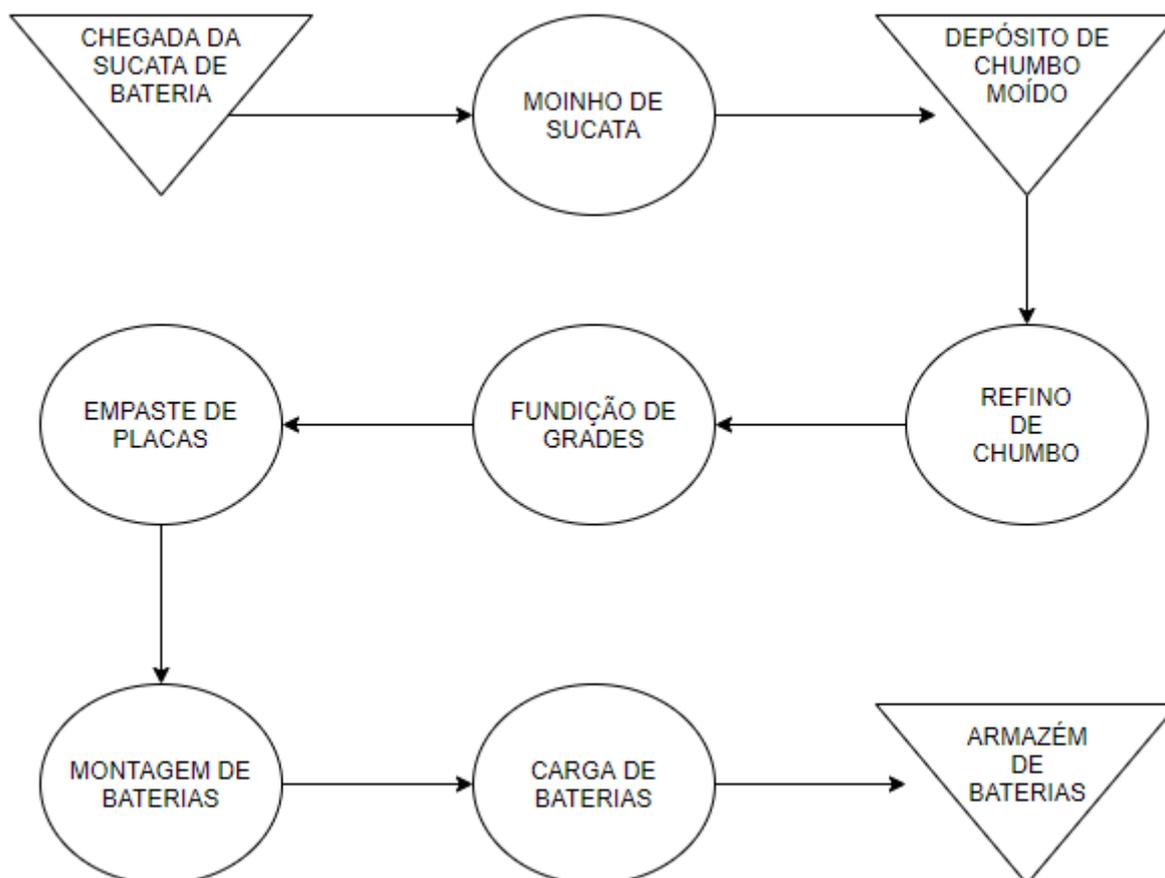
A empresa analisada é classificada como uma empresa de médio porte, segundo a classificação do SEBRAE pelo número de funcionários (100 a 499), pois, a empresa atualmente possui 200 colaboradores na planta industrial. A empresa atua no setor de baterias há mais de 50 anos, onde começou produzindo baterias apenas para carros.

O tipo de bateria produzido pela indústria é do tipo chumbo-ácido, modelo de bateria mais comum hoje em dia, mesmo havendo baterias que utilizam de tecnologias mais eficientes no mercado, o chumbo-ácido ainda é mais barato, uma explicação pelo seu grande domínio de mercado.

As baterias de chumbo-ácido, são compostas de um eletrólito, a solução de ácido sulfúrico e por placas formadas principalmente de chumbo (Pb). Existem dois tipos de placas que compõe uma bateria, as placas positivas, também chamadas de ânodos e as placas negativas, chamadas de cátodos, essas placas têm a função de armazenar e conduzir cargas elétricas, para o equipamento que à utiliza.

As etapas do processo de produção da bateria são apresentadas na FIGURA 7.

FIGURA 7 – ETAPAS DA PRODUÇÃO DE BATERIA.



FONTE: Autor (2019).

O processo produtivo da bateria da indústria analisada, inicia-se com a chegada da sucata de bateria (bateria velha, usada ou defeituosa), está sucata é

moída no moinho de sucata, onde se separa o chumbo, o plástico e o ácido, o chumbo é reservado por alguns dias, enquanto o plástico e o ácido são reaproveitados por indústrias terceirizadas. Após ser reservado o chumbo vai para o forno, onde é derretido e transformado em roques (caixas de chumbo maciço), feito isso, os roques são levados para o refino, onde são tiradas as impurezas do chumbo e são formados os lingotes de chumbo.

Após o setor de metalurgia da empresa, o chumbo é levado para a fundição, onde parte deste chumbo é utilizado para fazer as grades de chumbo e a outra parte para fazer o óxido de chumbo (PbO), que é utilizado para empastar as grades e formar as placas positivas e negativas.

Passado o processo de produção das placas, elas vão para a estufa onde ficam por um período de 24 horas, com o objetivo de secar e fixar o óxido de chumbo (PbO) na grade, para formar uma placa mais eficiente e duradoura. Saindo da estufa, as placas vão para o setor de montagem, onde são colocadas dentro da caixa da bateria, junto com o separador, que é um material isolante utilizado entre as placas negativas e positivas com o objetivo de evitar que haja curto circuito entre elas. No setor da montagem são colocadas as placas e separador na caixa plástica e são fixados as tampas e os polos da bateria.

Depois de montada, a bateria, é levada para o setor de formação, onde é colocada solução ácida dentro da bateria e é feita a carga da bateria, o tempo de carga de bateria varia de acordo com seu tamanho, mas em média uma bateria leva de 24 a 30 horas para ser carregada completamente.

Após carregada, a bateria é levada para um estoque para descansar, passado algum tempo de descanso, que varia de acordo com o tipo de bateria, ela é levada para a expedição, onde é realizado o teste de carga de cada bateria e o embalado dos lotes para a entrega.

Ao longo do processo produtivo, ocorrem perdas da matéria-prima principal, o chumbo (Pb), a perda deste material neste tipo de processo, tem a possibilidade de ser retrabalhada, através do retorno do mesmo para a fundição, onde o chumbo é derretido e refinado para retornar ao processo novamente.

Os problemas que serão analisados pelo estudo, são as perdas de chumbo que ocorrem durante o processo, sendo que este chumbo possa voltar para o processo produtivo. As áreas que geram mais perdas na indústria, são os setores de fundição de chumbo, fundição de grades e o empaste. Então o intuito é analisar

principalmente as perdas que são geradas nestes setores mais críticos e identificar os fatores que influenciam tais perdas.

3.3 FERRAMENTAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A primeira etapa da coleta de dados foi feita a partir de um formulário de pesquisa, que será respondido por pelo menos três colaboradores de cada setor, sendo o gerente industrial, o encarregado do setor e um operador de máquina de cada setor, isso faz com que se obtenha dados mais abrangentes e que englobam todas as áreas da produção em diferentes níveis estratégicos.

Um exemplo de formulário que será utilizado para a coleta de dados é mostrado no QUADRO 2.

QUADRO 2 – FORMULÁRIO DE PESQUISA.

| Formulário de pesquisa | |
|---|----------------------|
| Nome: | Cargo: |
| Setor: | |
| Questões | Respostas |
| Qual maquinário gera mais perdas: | |
| Qual a frequência de perdas: | |
| Estimativa diária de perdas: | |
| Estimativa mensal de perdas: | |
| As perdas interferem no desenvolvimento da atividade: | Sim () Não () |
| Se Sim , de que forma: | |
| Sabe identificar alguma causa de perda: | Sim () Não () |
| Se Sim , qual ou quais: | |
| Alguma sugestão para melhoria de modo geral: | |

FONTE: Autor (2019).

Além do formulário de pesquisa para levantamento dos dados iniciais, foram utilizados alguns documentos da empresa nos quais há informações sobre perdas e retrabalhos de cada setor, por motivos de segurança a empresa não autorizou expor o modelo do documento que foi analisado.

Como última etapa do processo de levantamento de dados, foram feitas as observações diretas, que consiste em o autor do estudo ir diretamente em cada setor no chão de fábrica e analisar todas as questões levantadas no formulário de pesquisa.

Para encerrar esta etapa, é necessário padronizar todos os dados coletados de modo que não ocorra divergência nos dados, ocasionando erros nos resultados; para a padronização dos dados, foi elaborado um modelo de tabela para análise e comparação dos mesmos, que é apresentada na TABELA 3.

TABELA 3 – TABELA COMPARATIVA DE DADOS.

| Tabela comparativa de dados | | | | |
|------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Setor: | | | | |
| Variável | Obs. Direta | Documento | Formulário | Conclusões |
| Qtd. Perda | | | | |
| Tipo de perda | | | | |
| Máquina | | | | |
| Causa (s) | | | | |
| Efeitos no processo | | | | |
| Oportunidade (s) | | | | |

FONTE: Autor (2019).

4 ESTUDO DE CASO

Com os dados coletados a partir dos documentos mencionados no capítulo anterior pode-se fazer uma análise dos setores. Os dados obtidos são referentes as perdas de chumbo dos setores de refino, fundição e montagem de bateria e estão exemplificados nas TABELAS 4, 5 e 6.

TABELA 4 – REJEITOS DE AGOSTO (MONTAGEM).

| REJEITOS DA MONTAGEM (Kg) | | | |
|----------------------------------|--------------|-----------------|---------------|
| DIA | PLACA | METÁLICO | SUCATA |
| 02/08 | 1580 | | 900 |
| 03/08 | | | 1480 |
| 05/08 | 520 | | |
| 06/08 | 960 | | 1020 |
| 07/08 | | 819 | |
| 09/08 | | | 760 |
| 10/08 | 1960 | | |
| 13/08 | 560 | | |
| 14/08 | | 735 | |
| 16/08 | 1000 | | 640 |
| 20/08 | 820 | | 370 |
| 21/08 | | | 1280 |
| 22/08 | 1730 | | |
| 23/08 | 120 | | |
| 26/08 | 1480 | 680 | 81 |
| 29/08 | 250 | 32 | |
| 30/08 | 1040 | | |

FONTE: Autor (2019).

TABELA 5 - REJEITOS DE AGOSTO (FUNDIÇÃO).

| REJEITOS FUNDIÇÃO (Kg) | |
|-------------------------------|----------------------|
| DIA | PLACA + GRADE |
| 02/08 | 240 |
| 05/08 | 170 |
| 06/08 | 180 |
| 07/08 | 190 |
| 08/08 | 160 |
| 09/08 | 180 |
| 12/08 | 220 |
| 13/08 | 240 |
| 14/08 | 260 |
| 15/08 | 240 |
| 16/08 | 235 |
| 19/08 | 248 |
| 20/08 | 190 |
| 21/08 | 290 |
| 22/08 | 240 |
| 23/08 | 260 |
| 26/08 | 238 |
| 27/08 | 213 |

FONTE: Autor (2019).

Para que o estudo atenda a metodologia DMAIC, é necessário estreitar os dados com o intuito de tornar mais fácil a compreensão do problema e facilitar a elaboração de estratégias. Para começar o processo de redução dos dados é preciso escolher qual o setor entre os analisados tem um problema mais crítico ou qual tem maior importância para se produzir uma bateria.

Para selecionar um setor tomou-se como critério de avaliação o tempo de forma geral (tempo de produção, tempo de espera e tempo de reaproveitamento).

A partir destes critérios e dos conhecimentos da produção de bateria foi selecionado como o setor foco do estudo, o setor de fundição, onde são produzidas as grades e placas de chumbo. Este setor foi selecionado, pois, os setores de montagem, carga e expedição dependem totalmente dele para produzirem, já que é ele que produz a matéria prima principal para a montagem da bateria; utilizando o critério de tempo para este setor pode-se analisar que grande parte dos setores

dependem direta e indiretamente da produção da placa de chumbo e que as perdas que ocorrem neste setor impactam diretamente no tempo de entrega da bateria.

TABELA 6 - REJEITOS DE AGOSTO (REFINO).

| REJEITOS REFINO (Kg) | |
|-----------------------------|-----------------|
| DIA | METÁLICO |
| 01/08 | 3821 |
| 02/08 | 3902 |
| 03/08 | 3671 |
| 04/08 | 2525 |
| 05/08 | 4110 |
| 06/08 | 3711 |
| 07/08 | 3822 |
| 08/08 | 3755 |
| 09/08 | 2903 |
| 10/08 | 3521 |
| 11/08 | 3710 |
| 12/08 | 3027 |
| 13/08 | 4215 |
| 14/08 | 3610 |
| 15/08 | 3523 |
| 16/08 | 3430 |
| 17/08 | 4229 |
| 18/08 | 3911 |
| 19/08 | 3413 |
| 20/08 | 2919 |
| 21/08 | 3321 |
| 22/08 | 4861 |
| 23/08 | 3740 |
| 24/08 | 3761 |
| 25/08 | 3849 |
| 26/08 | 2981 |
| 27/08 | 3125 |
| 28/08 | 3343 |
| 29/08 | 3918 |
| 30/08 | 3845 |
| 31/08 | 4219 |

FONTE: Autor (2019).

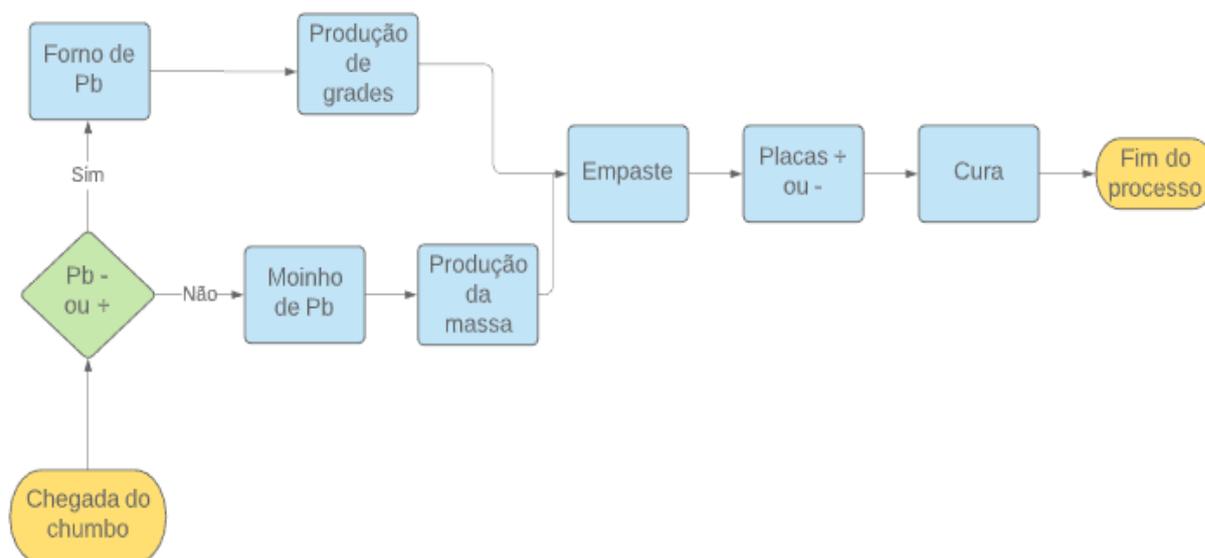
Com a escolha de um setor principal a ser estudado é possível dar início a aplicação do DMAIC.

Os subcapítulos a seguir explicarão o setor da fundição, em quais atividades estão presentes os rejeitos e cada etapa do DMAIC aplicados ao presente estudo.

4.1 O SETOR DE FUNDIÇÃO

Para entender melhor o setor de fundição foi elaborado um fluxograma do mesmo onde é exemplificado o processo do chumbo. O fluxograma é apresentado na FIGURA 8.

FIGURA 8– FLUXOGRAMA DA FUNDIÇÃO.



FONTE: Autor (2019).

O setor de fundição é responsável pela produção das grades de chumbo, óxido de chumbo, massa de chumbo e as placas positivas e negativas.

O início da produção do setor se dá com a chegada dos chumbos positivos, negativos e puro vindos do setor de refino; os chumbos positivos e negativos vão para as placas onde são derretidos e transformados em grades, já o chumbo puro é levado para um moinho, onde é transformado em óxido de chumbo, o óxido por sua vez é levado para a misturadora, que o mistura com a água e outros produtos para produzir a massa. Com as grades e massa prontas, ambas vão para a máquina

de empaste que faz a junção dos dois materiais para produzir as placas, após este processo, as placas são levadas para a cura, onde descansam por 24 horas até a massa estar completamente aderida a grade. Saindo da cura as placas são levadas para o setor de montagem, onde são colocadas dentro das baterias.

4.2 REJEITOS

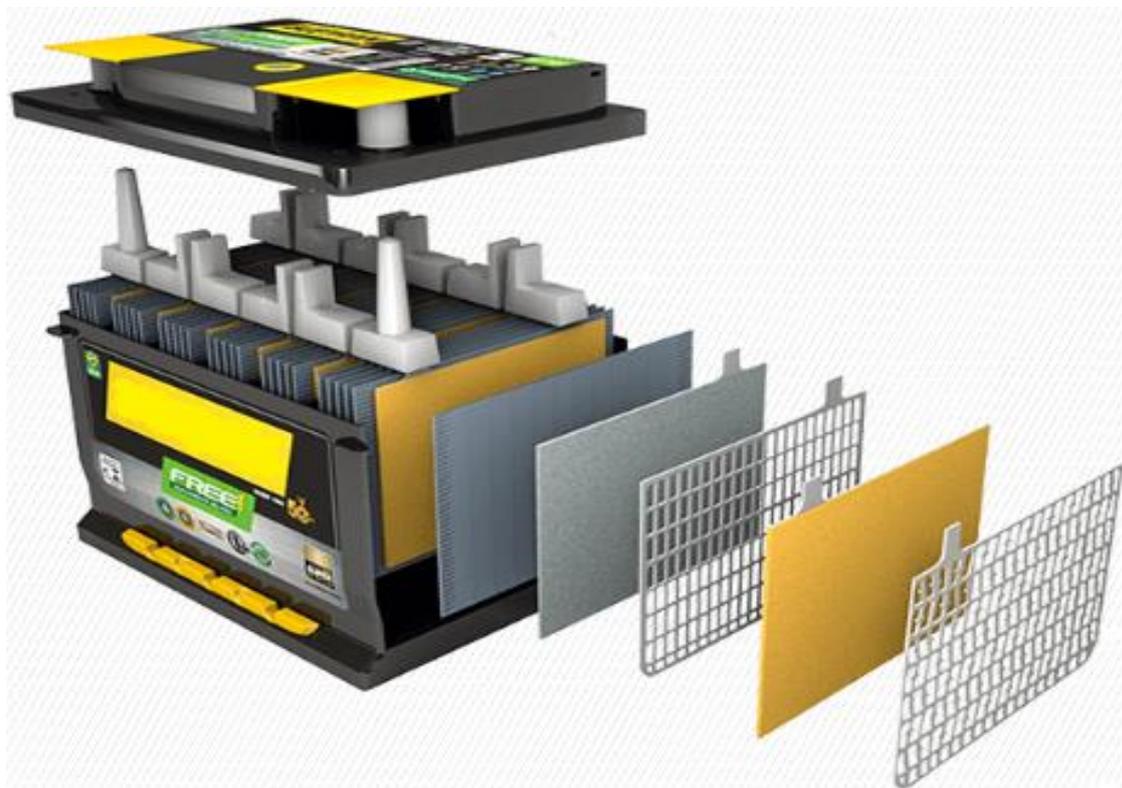
As perdas ou rejeito de chumbo estão presentes em todos os setores de produção da Indústria, em sua grande maioria estas perdas ocorrem nos processos internos dos maquinários, ou seja, sem a intervenção do colaborador.

A empresa tem um gasto de tempo para tratar esse rejeito, sendo um fator de grande importância para a produção, pois, a produção de baterias é um processo relativamente longo, em média uma bateria demora 20 (vinte) dias para ficar pronta e as perdas de tempo com rejeitos, podem gerar um aumento neste tempo de produção.

Quando ocorrem falta de placas para a montagem de baterias, por motivos de perdas na fundição, o tempo para entrega de determinada bateria pode aumentar de 2 (dois) a 3 (três) dias, pois, o setor de fundição precisa esperar o tipo de chumbo específico chegar do refino para começar o processo de produção novamente.

Os rejeitos presentes na fundição ocorrem em apenas dois momentos da produção, o primeiro rejeito é retirado das painéis que derretem o chumbo para fazer as grades e, o segundo rejeito, ocorre na máquina de empaste, onde se perdem as placas principalmente no começo e no fim do processo, pois, são momentos em que a máquina está sendo ajustada para produzir determinado modelo de placa; a máquina de empaste também perde muita massa de chumbo. O primeiro rejeito é composto de chumbo junto com suas impurezas, já o segundo é perdido a grade e massa de chumbo, sendo um rejeito mais importante para a análise, pois, se perde materiais com maior valor agregado, assim, sendo maior a perda financeira e temporal da empresa. Para melhor visualização dos rejeitos no processo, é possível ver as placas e grades de chumbo na FIGURA 9.

FIGURA 9 – BATERIA DE CARRO POR DENTRO.



FONTE: ELETAN (2019).

Nos próximos subcapítulos serão apresentadas as etapas do DMAIC aplicados ao setor de fundição.

4.3 DEFINIR

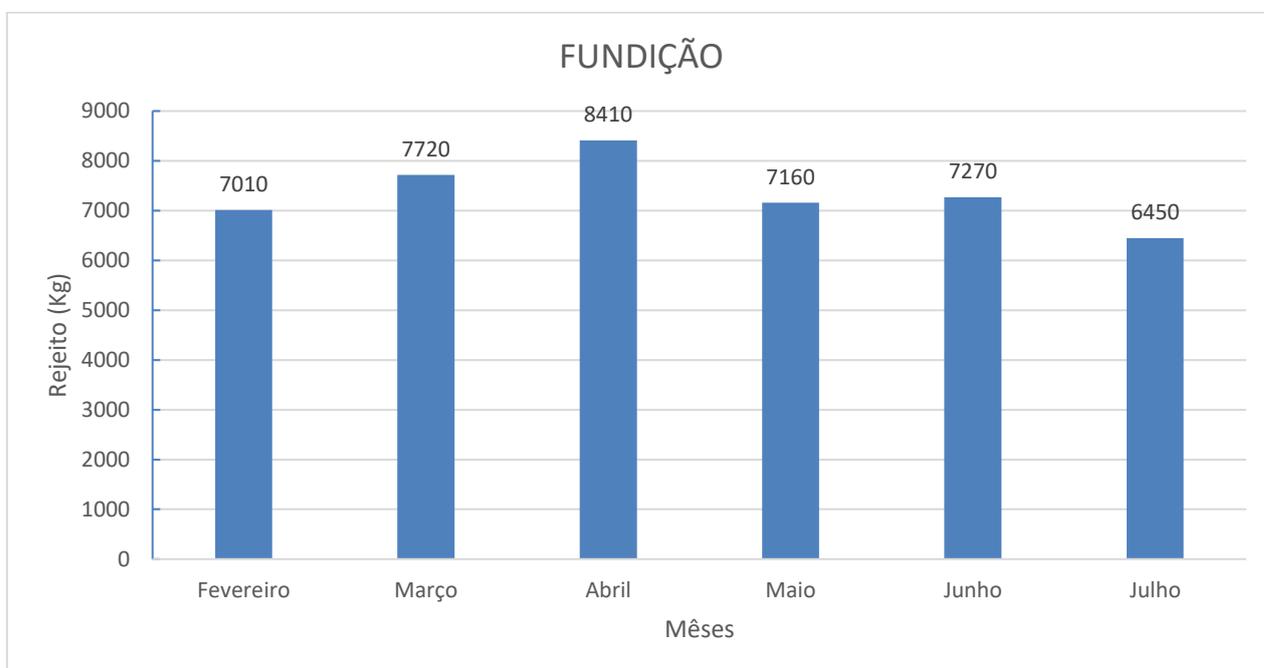
A primeira etapa do DMAIC é o *define* ou definir, onde é feito o planejamento do estudo e definido um objetivo a ser alcançado.

Analisando os dados coletados e fazendo observações diretas no chão de fábrica, foi possível averiguar que a máquina de empaste é um grande gerador de rejeito, principalmente de massa de empaste, que representa 60% do rejeito do setor de fundição, segundo informações da empresa.

É possível verificar no GRÁFICO 1 que em média o setor gera aproximadamente 7.000 Kg (sete mil quilos) por mês; destes, 60% são massa de

chumbo, representando uma perda mensal de 4.200 Kg (quatro mil quilos), as perdas do setor dos meses de fevereiro à julho estão expostas no GRÁFICO 1.

GRÁFICO 1 – REJEITOS DA FUNDIÇÃO.



FONTE: Autor (2019).

Analisando estes dados, foi definido como objetivo do DMAIC neste estudo reduzir o desperdício da massa de chumbo que reveste as grades para formar as placas de chumbo produzidas no setor de fundição, onde foi analisado que é um setor de vital importância para o funcionamento da produção e que o tempo de produção de baterias é sensível com relação a produção e perdas deste setor. O intuito de reduzir as perdas no setor de fundição é diminuir o tempo de produção das baterias, uma vez que quando ocorre grandes perdas de placas o setor de montagem fica incapacitado de produzir lotes inteiros, assim, atrasando a produção.

4.4 MEDIR

Esta etapa tem como objetivo a mensuração do problema, através da coleta de dados do cenário atual e a partir disto ir para a próxima etapa onde será feita a análises destes dados para a formulação de uma estratégia de solução.

Com o setor e o tipo de rejeito já previamente selecionados para análise, o próximo passo de focalização do problema é descobrir qual ou quais os principais motivos de perda de massa de chumbo.

Para esta fase, foi realizado um acompanhamento do processo de empaste. Entre outros aspectos, observou-se, que o maquinário que realiza este processo foi mal planejado ou sofreu alguma alteração em sua estrutura que acaba ocasionando esta perda de massa.

O acompanhamento da formação de rejeitos no equipamento de empaste aconteceu por três semanas, uma vez por dia. Sendo que este maquinário é utilizado duas vezes ao dia por volta de uma hora a duas horas por período (matutino e vespertino) dependendo da demanda de placas.

Os valores coletados variam um pouco dependendo do dia, pois, este equipamento produz diferentes tipos de placas, ou seja, a quantidade de massa utilizada varia, conseqüentemente a quantidade de massa perdida também varia.

O processo de empaste é um processo contínuo que chega a produzir até 25.000 (vinte e cinco mil) placas em um dia, sendo um processo contínuo, a perda de massa ocorre a cada placa produzida, e isso ocorre em torno de 1 a 2 segundos para uma placa ser empastada.

A coleta dos dados foi feita de maneira aleatória e foi realizada com o auxílio do operador do equipamento, que ajudou a pesar e a coletar algumas amostras da perda ao longo tempo de funcionamento da máquina. Por dia, foram coletadas um total de 24 (vinte e quatro) amostras dentro de um período de uma hora, ou seja, duas amostras a cada cinco minutos, respeitando o tempo de trabalho do operador que auxiliava na coleta.

Os dados coletados estão na unidade de medida gramas (g), os valores das amostras coletadas estão exemplificados na TABELA 7.

TABELA 7 – EXEMPLO DAS AMOSTRAS DE REJEITO DE MASSA

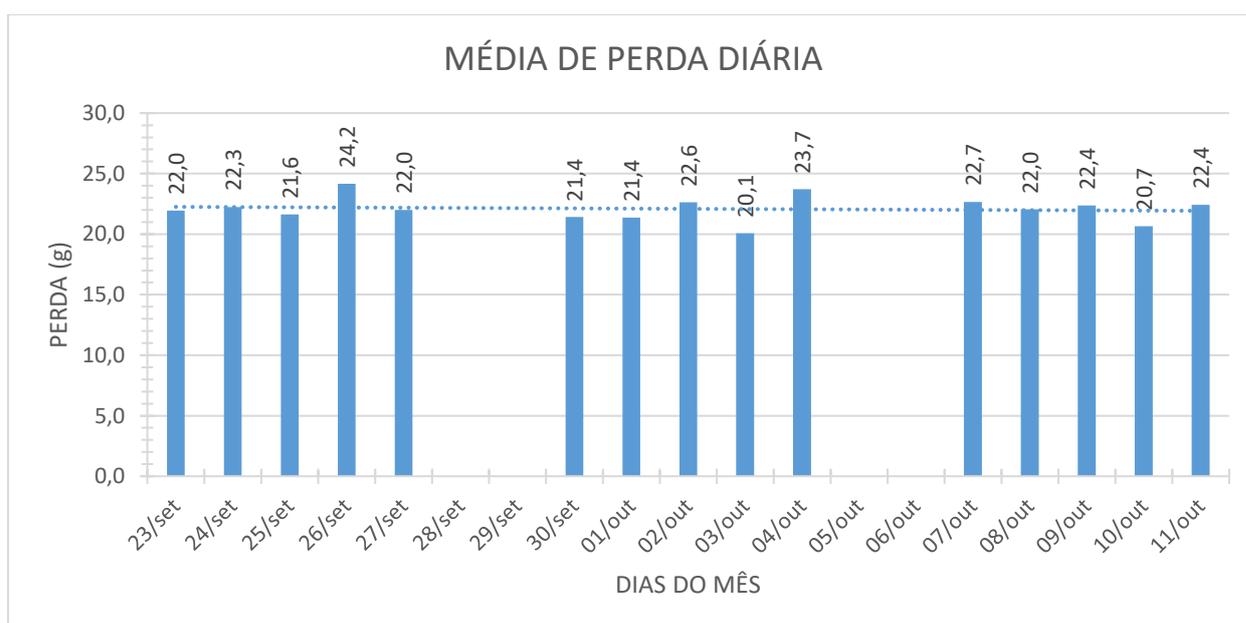
| DIA | 23/09 | 24/09 | 25/09 | 26/09 | 27/09 | 30/09 | 01/10 | 02/10 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AMOSTRA | | | | | | | | |
| 1 | 21 | 25 | 19 | 20 | 18 | 19 | 19 | 20 |
| 2 | 18 | 19 | 19 | 24 | 23 | 20 | 23 | 22 |
| 3 | 25 | 22 | 29 | 27 | 23 | 21 | 25 | 22 |
| 4 | 22 | 26 | 28 | 29 | 20 | 24 | 22 | 22 |
| 5 | 23 | 22 | 18 | 28 | 26 | 21 | 23 | 25 |

| | | | | | | | | |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 6 | 19 | 26 | 15 | 21 | 21 | 22 | 18 | 20 |
| 7 | 18 | 26 | 25 | 24 | 20 | 20 | 21 | 22 |
| 8 | 21 | 20 | 23 | 25 | 21 | 20 | 23 | 20 |
| 9 | 23 | 22 | 16 | 22 | 26 | 19 | 21 | 25 |
| 10 | 19 | 20 | 29 | 20 | 18 | 21 | 22 | 23 |
| 11 | 22 | 19 | 24 | 27 | 19 | 19 | 22 | 23 |
| 12 | 24 | 26 | 28 | 21 | 21 | 24 | 19 | 24 |
| 13 | 22 | 24 | 18 | 22 | 25 | 23 | 21 | 24 |
| 14 | 22 | 23 | 23 | 22 | 19 | 21 | 20 | 21 |
| 15 | 20 | 23 | 16 | 23 | 21 | 26 | 25 | 21 |
| 16 | 25 | 23 | 21 | 24 | 25 | 22 | 25 | 24 |
| 17 | 25 | 22 | 21 | 20 | 25 | 26 | 21 | 23 |
| 18 | 17 | 19 | 20 | 26 | 26 | 19 | 19 | 24 |
| 19 | 28 | 26 | 24 | 26 | 22 | 20 | 20 | 21 |
| 20 | 20 | 18 | 29 | 23 | 21 | 20 | 19 | 23 |
| 21 | 27 | 17 | 16 | 28 | 10 | 20 | 25 | 23 |
| 22 | 25 | 16 | 16 | 25 | 22 | 22 | 19 | 22 |
| 23 | 18 | 15 | 15 | 24 | 24 | 25 | 21 | 24 |
| 24 | 23 | 27 | 27 | 29 | 22 | 20 | 20 | 25 |

FONTE: Autor (2019).

Observa-se que a média de perda de acordo com as amostras coletadas está em torno de 22g, como é mostrado no GRÁFICO 2.

GRÁFICO 2 – MÉDIA DE PERDA DIÁRIA AMOSTRAL.



FONTE: Autor (2019).

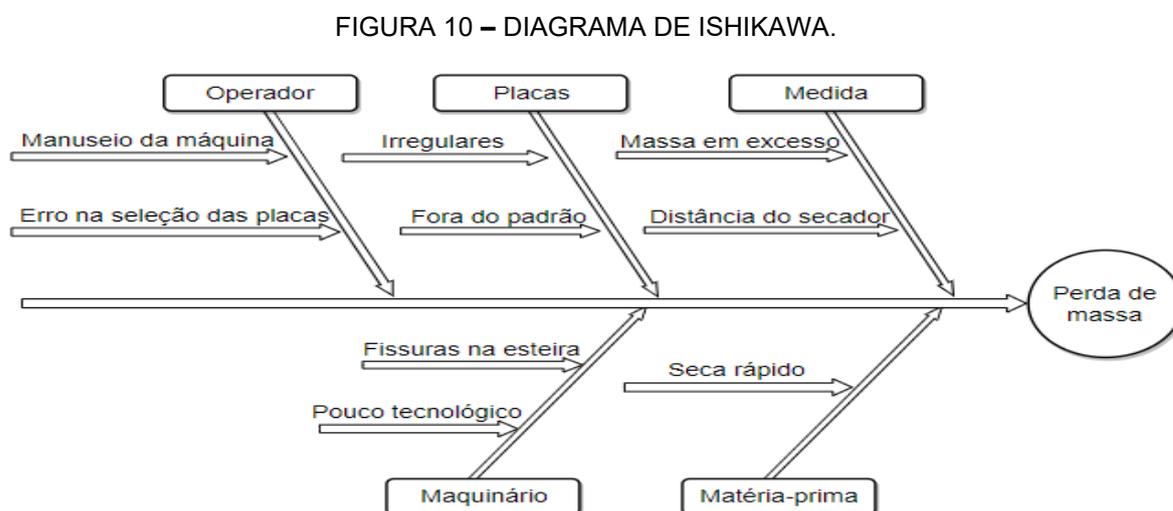
4.5 ANALISAR

Nesta etapa foi realizada uma análise dos dados coletados com o objetivo de elaborar algumas estratégias de solução para atacar o problema, que no presente trabalho é a perda de massa de chumbo no processo de empaste.

Como foi apresentado no subcapítulo anterior, a média de perda por segundo do processo é de 22g, levando como base que a placa de carro mais produzida por este maquinário utiliza 88g para sua produção, isso significa que a cada 4 segundos de produção, é perdido massa suficiente para se produzir uma placa. A bateria mais produzida hoje na empresa é a bateria de 60 Ah (Ampère – hora), para se produzir uma bateria deste modelo são necessárias 54 placas de chumbo, sendo 30 placas positivas (ânodos) e 24 negativas (cátodos), estas placas apresentam algumas diferenças, mas seus pesos e tamanhos são semelhantes, então uma bateria de 60 Ah tem em média 4752g de placas de chumbo, para questão de comparação, sabendo a quantidade de placas que uma bateria tem (4752g) e a quantidade média de massa perdida no empaste (22g), com uma conta simples, podemos chegar a um resultado simplista que, a cada 3,6 minutos de operação, é perdido massa suficiente para se produzir uma bateria de 60 Ah.

Para identificar melhor o problema, foi elaborado um diagrama de Ishikawa para analisar os diversos fatores que podem estar influenciando nesta perda e que possam ser modificados com o intuito de reduzir ou anular este problema.

O diagrama de Ishikawa para a perda de massa de chumbo está exposto na FIGURA 10.



FONTE: Autor (2019).

Para entender melhor o diagrama de Ishikawa, será explicado a análise de cada evento e sua influência na perda de massa.

a) **MEDIDA:** Se refere as quantidades de peso e distância neste processo.

- Massa em excesso: ocorre por falta de precisão na regulação do equipamento, assim, o maquinário libera mais massa que o necessário para a produção, de tal modo que este excesso tenha que ser retirado ao longo do processo.
- Distância do secador: Após a aplicação da massa na grade, este produto percorre um caminho até o secador para ser retirado o excesso de umidade da massa, mas a distância entre a masseira e o secador é relativamente longa, fazendo com que a massa se perca ao longo do trajeto.

b) **MATÉRIA-PRIMA:** A matéria prima em questão é a massa de chumbo.

- Seca rápido: A massa de chumbo quando passa um período ao ar livre, começa a secar de forma não uniforme, de modo que se forme uma película mais rígida pelo lado de fora da massa e o interior se mantenha úmido, isso faz com que a massa trave a masseira ou não deixe a placa uniformemente seca.

c) **PLACAS:** Refere-se ao produto da junção entre a grade e a massa de chumbo.

- Irregulares: A irregularidade das placas acontece por alguns motivos, mas o principal deles são as grades defeituosas que vão para o processo de empaste, fazendo com que a placa saia quebrada, menor ou maior que o necessário.
- Fora do padrão: Após o processo de secagem das placas é realizado um processo de verificação das placas para análise de padrão, as placas fora de padrão ocorrem quando ela está com ranhuras na massa, tortas, coladas com outras placas ou com massa em excesso ou em falta.

d) **MAQUINÁRIO:** Trata-se do equipamento utilizado para a produção das placas de chumbo.

- Fissuras na esteira: As esteiras que movimentam as grades e placas tem algumas fissuras ou aberturas, por onde cai a massa de chumbo

que não ficou sobre a grade para formar a placa e para evitar que elas fiquem coladas umas nas outras.

- Pouco tecnológico: isso faz com que as operações sejam mais rígidas ou brutas, onde o operador chega a bater ou usar força bruta para algumas ações, e conseqüentemente isso causa movimentos no maquinário, fazendo ele jogar massa fora.

e) OPERADOR: responsável por operar o maquinário.

- Manuseio da máquina: como já mencionado acima, por falta de tecnologia, o operador é obrigado em algumas situações operar a máquina com força bruta, assim causando a perda de massa de chumbo.
- Erro na seleção das placas: após sair do processo de secagem, as placas se acumulam ao final da linha para serem inspecionadas e levadas para o processo de cura, este processo de inspeção é feito a olho nu, sem a utilização de qualquer equipamento de ajuda, isso faz com que o operador responsável, possa rejeitar placas que tecnicamente são boas, mas fisicamente aparentam algum erro.

Como análise dos problemas enfrentados pelo setor e levando em consideração a dificuldade e outras características que possam impedir uma modificação para a melhora da situação atual da produção, foi selecionado como foco para análise as fissuras na esteira, pois, em observação direta da máquina pode se verificar que este problema é o que gera maior perda de massa de chumbo, sendo assim, se este problema for atacado e solucionado haverá uma diminuição considerável da perda de massa na produção.

4.6 MELHORAR

Após o processo de análise dos dados e dos possíveis problemas, foi selecionado um problema principal para se analisar e solucionar, assim, completando o processo de afunilamento dos problemas, uma das características principais do DMAIC.

A etapa *improve* ou melhorar, focou em elaborar possíveis formas de solução do problema anteriormente selecionado; após a elaboração de uma solução para o

problema, foi possível passar para a última etapa do DMAIC, onde foi feito o acompanhamento da estratégia de solução já aplicada ao problema.

Como explicado anteriormente as fissuras nas esteiras tem como objetivo a retirada da massa em excesso das placas e tem o intuito de evitar que essa massa em excesso grude uma placa na outra, dificultando a separação das mesmas e ocasionando uma perda ainda maior.

Sabendo que as fissuras são parte do processo e que auxiliam na produção, a eliminação das fissuras como solução não poderá ser utilizada, pois, poderia acarretar perdas maiores no processo e um atraso ainda maior na produção.

Essas fissuras descartam a massa embaixo do maquinário, onde de forma periódica, um operador do equipamento, pega todo esse material com uma pá e o joga no tambor de rejeito da fundição. Como a massa que cai no chão espera muito tempo para ser coletada, ela acaba secando e se tornando inutilizável no processo, sendo considerada rejeito.

Sabendo que as fissuras não podem ser eliminadas e a massa seca em um curto período de tempo, a estratégia inicial de curto prazo é acoplar um recipiente de forma fixa, abaixo das fissuras do equipamento, de modo que evite que a massa caia no chão da indústria; esse recipiente tem uma abertura para que o funcionário tenha acesso rápido a matéria prima, de forma que ele possa movimentar esse material mais rápido. Assim, é possível retornar a massa para a produção sem a necessidade de retrabalho.

Outra medida que necessita ser tomada é o treinamento do funcionário que fará esta atividade, este treinamento não terá o intuito de ensinar o operador como movimentar a matéria prima, mas sim conscientizar ele que este material necessita de uma atenção maior e precisa ser movimentado mais frequentemente, para que ele não seque e que aumente as chances do mesmo voltar direto para o processo. Este treinamento pode também envolver a parte de análise da massa, caso ela já tenha passado do tempo de secagem, o operador seja capaz de verificar se ela pode voltar para o processo ou ser descartada como rejeito, essa análise é importante, pois, se houver massa seca no equipamento de empaste, ela pode ocasionar o entupimento do bocal do maquinário, podendo parar a produção por longos períodos e podendo ocasionar a perda do máquina.

Para médio e longo prazo, foi pensado na instalação de uma esteira paralela as fissuras, onde ela funcionaria junto com o equipamento, utilizando da mesma

fonte de energia (motor etc.) para se movimentar, esta esteira se localizaria abaixo das fissuras, substituindo o recipiente elaborado na estratégia de curto prazo, a esteira teria como objetivo coletar a massa despejada das fissuras de modo a evitar que a massa caia no chão da fábrica e este material seja levado até o equipamento de empaste novamente de forma automática. Neste caso necessitaria de um funcionário para cuidar da esteira para evitar problemas com as paradas de máquina entre outras coisas, este operador também precisará analisar as massas que são levadas por esta esteira, pois, pode acontecer de a massa petrificar na esteira, causando um risco para a produção, por isso será necessário um operador sempre responsável pela a esteira de descarte.

Para a implementação da estratégia de curto prazo, que serve apenas para ação imediata e tentar evitar essa perda exagerada de massa, há a previsão de ter um custo baixo, pois, se trata de um suporte ou recipiente apenas, ou seja, não terá custo com planejamento, com implantação.

Para a implantação da estratégia definitiva, necessitará da análise de outras áreas da empresa, para analisar a viabilidade e a possibilidade de implementação de tal ideia, já que a automação de processos hoje em dia não é uma atividade muito barata e também pode acontecer de haver impossibilidades do equipamento de se colocar uma esteira, acoplar um novo item ao motor do maquinário, se este acoplamento não afetara o desempenho do maquinário, entre outros possíveis problemas que podem surgir e impedir a implementação da estratégia.

4.7 CONTROLAR

Esta etapa analisa a implementação da estratégia de solução e faz um comparativo de cenários, para verificar a eficiência do estudo.

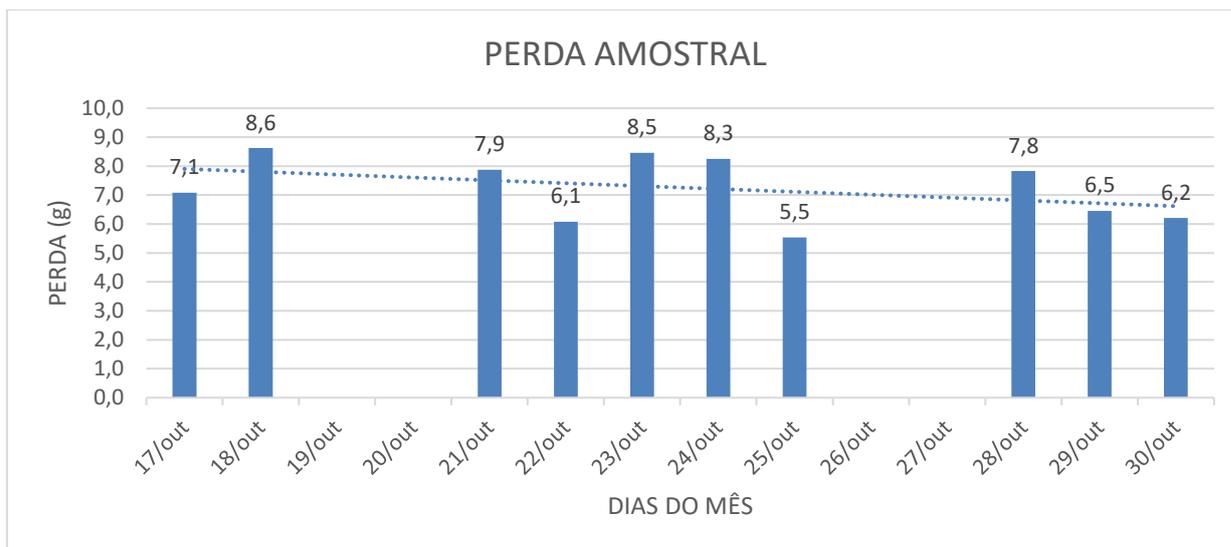
Como a estratégia de curto prazo é um método de simples implementação e de baixo custo, foi possível fazer a aplicação da ideia em pouco tempo, pois, a empresa possuía um recipiente que serviu para se acoplar à máquina e cumprir seu objetivo de coletar a massa desperdiçada.

Para fazer uma análise deste método, foi feita uma nova coleta de dados da perda da máquina de empaste, uma coleta de dados semelhante à feita no começo do estudo, onde foram coletadas 24 (vinte e quatro) amostras em um período de 60 (sessenta) minutos, sendo duas amostras a cada 5 (cinco) minutos. Por forças

externas, não foi possível coletar a mesma quantidade de dados amostrais, mas os dados coletados já mostram um pouco do efeito da aplicação desta estratégia de rápida ação.

É possível verificar uma redução significativa na perda média de massa do empaste, esta análise foi feita a partir dos dados coletados e do GRÁFICO 3.

GRÁFICO 3 – PERDA MÉDIA (ESTRATÉGIA DE CURTO PRAZO).



FONTE: Autor (2019).

Com estes dados foi possível verificar que a perda reduziu de uma média de 22g por segundo para uma média perto de 7g por segundo, redução de quase 70% da perda do processo de empaste, essas 7g de massa perdida ocorrem ainda devido aos demais efeitos que o maquinário sofre que foram comentados no diagrama de Ishikawa (FIGURA 10).

A estratégia de médio e longo prazo, necessita de uma análise melhor por parte da empresa, pois, esta estratégia demanda de um investimento financeiro maior, além de necessitar da aprovação de diversos setores que são afetados pelo desempenho do empaste. Estes motivos tornam a aplicação mais complexa e demorada se comparada com a estratégia de curto prazo. Por tais motivos, não foi possível aplicá-la e avaliá-la no presente trabalho.

4.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE O DMAIC

O DMAIC se mostrou totalmente aplicável e informativo mesmo com a utilização de poucos dados, esta metodologia se mostrou muito eficiente com o seu

propósito, orientando o estudo de forma roteirizada e reduzindo a complexidade do problema, podendo ser utilizado como base para outros estudos pela empresa caso haja interesse de manter a indústria em constante melhora e desenvolvimento.

Esta ferramenta pode se tornar confusa, pois, as etapas propostas pelo DMAIC em determinados momentos podem se misturar, isto faz com que o aplicador da ferramenta cometa alguns erros e até mesmo pule etapas essenciais para o andamento do estudo.

O DMAIC muitas vezes orienta o estudo a aplicar ferramentas de difícil aplicabilidade, onde se necessita de dados de difícil acesso ou compreensão, para o desenvolvimento do estudo. O presente estudo teve dificuldades com relação a determinados métodos indicados pelo DMAIC, pois, o acesso a informações era deficiente e o DMAIC necessitava de tais dados para prosseguir com o estudo. Para isso foi elabora novos meios para suprir esta necessidade de dados da ferramenta.

Mesmo sendo uma ferramenta de aplicação complexa, ela é uma ferramenta que simplifica o problema analisado, de modo à facilitar o entendimento de outras pessoas, assim, se torna uma boa ferramenta para aplicação na indústria, pois, ela facilita o entendimento de problemas complexos da indústria, tornando mais compreensível para a empresa e investidores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo se propôs a analisar e elaborar uma estratégia ou método de solução para o problema de perda de chumbo em uma determinada indústria de bateria automotiva. Como ferramenta de apoio para este estudo, foi utilizado a ferramenta DMAIC, que roteirizou a pesquisa e administrou os dados, de modo a facilitar a compreensão do problema principal e priorizar os objetivos a serem atingidos.

5.1 PRINCIPAIS RESULTADOS

O presente estudo elaborou duas estratégias de solução, uma para ação imediata (curto prazo), que resultou em uma redução da perda média em aproximadamente 70%; não era esperado este resultado, pois, é uma estratégia baseada em correções simples e treinamento básico para o operador envolvido.

Com uma solução simples que demonstrou um efeito positivo para a produtividade, a empresa optou por manter essa estratégia aplicada por mais tempo, pois, a produtividade da empresa já passou por seu pico sazonal de produção, que de acordo com a empresa é entre os meses de abril e agosto, então, com a produtividade reduzindo, esta estratégia já atende as suas demandas.

Em termos de análise do efeito que perda da massa de chumbo causava na produtividade de bateria, uma placa tem um peso médio de 88g e a bateria de 60 Ah (Ampère-hora) que tem maior demanda hoje na produção, necessita de 54 placas de chumbo para sua produção, sendo assim, a cada 3,6 minutos de produção de placa com uma perda de 22g/s (gramas por segundo) era perdido massa de chumbo suficiente para se produzir uma bateria de 60 Ah, ou seja, se analisado um dia de alta produção, onde o empaste funciona quatro horas e meia por dia, temos uma perda suficiente para se produzir 75 (setenta e cinco) baterias de 60 Ah.

Com a nova estratégia aplicada, foi possível analisar uma redução de uma perda de 22g de massa, para uma perda de aproximadamente 7g, isso significa uma redução de aproximadamente 70% da perda gerada pela máquina de empaste, isto é, a produção deixou de perder 17 (dezessete) baterias, para perder aproximadamente 5 (cinco) baterias de 60 Ampères por hora de produção, ou seja, passou a perder 23 baterias por dia.

Isso faz com que a empresa diminua suas quantidades de chumbo que tenha que ser reaproveitado ou retrabalhado, acelere sua produção de baterias e reduza seus gastos com os acordos de entregas e parcerias com clientes.

A estratégia de longo prazo não foi aplicada pela sua complexidade de análise e implementação, esta estratégia visa uma automação maior para o maquinário e para o operador do equipamento, mas, como comentado anteriormente, automação e alterações no equipamento demandam de investimentos maiores e uma análise minuciosa de outros setores.

5.2 CONCLUSÕES ACERCA DOS OBJETIVOS DE PESQUISA

O presente estudo, definiu quatro objetivos específicos à serem atingidos, com o intuito de orientar a pesquisa e auxiliar a ferramenta DMAIC com suas etapas.

O primeiro objetivo específico era identificar as perdas de chumbo no processo analisado. O DMAIC orientou o estudo a analisar apenas um processo da indústria, com o objetivo de simplificar a pesquisa. Sendo o processo escolhido o de fundição de grades e empaste de placas, onde este objetivo específico foi concluído integralmente, pois, foi identificado e registrado todas as perdas de chumbo neste processo. Este objetivo ajudou na evolução do estudo, servindo como base para completar o próximo objetivo.

Com as perdas do processo identificadas, é possível atingir o segundo objetivo, definir um problema principal à ser estudado. O objetivo foi completado, pois, dentre as perdas analisadas, a ferramenta DMAIC exige que apenas um problema de cada vez para ser analisado no estudo, sendo assim, o problema principal escolhido foi a perda de massa de chumbo no processo de empaste de placas. Este objetivo é muito importante para o estudo, já que o DMAIC não trabalha com grandes quantidades de variáveis e a cada etapa o número de variáveis e dados tendem a diminuir, assim, este objetivo teve uma grande contribuição para a evolução do estudo e da aplicação do DMAIC.

Selecionado o problema principal do estudo, foi possível atingir o próximo objetivo do estudo, implementar um plano de melhorias para o processo de redução de desperdício de chumbo. Para atingir tal objetivo foram elaboradas duas estratégias de solução, onde uma foi aplicada e analisada e a outra como indicação para estudos futuros. O objetivo foi concluído, pois, foi elaborada uma estratégia

para a redução de perda de chumbo, sendo possibilitado a aplicação e análise dela. A análise demonstrou uma boa efetividade do plano de ação, mas necessitaria de um maior período para se coletar mais dados, para se ter uma afirmação mais consistente sobre a efetividade desta estratégia.

O último objetivo busca uma continuidade do estudo por parte da empresa e dos envolvidos nos processos, o objetivo foi definir um plano de ação para a continuidade do projeto. O objetivo foi concluído parcialmente, pois, como descrito no paragrafo anterior, foi elaborada uma estratégia como indicação para trabalhos futuros, onde a empresa tenha a possibilidade de desenvolver uma estratégia que seja capaz de reduzir ou acabar com a perda de massa de chumbo de forma mais eficiente, mas a empresa não levou em consideração esta segunda estratégia, não demonstrando interesse em dar continuidade no estudo sobre a redução da perda de chumbo.

Com isso pode-se dizer que o objetivo principal do estudo que propôs identificar e controlar a perda de chumbo no processo industrial de produção de baterias automotivas, foi concluído, pois, atingindo os objetivos específicos, foi possível completar um objetivo maior. Assim o presente estudo cumpriu com seu objetivo proposto, onde foi identificado os problemas de perda de chumbo no processo de fundição de grades e empaste de placas, após isso, foi selecionado um problema principal à ser estudo, de tal modo que foi possível elaborar planos de ação para solucionar o problema e indicar propostas de estudos futuros para a empresa.

5.3 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para melhorar a análise do estudo, é proposto para a empresa fazer uma análise do impacto da redução da perda de massa de chumbo, na produção de baterias, onde é possível fazer uma análise financeira desta melhoria, de modo que faça a empresa perceber os efeitos que a perda de matéria prima causa na produção e nos investimentos financeiros. O estudo conseguiu verificar uma melhoria no setor na fundição, mas é necessário ter informações dos impactos nos outros setores para validar por completo o estudo, mas para isso, seria necessário um maior período de estudo, pois, cada setor afetado tem suas particularidades e características que dificultam o estudo.

O presente estudo elaborou uma estratégia de médio e longo prazo, onde a empresa optou por não a implementar, pois, não é objetivo da empresa no momento investir tempo e dinheiro no setor analisado.

A estratégia que foi aplicada e analisada no estudo, é apenas uma proposta de curto prazo, que não foi pensada para ser aplicada por um longo período, mesmo que tenha sido feito uma análise da efetividade do plano de ação, não é garantido que ele se mantenha eficaz por um período maior.

Como proposta de estudo futuro, é indicado à empresa que invista no setor na fundição, pois, é um setor que dita o ritmo de produção dos demais setores, sendo um dos principais setores da indústria. É necessário alterar o plano de ação de curto prazo, sendo que ele não foi elaborado para se manter por longos períodos, assim, a indústria pode estar colocando sua produção em risco, se optar por manter essa estratégia.

É necessário fazer uma troca dos maquinários antigos do setor, pois, foi verificado que eles são os maiores gerados de rejeitos no setor, em comparação com maquinários mais atuais.

Foi verificado que a empresa tem um plano estratégico de investimento falho, onde os investimentos e melhorias estão focados nos setores que não apresentam tanta importância ou não são gargalos de produção, assim, as melhorias aplicadas não afetam a produção por completa, trazendo uma melhoria parcial ou temporária para o processo.

5.4 RELEVANCIA DO ESTUDO

O estudo se fez válido, pois, gerou um resultado significativo, onde se teve uma redução de 70% dos rejeitos gerados pelo maquinário analisado, isso representa uma redução de 2940 Kg (dois mil novecentos e quarenta) de massa de chumbo perdida no processo. Com essa redução se teve um aumento na produtividade de placas, acelerando a produção de baterias; não é possível afirmar um aumento real na produtividade de baterias, pois, para isso é necessário fazer uma análise comparativa do setor da montagem, onde não foi permitido o acesso aos dados.

Esta redução de rejeitos, tem um efeito positivo no setor de refino, pois, a quantidade de rejeito a ser retrabalho reduziu consideravelmente, com isso, o tempo gasto com o rejeito reduziu, aumentando o tempo destinado para a produção regular.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, ESTÊVÃO. ABREU, MARIA L. SILVA, TEODOTO. CUNHA, VITALINA. **Ferramentas da qualidade**. 2012. No prelo.

ANDRIETTA, J. MARCOS; SATOLO, G. EDUARDO; MIGUEL, P. A. C.; CALARGE, F. ARAÚJO. Análise da utilização de técnicas e ferramentas no programa Seis Sigma a partir de um levantamento tipo *survey*. **Revista Produção**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 400-416, maio/ago. 2009.

BARNEY, M. **Motorola's Second Generation: Six Sigma Forum Magazine**, *American Society for Quality*, v. 1, n. 3, Milwaukee, May de 2002.

BEHR, ARIEL. MORO, ELIANE L. S.; ESTABEL, LIZANDRA B. **Gestão da biblioteca escolar: metodologias, enfoques e aplicação de ferramentas de gestão e serviços de biblioteca**. Brasília, 2008.

BREYFOGLE III, FORREST W. – **Implementing Six Sigma**. 2 ed. New Jersey: John Willey & sons, Inc, 2003.

CARPINETTI, LUIZ CESAR RIBEIRO. **Gestão da Qualidade: Conceitos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas Ltda, 2017.

CASTRO, BERNARDO H. RIBEIRO DE. BARROS, DANIEL CHIARI. VEIGA, SUZANA GONZAGA DA. Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. **BNDES setorial**. Rio de Janeiro, n. 37, mar. 2013. Disponível em: <<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1511> >. Acesso em: 10 abr 2019.

CORONADO, R.B., ANTONY, J. *Critical success factors for the successful implementation of Six Sigma projects in Organizations*. **The TQM Magazine**, v.14, n. 2, p. 92-99, 2002.

COUTINHO, MARCELO N. S. **Aplicação do método DMAIC no processo de pintura de uma linha de montagem de ônibus**. 113 f. Dissertação (pós-graduação em Engenharia mecânica) – Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

ECKES, GEORGE. **A revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros**. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

ELETRAN. **Baterias eletran: Por dentro da bateria**. 2019. Disponível em: <<http://eletran.com.br/pordentrodabateria>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

GIJO, A.V.; SCARIA, J.; ANTONY, J. *Application of six sigma methodology to reduce defects of grinding process*. **Journal Quality and Reliability Engineering International**, publicado online. 3 maio 2011.

GIL, ANTONIO CARLOS. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GOLTZMAN, LAYS. Disponível em: < <https://eproducao.eng.br/entendendo-o-dmaic/>>. Acesso em: 10 maio 2019.

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

HOLANDA, L. M. C.; SOUZA, I. D.; FRANCISCO, A. C. Proposta de aplicação do método DMAIC para melhoria da qualidade dos produtos numa indústria de calçados em Alagoa Nova-PB. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 8, nº 4, out-dez/2013, p. 31-44.

INSTITUTE, Six sigma. **Six Sigma DMAIC Process – Measure Phase – Measurement System**. Disponível em: < [https://www.sixsigma.institute.org/Six Sigma DMAIC Process Measure Phase Measurement System.ppt](https://www.sixsigma.institute.org/Six%20Sigma%20DMAIC%20Process%20Measure%20Phase%20Measurement%20System.ppt)>. Acesso em 10 dez. 2019.

KRAHEMBUHL, CARLOS E. Z. **Aplicação do método DMAIC no gerenciamento de inventário**. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

LINS, BERNARDO F. E. **Ferramentas básicas da qualidade**. Brasília, 1993.

LONGO, GUILHERME C. **Ferramentas e técnicas da qualidade**. 2011. Artigo de treinamento.

MACIEL, RÉGIS FABIANO. **Análise das perdas de produção de uma empresa petroquímica utilizando a metodologia Seis Sigma**. 21 f. Trabalho de graduação (Bacharelado em engenharia de produção) – Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MARIANI, CELSO A. Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. **Revista administração e inovação**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 110-126, 2005.

MARTINELLI, FERNANDO BARACHO. **Gestão da qualidade total**. Brasil: IESDE Digital, 2009. Ebook. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/22440913/gestao-daqualidade-livro-digital->>. Acesso em: 29 mai. 2019.

MATOS, JORGE DA LUZ. CATEN, CARLA S. TEN. **Seis Sigma: uma aplicação na indústria petroquímica**. Trabalho apresentado no XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto, 2003.

MINETTO, BIANCA. **O que é DMAIC**. 2018. Disponível em: <<https://blogdaqualidade.com.br/o-que-e-dmaic/>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

MONTGOMERY, DOUGLAS C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

OHNO, T., **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PANDE, P.S., NEUMAN, R.P., CAVANAGH, R.R. **Estratégia Seis Sigma**: como a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho. 1. ed. Rio de Janeiro: *Qualitymark*, 2001.

PEREIRA, J. A.; BÁNKUTI, S. M. S. Estrutura de Mercado e Estratégia: um Estudo na Indústria Brasileira de Baterias Automotivas. **Revista Ibero-Americana de Estratégia**, v. 15, n. 1, p. 97-115, 2016.

REZENDE, DAIANE MACIEL; SILVA, JESSICA FREITAS DA; MIRANDA, SHEILA MARCEL; BARROS, ANDERSON. **LEAN MANUFACTURING: redução de desperdícios e a padronização do processo**. 2015. 13 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção Automotiva, Faculdade de Engenharia de Resende, Resende, 2015.

SANTOS, IVAIR ALVES DOS. **DMAIC aplicado à utilização racional de ferramentas para o setor de usinagem em indústria de grande porte**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) – Universidade de Taubaté, Taubaté, 2015.

SELEME, ROBSON. STADLER, HUMBERTO. **Controle da qualidade**: As ferramentas essenciais. Curitiba: Ibpex, 2012.

SILVA, EDNA L.; MENEZES, ESTERA M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4 ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Cartas de controle**. Disponível em: <https://www.banasqualidade.com.br/artigos/2014/01/cartasde-controle.php>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SUNIL, DAMBHARE; APHALE, SIDDHANT; KAKADE, KIRAN; THOTE, TEJAS; BORADE, ATUL. *Productivity Improvement of a Special Purpose Machine Using DMAIC Principles: A Case Study*. **Journal of Quality and Reliability Engineering**, Bavdhan, India, p. 1-14, abr./ jul. 2013.

TRAD, SAMIR; MAXIMIANO, A. C. AMARU. Seis Sigma: Fatores Críticos de Sucesso para sua Implantação. **ANPAD**, v. 13, n. 4, art. 7, p. 647-662, 2009.
WERKEMA, M. C. C. **Criando a cultura Seis Sigma**. 1 ed. Rio de Janeiro: *Qualitymark* ed, 2002.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. 1 ed. Belo Horizonte: Werkema editora Ltda, 2006.