

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
AISLAN RANGEL ROSSI
BENEDITO SÁVIO SALGADO JUNIOR**

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC NA
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA, UM ESTUDO DE CASO.**

**Taubaté - SP
2018**

**AISLAN RANGEL ROSSI
BENEDITO SÁVIO SALGADO JUNIOR**

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC NA
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA, UM ESTUDO DE CASO.**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do
curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Taubaté.

Orientador(a): Prof. Me. Ivair Alves dos
Santos

**Taubaté – SP
2018**

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

R831u Rossi, Aislan Rangel
Utilização da metodologia DMAIC na indústria automotiva, um estudo de caso / Aislan Rangel Rossi; Benedito Sávio Salgado Junior. -- 2018.
46 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Me. Ivair Alves dos Santos, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. DMAIC. 2. Qualidade. 3. Resolução de problemas. I. Título.
II. Salgado Junior, Benedito Sávio. III. Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD – 658.401

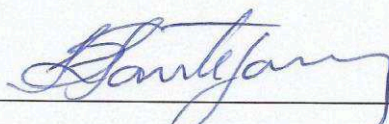
Ficha catalográfica elaborada **por Shirlei Righeti – CRB-8/6995**

**AISLAN RANGEL ROSSI
BENEDITO SÁVIO SALGADO JUNIOR**

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA, UM
ESTUDO DE CASO.**

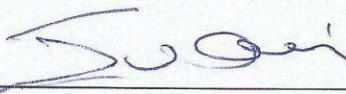
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "**GRADUADO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA




Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani
Coordenador de Trabalho de Graduação

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Me. Ivair Alves dos Santos
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Me. Antônio Carlos Tonini
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Novembro de 2018

Dedico este trabalho a meus pais, Emerson Rossi e Edna Rangel Rossi, e a minha família do apartamento.

Aislan Rangel Rossi

Dedico este trabalho a minha namorada, Ana Silia, e aos meus pais, Benedito Salgado e Lucy Rodrigues.

Benedito Sávio Salgado Junior

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, que me deu forças durante toda a trajetória da graduação.

Aos meus colegas do curso, que me acompanharam durante minha formação.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado no decorrer desses anos acadêmicos.

Aos meus professores, que me inspiraram a continuar estudando, independentemente de todas as dificuldades. Ao orientador Ivair Alves dos Santos, que, com muita proficiência, auxiliou-me com suas revisões e orientações. Por fim, à Universidade de Taubaté, que nos proporcionou uma excelente formação acadêmica.

Aislan Rangel Rossi

Agradeço à minha namorada que sempre me incentivou e me apoiou durante a realização deste trabalho.

Aos meus familiares, pela oportunidade que me proporcionaram de me graduar neste curso e pelo apoio que tive sempre que precisei.

Aos colegas de Universidade, que estiveram comigo durante todo esse período de estudo.

Aos professores que sempre compartilharam o máximo de experiências e conhecimento.

Ao orientador Ivair Alves dos Santos que esteve sempre à disposição para me orientar e tirar dúvidas, sempre de modo a facilitar esta caminhada.

Benedito Sávio Salgado Junior

RESUMO

As indústrias buscam nos seus processos de gestão da qualidade garantir a satisfação do cliente por meio de um produto ou serviço que atenda aos requisitos deste. Uma empresa que tem esses atributos consolidados em seus processos garante uma vantagem competitiva no mercado. Sendo assim muitas organizações recorrem às ferramentas da qualidade para auxiliá-las na resolução de problemas que afetem sua capacidade de alcançar estes requisitos. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso da aplicação da metodologia DMAIC na resolução de problemas e na diminuição da ocorrência de falhas nos produtos durante o processo de manufatura de chicotes elétricos. Para alcançar o objetivo este trabalho detalha as cinco fases da implementação desta metodologia apresentando a etapa da definição na qual se mostra o que deseja alcançar, a etapa da medição em que os dados são levantados, a etapa da análise na qual ocorre um estudo das informações coletadas anteriormente, a etapa da melhoria que gera um plano de ação e a etapa do controle na qual se monitora as ações tomadas nas outras etapas. Portanto, foi possível demonstrar com a aplicabilidade deste método no caso estudado a eficácia da metodologia DMAIC na resolução de problemas.

Palavras-chave: DMAIC. Qualidade. Resolução de problemas.

ABSTRACT

Industries seek in their quality management processes to ensure customer satisfaction through a product or service that meets the requirements of this. A company that has these attributes consolidated in its processes guarantees a competitive advantage in the market. Therefore, many organizations use quality tools to assist them in solving problems that affect their ability to meet these requirements. Thus, the present work aims to present a case study of the application of the DMAIC methodology in solving problems and reducing the occurrence of product failures during the manufacturing process of electrical cables. To reach the objective this work details the five phases of the implementation of this methodology presenting the stage of the definition in which it is shown what it wants to reach, the step of the measurement in which the data are collected, the stage of the analysis in which a study of the information occurs previously collected, the stage of improvement that generates a plan of action and the stage of control in which the actions taken in the other stages are monitored. Therefore, it was possible to demonstrate with the applicability of this method in the studied case the effectiveness of the DMAIC methodology in solving problems.

Keywords: DMAIC. Quality. Problem solving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama Ishikawa.....	22
Figura 2 - Chicote preto rompido.....	27
Figura 3 - Cabo rompido isoladamente	27
Figura 4- Diagrama Ishikawa aplicado	28
Figura 5 - Região do rompimento.....	29
Figura 6 - Características do rompimento	30
Figura 7 - Mesa de montagem	32
Figura 8 - Cabo rompido por tração	33
Figura 9 - Corte com alicate de corte	34
Figura 10 - Corte com tesoura.....	34
Figura 11 - Ponto de contato da roda com o perchero	35
Figura 12 - Cantoneira desgastada	35
Figura 13 - Simulação prensamento	36
Figura 14 - Peça simulada por prensamento.....	37
Figura 15 - Comparação Evidência x Simulação (vista lateral)	38
Figura 16 - Comparação Evidência x Simulação (vista superior)	39
Figura 17 - Aplicação dos 5 porquês.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro da Visão geral dos “caminhos” do modelo DMAIC de melhoria de Processo e Projeto/Reprojeto de Processo.....	20
Quadro 2 - Validação das possíveis causas	31
Quadro 3 - Plano de Ação	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DMAIC	Definir, Medir, Analisar, Implementar, Controlar.
MSA	Análises do Sistema de Medição
FMEA	Análise de Modo e Efeito de Falha
6 M's	Mão de obra, Máquina, Material, Medida, Meio Ambiente e Método

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
1.2	Delimitação do Estudo	13
1.3	Relevância do Estudo	13
1.4	Organização do Trabalho	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	Conceitos de Qualidade	15
2.2	Evolução da Qualidade.....	16
2.3	DMAIC	17
2.3.1	Definir (<i>Define</i>)	17
2.3.2	Medir (<i>Measure</i>).....	18
2.3.3	Analisar (<i>Analyze</i>)	18
2.3.4	Melhorar (<i>Improve</i>).....	19
2.3.5	Controlar (<i>Control</i>).....	19
2.4	Diagrama Ishikawa	20
2.5	Os cinco porquês	22
3	METODOLOGIA.....	24
3.1	Tipos de Pesquisa	24
3.2	Coleta de dados	25
3.2	Análise de dados	25
4	DESENVOLVIMENTO.....	26
4.1	Contextualização do Problema.....	26

4.2	Aplicando a metodologia DMAIC	26
4.2.1	Definir	26
4.2.2	Medir	28
4.2.3	Analisar	30
4.2.4	Melhorar	40
4.2.5	Controlar.....	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
6	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O conceito de qualidade nos processos produtivos foi se modificando ao longo do tempo devido às mudanças que foram ocorrendo na sociedade e as suas novas demandas. Essa evolução foi descrita por Garvin (1992) nas quatro eras da qualidade: a Era da Inspeção quando, basicamente, selecionava-se os produtos bons e ruins entre os já acabados; a Era do Controle Estatístico da Qualidade em que surgiram ferramentas estatísticas para controlar os processos; a Era da Garantia da Qualidade quando começaram a introduzir conceitos como zero defeito, prevenção, custos da qualidade e confiabilidade; e, por fim, a Era da Gestão Estratégica da Qualidade quando a visão de qualidade foi deslocada para a gestão, impactando toda a empresa e seus processos.

No ambiente empresarial a qualidade tem ganhado relevância e destaque nos últimos anos devido: à quantidade de conteúdo sobre o assunto que está sendo divulgada e difundida nesse meio, a maior exigência dos clientes, e à competição mais acirrada com os concorrentes. Assim a percepção da qualidade e suas formas de aplicação vêm se transformando. (MARTINS; TONIOLI; TOLEDO, 1999).

Segundo Garvin (1992) o enfoque da qualidade tem mudado no sentido de envolvê-la cada vez mais nas gerências das empresas e não apenas nos níveis operacionais espalhando-a para toda a organização e seus processos, e não apenas restrita a um departamento, tornando assim um item sistêmico dentro das empresas.

Os princípios da qualidade, como garantia da excelência do produto, satisfação do cliente, melhoria contínua, são bastante sólidos e fáceis de serem recebidos pelas empresas e vistos como pilares para o sucesso delas. No entanto apenas a percepção desses conceitos não assegura o que sua utilização seja bem-sucedida, é necessário algo que permita a execução dessas ideias nos problemas reais que ocorrem diariamente nas organizações. Logo, as ferramentas da qualidade preencheram essa lacuna com grande êxito em virtude da clareza de sua aplicação juntamente com a eficácia desses métodos. (PALADINI et al.,2012)

Esta obra tem como objetivo expor um estudo de caso sobre a utilização da metodologia Seis Sigma, evidenciando a maneira como este método vem a ser

altamente proveitoso na resolução de problemas e implementação de melhorias nos processos de uma indústria.

Uma das estratégias das organizações para solucionar problemas e aumentar a qualidade de seus produtos é a aplicação da estrutura Seis Sigma juntamente com a ferramenta DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar)

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho pretende apresentar um estudo de caso da aplicação da metodologia DMAIC na resolução de problemas e na diminuição da ocorrência de falhas nos produtos durante o processo de manufatura com o objetivo de melhorar a qualidade do produto acabado na fabricação de chicotes elétricos.

1.1.2 Objetivos Específicos

O objetivo específico deste estudo é aplicar o método Seis Sigma (DMAIC) aos processos de uma empresa de fabricação de chicotes elétricos, atestando a eficácia dessa metodologia nos processos da empresa.

1.2 Delimitação do Estudo

Este estudo de caso foi realizado em uma indústria de fabricação de chicotes elétricos. Durante reuniões com os departamentos responsáveis pelo processo foi mostrada a necessidade de utilização da metodologia DMAIC na detecção de causas que afetam a qualidade do produto em seu processo de fabricação.

1.3 Relevância do Estudo

O assunto tratado neste estudo tem como objeto a aplicação do método Seis Sigma (DMAIC) para análise e resolução de problemas, com foco no aumento da qualidade do produto final e satisfação do cliente. O estudo foi fundamentado na

utilização dos princípios da ferramenta DMAIC, desse modo possibilitando a detecção de causas de falhas e a melhoria no processo.

1.4 Organização do Trabalho

Neste trabalho serão apresentados os conceitos e princípios da qualidade assim como as ferramentas e estratégias que foram desenvolvidas para a sua aplicação, então, posteriormente, será feito um estudo de caso que relaciona os conceitos com as ferramentas em efetiva utilização nas indústrias. Sendo assim, o trabalho será organizado, basicamente, em cinco partes:

- Revisão Bibliográfica
- Metodologia
- Desenvolvimento
- Resultados e Discussões
- Conclusão

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceitos de Qualidade

De acordo com Garvin (1992) o conceito de qualidade varia de acordo com a área que a estuda, sendo assim foram identificadas cinco definições:

- **Transcendente:** a qualidade equipara-se à “excelência inata”, algo universalmente reconhecido, absoluto que se encontra além das mudanças de gosto ou estilo. No entanto, nessa perspectiva, a qualidade proporciona pouca praticidade pois não permite a diferenciação clara entre produtos grosseiros e de qualidade.
- **Baseada no Produto:** é uma abordagem objetiva, precisa, mensurável na qual os produtos podem ser classificados qualitativamente em função da quantidade que possuem de um determinado atributo. Essa interpretação encontra limitação quando a qualidade está relacionada à estética uma vez que não se pode classificar o gosto das pessoas.
- **Baseada no Usuário:** é uma definição subjetiva, pessoal de acordo com a preferência de cada usuário em que a qualidade é definida de acordo com a necessidade do cliente, porém a dificuldade surge em conseguir produzir em grande escala atendendo as preferências individuais.
- **Baseada na Produção:** usada frequentemente na engenharia e na produção, essa definição, enquadra qualidade em conformidade com as especificações, atender os requisitos. Se um produto está além das características determinadas não é considerado de qualidade.
- **Baseada no Valor:** essa visão está relacionada ao custo e ao preço dos produtos, não basta que o produto seja perfeito, um produto de qualidade deve oferecer desempenho e conformidade a preço acessível. A abordagem pelo valor é complicada na prática pois mistura os conceitos de excelência e valor.

2.2 Evolução da Qualidade

A qualidade, originalmente, dizia respeito basicamente à inspeção, no entanto novas abordagens foram surgindo ao longo do tempo e, atualmente as práticas relativas à qualidade são vistas como fundamentais para o sucesso das empresas. Essa evolução aparece dividida por Garvin (1992) nas seguintes “eras da qualidade”:

- A Era da Inspeção: os produtos em grande parte eram produzidos por artesãos em pequenas quantidades e depois de acabados inspecionados visualmente. Com o surgimento de máquinas e equipamentos, começaram as produções em massa e a inspeção formal se instaurou. Nessa era a preocupação estava em apenas verificar o produto por meio dos instrumentos de medição e o departamento de inspeção era responsável pela qualidade, que se resumia a uniformidade do produto.
- A Era do Controle Estatístico da Qualidade: a variabilidade do processo foi reconhecida e passou a ser estudada estatisticamente de modo a permitir o controle do processo surgindo neste período as cartas de controle. O foco era o controle do processo, manter a uniformidade do produto com menos inspeções utilizando técnicas estatísticas, os departamentos de engenharia e produção receberam esta função.
- A Era da Garantia da Qualidade: a qualidade nesse período chegou ao nível gerencial e além da estatística outros elementos começaram a ser discutidos, como a quantificação dos custos da qualidade, o controle total da qualidade, a engenharia da confiabilidade e o zero defeito. Todos os departamentos estavam envolvidos com a qualidade e a alta gerência de forma periférica.
- A Era do Gerenciamento Estratégico da Qualidade: nessa era a qualidade passou a ser vista como uma oportunidade superar a concorrência, a ter impacto no planejamento estratégico da empresa, dessa forma a alta gerência também se tornou responsável pela qualidade que deixou de ser um departamento com especialistas e passou a ser incorporada ao sistema empresarial como um todo.

2.3 DMAIC

Segundo Pande et al. (2001), DMAIC é um método de melhoria que orienta a execução de todos planos de melhorias nos processos.

Uma característica relevante na aplicação do DMAIC é a importância dada à satisfação do cliente e à diminuição da variabilidade (LYNCH et al., 2003). No entanto o DMAIC é mais reconhecido pela sua capacidade de resolver os problemas de modo a garantir que a diminuição dos índices de não conformidades nos processos, produtos e serviços. (SANTOS; MARTINS, 2008)

O método DMAIC consiste em cinco etapas: *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyze* (Analisar), *Improve* (Melhorar) e *Control* (Controlar). Este método fundamenta-se na utilização de estudos estatísticos e técnicas de controle da qualidade orientados em fases estruturadas. (PARAST, 2011)

2.3.1 Definir (*Define*)

Segundo Rotondaro (2008), nessa fase deve-se definir de maneira nítida qual o efeito, o problema que se pretende acabar ou melhorar. As principais partes dessa etapa de definição consistem em:

1. Identificar, de modo preciso, o que o cliente deseja, ou seja, os requisitos do cliente e transformá-los em Características Críticas para a Qualidade. Essa parte é de extrema importância pois leva a visão do cliente para o interior da empresa;
2. Identificado o requisito, o próximo passo é definir um grupo com as qualificações necessárias para a utilização da metodologia Seis Sigma;
3. Os processos definidos como críticos de ser esquematizados de modo que seja possível estabelecer uma relação com as características críticas e com as que produzindo os efeitos indesejáveis, tais como: queixas dos clientes, mão-de-obra cara, qualidade baixa, etc. Existe uma relação entre esses problemas e a forma como o processo está desenhado;
4. Analisar o custo-benefício do projeto;

5. Por fim, elaborar a proposta do projeto a ser executado e enviá-lo para a aprovação da gerência.

Ao seguir os passos acima, será necessária a pesquisa nos dados da própria empresa, assim como as informações do cliente, o mapeamento dos macroprocessos e os pontos críticos.

2.3.2 Medir (*Measure*)

Nessa etapa, Rotondaro (2008) explica que é necessário constatar a performance do presente processo e as medidas serão os objetos de estudo, da seguinte forma:

1. Estruturar o processo e subprocessos relacionados com o projeto, estabelecendo os *inputs* e *outputs*, e entender como as entradas afetam as saídas desses processos.
2. Pensar sobre o Sistema de Medição de maneira que este seja capaz de captar as necessidades de cada processo, que os dados possam ser coletados mediante um sistema que entregue amostras representativas e aleatórias.

Para isso deve-se valer de ferramentas como: estatística, análise do sistema de medição (MSA), capacidade do processo.

2.3.3 Analisar (*Analyze*)

Esta etapa consiste em apontar as causas dos problemas que necessitam de melhoria. (ECKES, 2001). A análise das informações colhidas é realizada por meio da utilização de ferramentas da qualidade e da estatística. As causas óbvias e as não óbvias que exercem influência nos resultados devem ser indicadas nesta etapa, de acordo com os seguintes passos (ROTONDARO, 2008):

1. Determinar as causas óbvias e as não óbvias valendo-se de ferramentas estatísticas e da análise das informações colhidas;
2. Identificar qual é a capacidade Seis Sigma do processo estudado e definir as metas de melhoria.

Na etapa da análise, normalmente, são utilizadas ferramentas como: FMEA, correlação e regressão simples, testes de hipóteses, análise de variância, testes não-paramétricos.

2.3.4 Melhorar (*Improve*)

Nessa etapa o foco é na melhoria dos processos atuais, as informações coletadas pelas ferramentas estatísticas devem ser transformadas dados do processo e a equipe atua alterando os elementos do processo e intervir nas causas raízes dos problemas, também nesta parte ocorrem as melhorias, propriamente ditas, na qual a equipe modifica e otimiza os processos atuando juntamente com as pessoas que realizam as atividades (ROTONDARO, 2008).

Na fase de melhoria algumas ferramentas são muito utilizadas, como os planos de ação, manufatura enxuta, Delineamento de Experimentos e o cálculo da nova capacidade do processo.

2.3.5 Controlar (*Control*)

Esta etapa consiste na elaboração de um sistema que permita medir e controlar o processo de modo contínuo para assegurar que o processo é capaz e que essa capacidade possa ser conservada. As causas críticas devem ser acompanhadas para que o processo mantenha sua capacidade e também para serem observados novos pontos de melhoria (ROTONDARO, 2008).

Nesta quinta e última etapa serão criados os novos procedimentos, os gráficos de controle por variáveis e atributos, as cartas de controle, os testes de confiabilidade e processos à prova de erros. Encerrando assim as cinco etapas da metodologia, conforme quadro 1.

Quadro 1 - Quadro da Visão geral dos “caminhos” do modelo DMAIC de melhoria de Processo e Projeto/Reprojeto de Processo

PROCESSOS DE MELHORIA SEIS SIGMA		
	MELHORIA DE PROCESSO	PROJETO/REPROJETO DE PROCESSO
DEFINIR	<ul style="list-style-type: none"> - Identifique o problema - Defina requisitos - Estabeleça meta 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifique problemas específicos e amplos - Defina objetivos/Mude a visão - Esclareça escopo e as exigências do cliente
MEDIR	<ul style="list-style-type: none"> - Valide problema/processo - Redefina problema/objetivo - Meça passo-chave/entradas 	<ul style="list-style-type: none"> - Meça desempenho em relação às exigências - Colete dados sobre eficiência do processo
ANALISAR	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolva hipóteses causais - Identifique causa-raiz "poucas e vitais" - Valide hipóteses 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifique "melhores práticas" - Avalie projeto do processo <ul style="list-style-type: none"> - Com/sem valor agregado - Gargalo de processo/desconexões - Caminhos alternativos - Redefina exigências
MELHORAR	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolva ideias para remover causas-raiz - Teste soluções - Padronize solução/meça resultados 	<ul style="list-style-type: none"> - Projete novo processo <ul style="list-style-type: none"> - Desafie suposições - Aplique criatividade - Princípios de fluxo de trabalho - Implemente novos processos
CONTROLAR	<ul style="list-style-type: none"> - Estabeleça medidas-padrão para manter desempenho - Corrija problema quando necessário 	<ul style="list-style-type: none"> - Estabeleça medidas e revisões para manter desempenho - Corrija problema quando necessário

Fonte: Adaptado (PANDE, 2007)

2.4 Diagrama Ishikawa

O diagrama de causa e efeito (Ishikawa) permite compor de forma hierárquica as causas de um determinado problema e relacionar com seu efeito (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Este diagrama foi criado pelo Prof Kaoru Ishikawa, tendo sua estrutura similar a uma espinha de um peixe é também chamado de diagrama de espinho-de-peixe. O Diagrama de Ishikawa mostra por meio de gráficos as possíveis causas de um determinado defeito ou falha (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

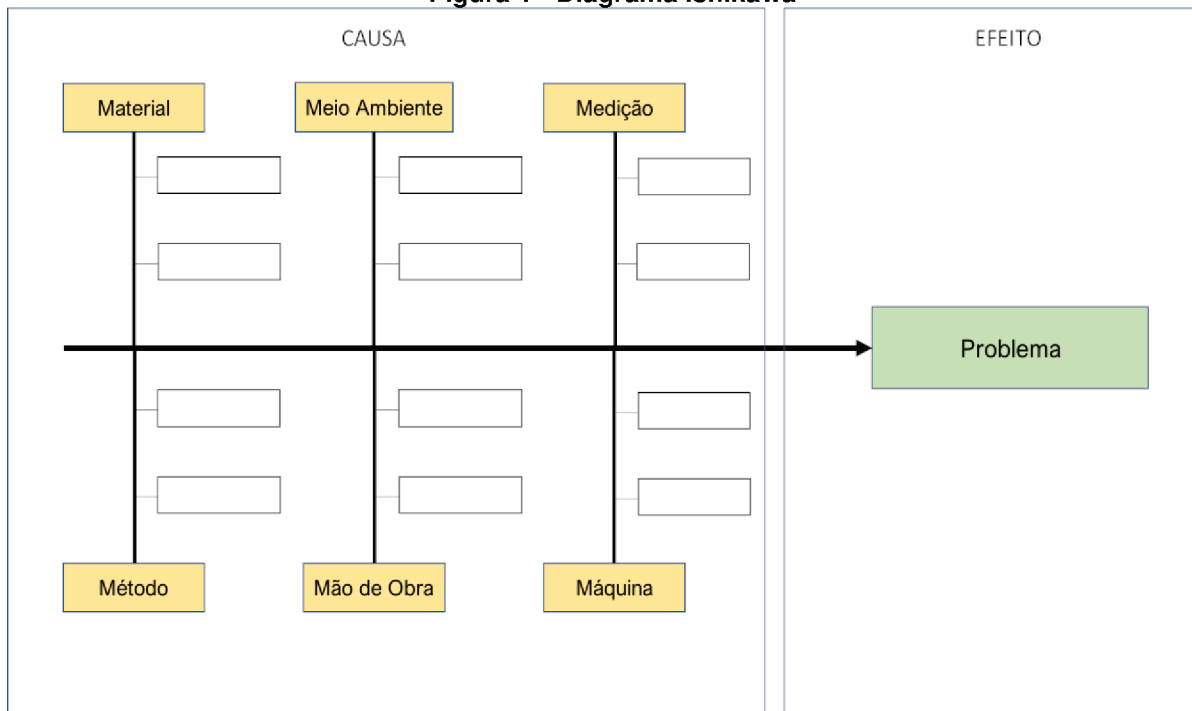
Normalmente no diagrama de espinho-de-peixe as causas são conhecidas como 6 M's: Mão-de-obra, Máquina, Material, Medida, Meio Ambiente e Método. Os efeitos dessas causas geram problemas ou objetivos identificados anteriormente (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Colenghi (2007) sugere um roteiro para construir um diagrama de espinha de peixe, começando pela definição do problema, logo após são apresentadas às causas que geraram o mesmo. Posteriormente as causas são identificadas e repassadas para o diagrama.

Para construir o diagrama de espinha-de-peixe segue alguns pontos, a coluna do meio, sinalizada por uma seta, corresponde ao efeito ou consequência, na parte lateral, acima e abaixo da seta, estão às causas que prejudicam o processo (WERKEMA. 1995). A figura 1 demonstra um modelo de gráfico de espinha de peixe.

No entendimento de Werkema (1995), o diagrama causa e efeito é utilizado para facilitar e identificar as causas raízes, por meio de uma “representação gráfica entre o processo (efeito) e os fatores (causas) do processo”. Essa representação feita por meio de gráficos facilita compreender o problema e obter uma solução para o problema, pois irá indicar as várias ações que comprometem o processo, tornando assim possível fazer uma análise do conjunto e não só apenas do problema de forma individual. Dessa forma, podem-se distribuir as ações e priorizar os esforços na solução.

Figura 1 - Diagrama Ishikawa



Fonte: Próprio Autor

2.5 Os cinco porquês

Os “5 porquês” é uma ferramenta da qualidade utilizada para encontrar a raiz de um problema ou defeito. É uma técnica de análise que parte do princípio de perguntar 5 vezes o porquê de estar ocorrendo um problema, sempre relacionado a causa anterior, será determinada a causa raiz do problema ao invés da fonte de problemas (BICHENO, 2006).

Os 5 porquês é uma ferramenta muito utilizada na área da qualidade, mas pode ser aplicada em qualquer outra área, e até mesmo ser utilizado no dia-a-dia. É uma ferramenta de simples para a resolução de problemas e foi desenvolvida por Taiichi Ohno, conhecido como o pai do Sistema de Produção Toyota, e consiste em elaborar perguntas utilizando o “Porquê” cinco vezes para entender o motivo do problema (a causa-raiz) (BICHENO, 2006). Nada impede de aplicar mais (ou menos) do que 5 perguntas. Ohno observou que o número 5 costuma ser o suficiente para chegar á causa raiz do problema (BICHENO, 2006).

Esta ferramenta possibilita encontrar a causa primaria do problema, de forma que determinamos o que aconteceu, o porquê dessa causa e fazer um plano de ação para diminuir a probabilidade que isso ocorra novamente (LINKER, 2004).

Geralmente quando questionados sobre a causa de um problema o ser humano tem a tendência de culpar algo ao invés de pensar no que possa estar acontecendo e procurar a causa para isto. Geralmente se diz que no primeiro porquê temos um sintoma, no segundo porquê temos uma desculpa, no terceiro temos um culpado, no quarto uma causa e no quinto temos a causa raiz (LINKER, 2004).

3 METODOLOGIA

De acordo com Silva e Menezes (2005), pesquisar é solucionar uma questão por meio de propostas baseadas em metodologias sistemáticas e racionais com o intuito de gerar informações ainda desconhecidas acerca do problema a ser resolvido com a pesquisa.

Uma pesquisa é elaborada utilizando-se estudos realizados anteriormente e, portanto, acessíveis ao pesquisador que irá relacioná-los valendo-se da metodologia científica. Essa elaboração percorre diversas etapas partindo da formulação do problema até os resultados da pesquisa. (GIL, 2002).

3.1 Tipos de Pesquisa

A pesquisa é frequentemente classificada de acordo com os seus objetivos gerais, nesse caso ela pode ser: descritiva, explicativa ou exploratória. Como aponta Gil (2002) a pesquisa descritiva é caracterizada pela exposição de determinados atributos de uma população ou ainda demonstrar comparações entre esses atributos, no caso da pesquisa explicativa a sua principal marca é a busca por entender a causa de algum fenômeno apontando os motivos que levaram a sua ocorrência. Este trabalho é caracterizado pela pesquisa exploratória que têm por finalidade aumentar o conhecimento acerca do fato pesquisado, explicitando-o e valendo-se de pesquisas bibliográficas e estudo de casos para exemplificar.

Classificando a pesquisa quanto ao tipo de abordagem ela pode assumir a qualidade de pesquisa quantitativa ou de pesquisa qualitativa. Neste trabalho foi adotada a segunda forma, a qualitativa, que conforme explica Gerhardt e Silveira (2009) não considera apenas os dados numéricos e procura aprofundar o entendimento das informações coletadas explicando o porquê de determinado fenômeno. Por outro lado, na pesquisa quantitativa os resultados são mensuráveis, com grandes amostras que buscam a representatividade de toda a população alvo da pesquisa lançando mão de modelos padronizados de coleta de dados, como questionários, que são focados na objetividade.

3.2 Coleta de dados

A coleta de dados consiste na procura pelo conhecimento que tornará possível ao pesquisador uma base para a compreensão do fato ou do acontecimento que se pretende apurar. (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Para a realização deste estudo foram utilizadas as técnicas de pesquisa bibliográfica e pesquisa documental, a primeira consiste no levantamento da teoria já existente na área a ser estudada, tomando com referências trabalhos científicos publicados, livros com a finalidade de apurar as informações e conhecimentos para a resposta ao problema proposto, a segunda técnica utilizada serve-se de fontes mais amplas que as utilizadas na pesquisa bibliográfica, como por exemplo tabelas, relatórios e documentos de empresas, catálogos, jornais. (FONSECA, 2002)

3.2 Análise de dados

A análise dos dados foi feita da forma qualitativa, que segundo Vergara (2000) torna possível a apresentação dos dados de maneira estruturada e organizada para que sejam analisados.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Contextualização do Problema

O estudo foi feito em uma empresa de fabricação de chicotes elétricos para montagem em automóveis. Em uma inspeção na própria empresa verificou-se uma descontinuidade de corrente no circuito elétrico.

Então uma equipe da qual um dos autores deste trabalho esteve presente foi designada para tratar o problema, levantar dados, identificar as falhas e realizar as ações corretivas necessárias.

A solução definida pela equipe para tratar a falha e melhorar o processo foi baseada na metodologia DMAIC aplicada à falha específica detectada na inspeção e com o intuito de melhorar a capacidade do processo.

4.2 Aplicando a metodologia DMAIC

Nessa parte são relacionadas as etapas da metodologia com os fatos ocorridos na empresa para identificar a causa da falha e para o aperfeiçoamento do processo.

Foram divididas as etapas em tópicos: Definir, medir, analisar, melhorar e controlar. Nos quais são mostradas as ações realizadas pela equipe de trabalho para alcançar o objetivo definido.

4.2.1 Definir

Nesta primeira etapa foram definidos os alvos de estudo, as metas a serem alcançadas e o escopo de aplicação da metodologia. O objeto do estudo foi a descontinuidade elétrica de um chicote que resultou no não funcionamento da luz do freio de mão do automóvel, a meta foi descobrir a causa do não funcionamento adequado do chicote e o escopo definido como sendo a etapa de montagem do determinado chicote elétrico.

Ao verificar o chicote foi encontrado um cabo preto de 0,50 mm² rompido no corpo do chicote, como evidenciado na figura 2.

Figura 2 - Chicote preto rompido

Fonte: Próprio Autor

A região danificada foi analisada para entender melhor a ocorrência e verificar quais cabos foram afetados. Identificamos que a danificação ficou limitada apenas ao cabo preto e que os demais circuitos próximos a ele não foram afetados (Figura 3). Esta avaliação indica que a danificação do cabo aconteceu de forma isolada.

Figura 3 - Cabo rompido isoladamente

Fonte: Próprio Autor

Após a apresentação das figuras acima a equipe foi reunida para elaborar um diagrama de Ishikawa para definir possíveis causas para o rompimento do cabo, os membros do grupo deram sugestões do que poderia ter causado o rompimento de acordo com o “M” do diagrama, as prováveis causas podem ser vistas na figura 4.

Na montagem do diagrama não se verificou possíveis causas relacionadas à meio ambiente e à medição.

Figura 4- Diagrama Ishikawa aplicado



Fonte: Próprio Autor

4.2.2 Medir

Quando noticiado da falha, foram realizados levantamento de dados para verificar a ocorrência do mesmo problema em outros produtos da mesma linha de montagem, foi feita a revisão do estoque e verificados os circuitos na linha de montagem e não foi encontrada nenhuma não conformidade.

Portanto, pôde-se afirmar que a ocorrência desse modo de falha foi única e isolada, sendo assim nesta etapa da metodologia DMAIC foram usados dados qualitativos para definir a causa da não conformidade.

Ao definir o cabo que foi rompido foi analisado a região da ruptura para descobrir a causa do rompimento do cabo. Com auxílio de um microscópio foi possível identificar melhor a danificação sofrida pelo cabo (Figura 5).

Figura 5 - Região do rompimento



Fonte: Próprio Autor

Pela peça evidência pode se perceber algumas características da causa que levou ao rompimento do cabo, conforme figura 6.

A peça apresenta característica de danificação do isolante e dos filamentos, provavelmente causados pela compressão dos mesmos, os filamentos estão rompidos em pontos distintos e não apresentam características de corte por objetos cortantes, os filamentos apresentam alongamento no seu perfil circular, indicando que os mesmos foram prensados contra algum objeto, o isolante apresenta regiões de esmagamento e de cortes irregulares. Apresenta corte e deformações no sentido longitudinal e transversal, indicando grande irregularidade na região de rompimento.

Figura 6 - Características do rompimento

Fonte: Próprio Autor

4.2.3 Analisar

Neste momento da metodologia foram analisados os levantamentos feitos nas fases anteriores, com o objetivo de determinar a causa raiz do problema e validar as hipóteses levantadas no diagrama de Ishikawa.

Cada uma das possíveis causas foi analisada e validada para verificar se estas se aplicam ou não ao modo de falha (Quadro 2).

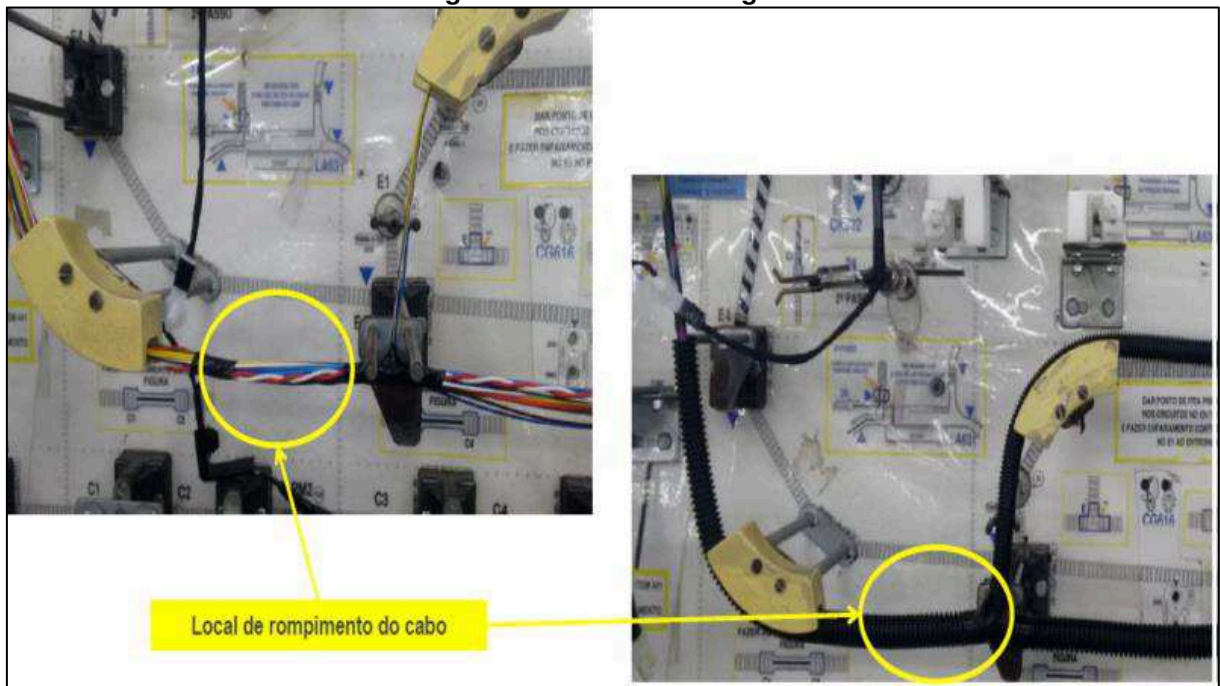
Quadro 2 - Validação das possíveis causas

Possível Causa	Validação	Avaliação
Cabo fragilizado e quebradiço	Foram realizados testes nos cabos da MSPEC M6409201 e comprovamos que os cabos estão conforme especificado. Foi avaliado também o alongamento do isolante para comprovar se o mesmo está dentro do especificado	Não se aplica
Especificação incorreta do cabo	Evidenciamos que o cabo que está sendo utilizado é o cabo especificado a desenho e atende a norma MSPEC M6409201	Não se aplica
Manuseio indevido do cabo pelos operadores	Não foi evidenciado manuseio incorreto dos circuitos pelos operadores ao longo de todo o processo de montagem do chicote	Não se aplica
Rompimento do cabo durante retrabalho do chicote	Não foi evidenciado registro e indícios de retrabalho no chicote. Verificamos também que os demais circuitos do chicote estavam intactos e sem danificação	Não se aplica
Rompimento do cabo durante o processo de aplicação	Não há nenhuma interferência da máquina de corte na região onde houve o rompimento do cabo que pudesse fragilizar ou comprometer a estrutura e resistência mecânica do cabo	Não se aplica
Danificação após teste elétrico	Não existe nenhum potencial de danificação do circuito após o teste elétrico. O Cabo fica no interior do chicote e está protegido por um tubo corrugado .	Não se aplica
Dimensional do circuito causando tensionamento durante a montagem	Evidenciamos que o circuito atende perfeitamente o roteamento da mesa de montagem sem ficar tensionado e sem sobras e o mesmo está com comprimento conforme definido na tabela de corte. Especificado: 2740mm, Encontrado:2743mm	Não se aplica
Roteamento incorreto do circuito na mesa de montagem	Foi evidenciado que não existe risco de danificação do cabo, caso haja roteamento incorreto do cabo. Não há pontos na mesa de montagem que possa causar o dano apresentado no cabo evidência	Não se aplica
Danificação por tubo corrugado	O tubo corrugado é inserido do lado oposto a região de danificação e não conseguimos simular o dano no cabo nesta operação	Não se aplica

Fonte: Próprio Autor

Para a possível causa “Existência de pontos de corte na mesa de montagem” não foi identificado pontos cortantes que poderiam ter provocado o problema o trecho onde o cabo está danificado não tem nenhum contato com dispositivos de montagem da mesa, conforme figura 7. Portanto essa causa não se aplica.

Figura 7 - Mesa de montagem



Fonte: Próprio Autor

Para validar o possível causa de rompimento do cabo por tração, foi feita uma simulação tracionando o cabo até o rompimento e comparando as características da região rompida com a peça evidência.

Na ruptura do cabo por tração o mesmo sofre um alongamento dos filamentos e do isolante. Logo após o rompimento dos filamentos o isolante sofre um recuo, deixando os filamentos expostos.

Pode se observar também que não há danos de compressão, corte e de prensagem dos filamentos e do isolante, este fica “esbranquiçado” devido ao seu alongamento durante a ruptura do cabo. O cabo se rompeu a uma tração de 93N.

Como pode ser visto na figura 8, o local onde o cabo rompeu apresenta características diferentes da peça evidência, sendo assim a causa de rompimento por tração foi descartada.

Figura 8 - Cabo rompido por tração



Fonte: Próprio Autor

A próxima possível causa a ser validada foi um suposto rompimento do cabo devido à utilização de dispositivos cortantes no processo de montagem. De maneira análoga aos casos anteriores foi feita uma simulação para comparar com a peça evidência.

Foram feitas duas simulações uma com um alicate de corte (figura 9) e outra com uma tesoura (figura 10).

No primeiro teste, feito com o alicate, a peça apresenta corte transversal uniforme do isolante, sem deformação longitudinal do isolante; existe alguns filamentos alongados além dos demais, porém sem sinal de esmagamento; presença de filamentos com perfil de corte em “V” invertido, indicando compressão pelo gume do alicate em ambos os lados do filamento.

No segundo teste, feito com a tesoura, a peça apresenta corte uniforme do isolante e dos filamentos sem nenhuma deformação longitudinal do isolante, característica de corte por cisalhamento; presença de filamentos com perfil de corte paralelo, acompanhando o mesmo perfil de corte do isolante.

Em ambos os casos não foi possível reproduzir a falha apresentada no chicote evidência. Portanto, concluímos que a ruptura do cabo não foi causada por estes objetos cortantes.

Figura 9 - Corte com alicate de corte



Fonte: Próprio Autor

Figura 10 - Corte com tesoura



Fonte: Próprio Autor

No diagrama de Ishikawa também foi levantada a ideia de danificação do cabo durante o abastecimento dos circuitos, então ao procurar possíveis pontos onde o cabo poderia sofrer dano foi identificado um potencial de danificação do circuitos, onde o mesmo pode ser prensado entre o suporte de abastecimento do carro de rotas e a estrutura do perchero, como pode ser visto na figura 11. Este perchero é o local onde o circuito é montado na célula de kit antes de ser enviado para a linha de montagem.

Figura 11 - Ponto de contato da roda com o perchero



Fonte: Próprio Autor

Ao analisar o ponto de contato foi possível observar sinais de desgaste na cantoneira, conforme figura 12, indicando a ocorrência de choques no local.

Figura 12 - Cantoneira desgastada



Fonte: Próprio Autor

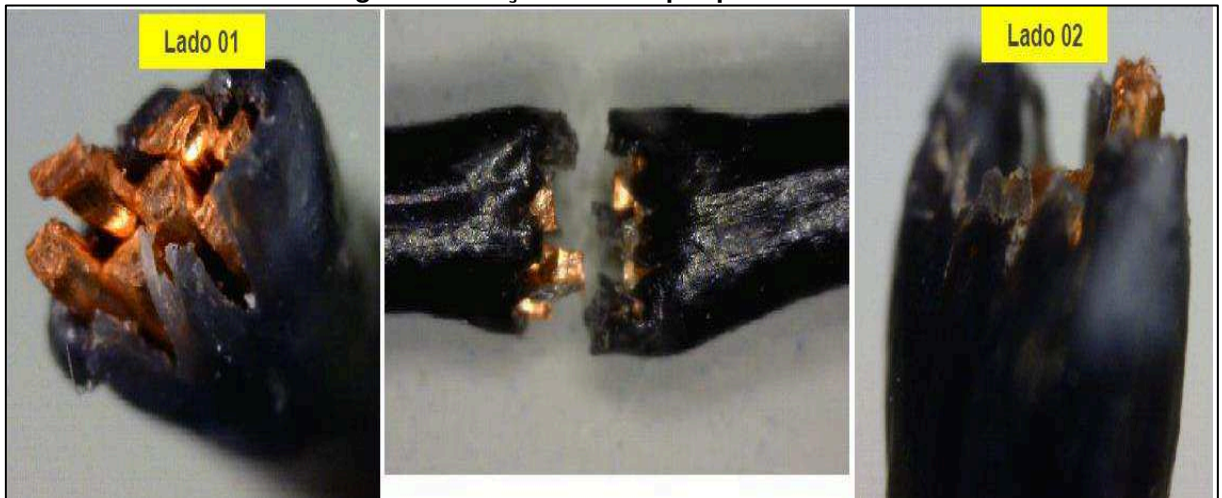
Havendo indícios de que a falha poderia ter acontecido desse modo, foi realizada uma simulação do rompimento do cabo, prensando um circuito entre o suporte do carro de abastecimento de circuitos contra o suporte das calhas do perchero (figura 13).

Figura 13 - Simulação prensamento

Fonte: Próprio Autor

A peça simulada rompeu com uma tração de 22N e o resultado foi o rompimento irregular do isolante e o alongamento dos filamentos, conforme mostrado na figura 14.

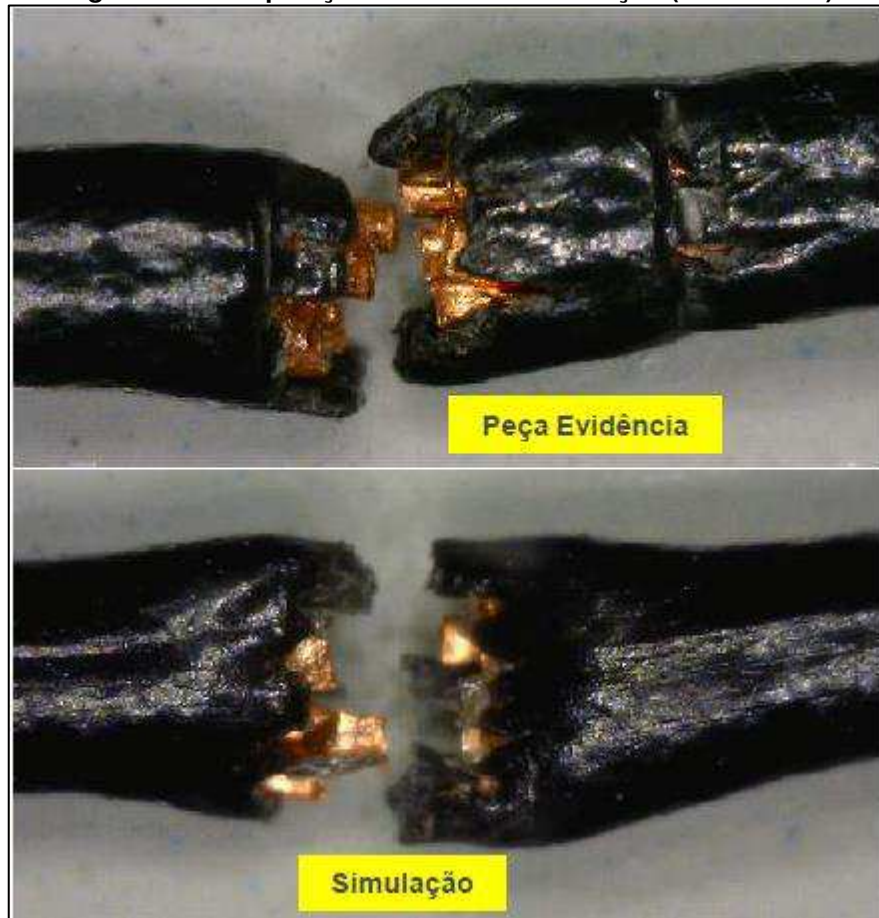
Figura 14 - Peça simulada por prensamento



Fonte: Próprio Autor

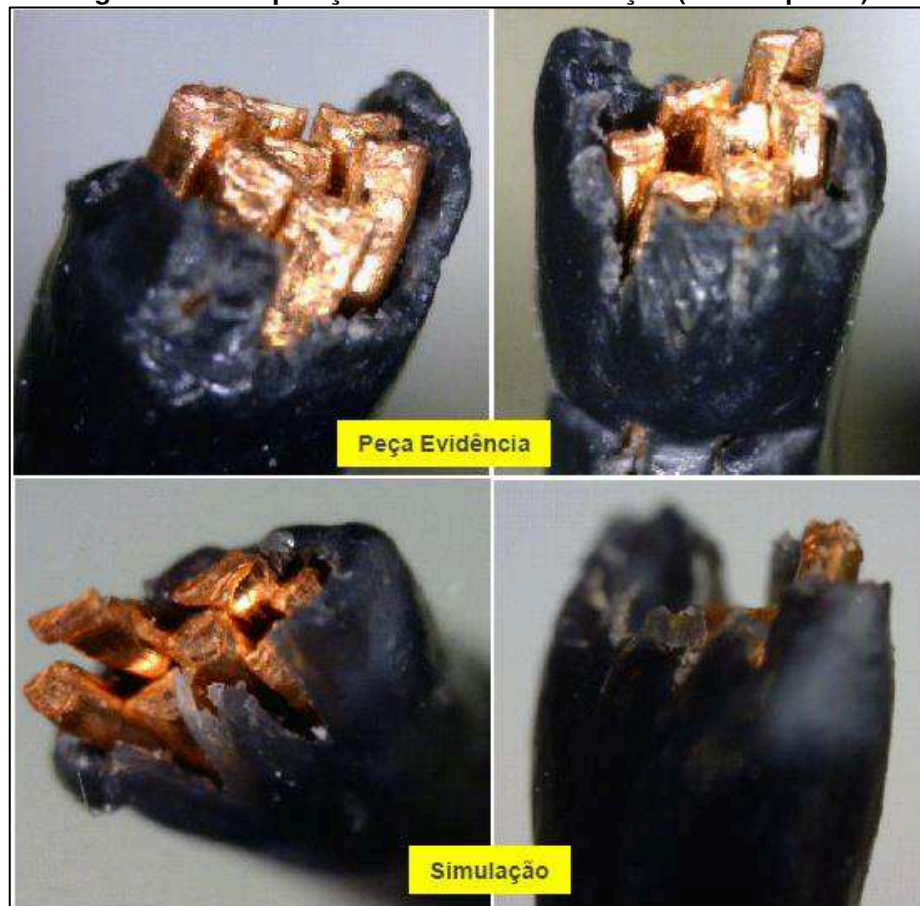
Foi realizada uma comparação entre a peça evidência e a peça simulada e o resultado de ambas comprova que o rompimento dos cabos foi causado por esmagamento e no mesmo local. A figura 15 e 16 mostra essa comparação.

Figura 15 - Comparação Evidência x Simulação (vista lateral)



Fonte: Próprio Autor

Figura 16 - Comparação Evidência x Simulação (vista superior)

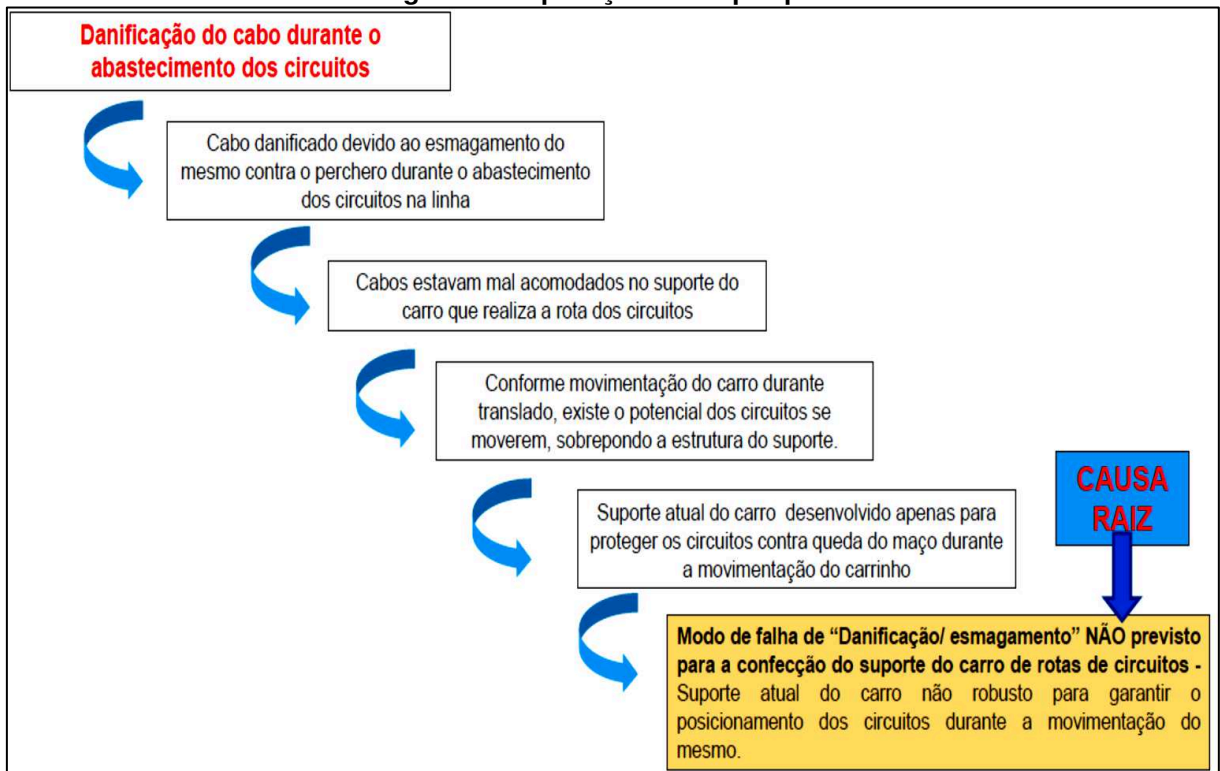


Fonte: Próprio Autor

Após a validação de todas as possíveis causas levantadas no diagrama de Ishikawa, a causa do rompimento do cabo foi identificada com sendo a danificação do cabo durante o abastecimento do circuito. No entanto, a causa raiz do problema deve ser identificada e corrigida para que não haja a recorrência desse modo de falha.

A ferramenta utilizada para descobrir a causa raiz foi os cinco porquês e conforme a figura 17 mostra, foi possível identificar que o suporte atual do carro não é robusto o suficiente para garantir o posicionamento dos circuitos durante a movimentação do mesmo.

Figura 17 - Aplicação dos 5 porquês



Fonte: Próprio Autor

Identificada a causa raiz da falha a fase "Analisar" do DMAIC se encerra, restando agora agir nessa causar e acompanhar a eficácia das ações tomada para evitar novas ocorrências desse modo de falha.

4.2.4 Melhorar

Nesta etapa foram desenvolvidas melhorias com base na causa raiz encontrada na etapa anterior. Então em uma equipe multidisciplinar foi elaborado um plano de ação, listando as ações corretivas para acabar com a causa raiz do problema e assim zerar as falhas por esse motivo.

No quadro 3 são listadas as ações e a área responsável pela tratativa.

Quadro 3 - Plano de Ação

Causa Raiz	Ação Corretiva	Resp./Área
Modo de falha de “Danificação/ esmagamento” NÃO previsto para a confecção do suporte do carro de rotas de circuitos - Suporte atual do carro não robusto para garantir o posicionamento dos circuitos durante a movimentação do mesmo.	Alterar a altura do suporte das calhas de circuitos dos percheros para tirar da região de interferência	Manutenção
	Fazer levantamento de todos os pontos potenciais de danificação de circuitos e efetuar as correções se necessário	Manutenção / Engenharia
	Alterar projeto do carros de rota colocando uma proteção plástica para limitar o avanço dos cabos sobre o limitados do gancho, protegendo contra quedas e impactos	Engenharia
	Implementar alteração do suporte para o carros de rotas de circuitos	Engenharia
	Revisar PFMEA	Engenharia

Fonte: Próprio Autor

4.2.5 Controlar

Depois de implementada as ações corretivas, foi feito um acompanhamento para verificar se o modo de falha danificação/esmagamento ocorreria novamente e, do momento da implementação das melhorias até o presente momento, não foram verificadas novas ocorrências desse modo de falha.

Sendo assim ficou claro que as ações foram eficazes, então as medidas tomadas nessa linha de montagem foram estendidas para as linhas semelhantes, que poderiam apresentar o mesmo tipo de problema.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No decorrer do capítulo anterior pôde-se perceber com clareza a aplicação da metodologia DMAIC na solução de problemas na indústria, o presente estudo de caso demonstrou como se dá efetivamente o uso dessa estrutura no campo real de atuação do engenheiro, especificamente o engenheiro da qualidade.

A maneira como a empresa tratou a falha no seu processo e o modo como buscou identificar a causa e o modo de falha converge com a metodologia DMAIC exposta na revisão da literatura apresentada no início deste trabalho. Foi possível notar que ao utilizar esta metodologia a empresa obteve êxito na sua meta de encontrar e tratar a causa da falha para que não volte a ocorrer novos problemas dessa mesma natureza.

A empresa define com clareza o objetivo da aplicação da metodologia, e estabelece o escopo no qual se ateve para executar o procedimento de resolução do problema e levantou possíveis causas a serem validadas, conforme estabelece a primeira etapa da metodologia.

Em seguida, na etapa da medição, a empresa ao adaptar a metodologia a sua necessidade valeu-se de dados qualitativos pois entendeu pouco relevantes os dados quantitativos tendo em vista a característica única da falha. O uso de somente dados qualitativos diverge um pouco do usual no qual são trabalhados dados estatísticos, porém a teoria não fixa a obrigatoriedade do uso destes.

Na terceira etapa da estrutura implementada a empresa analisou os dados levantados nas fases anteriores e tratou de validá-los verificando qual modo de falha dentre os listados foi o que efetivamente ocasionou o problema, comparando simulação com a peça evidência. Dentre os treze modos de falhas sugeridos no diagrama de Ishikawa somente um mostrou semelhança à peça evidência na característica de sua falha.

Ainda na terceira etapa a empresa buscou encontrar a causa raiz da falha, para que esta fosse tratada, e obteve êxito ao utilizar a ferramenta dos cinco porquês, seguindo o modelo apresentado na revisão bibliográfica e amplamente utilizado na indústria.

Feita a parte da análise a empresa elaborou um plano de ação para tratar o modo de falha, desse modo foram feitas algumas melhorias no processo estudado visando eliminar a causa raiz do problema otimizando o processo e prevenindo não conformidades, mais uma vez a empresa andou junto à bibliografia que trata esta etapa como sendo a fase na qual as melhorias são implementadas.

Na última parte da estrutura DMAIC a teoria trata da sistematização das medidas adotadas na etapa anterior e também a validação das mesmas. A empresa ao seguir a teoria acompanhou o processo para verificar a reincidência do mesmo modo de falha e ao avaliar satisfatória as medidas implementadas, expandiu para outras linhas semelhantes.

Portanto a empresa estudada seguiu de modo bastante fiel a teoria da metodologia DMAIC e, como também prevê a bibliografia, fez adaptações dentro das etapas do procedimento para que servissem ao seu processo.

Sendo assim, pôde se comprovar que ao executar a metodologia DMAIC de forma coerente com a teoria a empresa foi exitosa na sua necessidade de encontrar a causa da falha, o que valida o método na situação deste estudo de caso.

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho de apresentar um estudo de caso da aplicação da metodologia DMAIC na resolução de problemas foi concluído com sucesso. Ao adentrar no caso prático estudado pelos autores, foi possível demonstrar os procedimentos adotados pela empresa e os resultados obtidos por meio do uso desta metodologia.

Por meio do sucesso da empresa na resolução do seu problema, pôde-se perceber a eficácia do método quando aplicado de maneira coerente à teoria e à literatura pertinente ao assunto, seguindo as etapas propostas pela metodologia e adaptando-as à realidade da organização.

Portanto, conclui-se que o presente trabalho foi de encontro ao seu objetivo e obteve êxito ao desenvolver o que foi inicialmente proposto.

REFERÊNCIAS

- BICHENO, J. **The new toolbox enxuta** (p.152). Picsie Books, 2006.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- COLENGHI, V. M. **O & M e qualidade total: uma integração perfeita**. 3 ed. Uberaba: Ad Sumus, 2007.
- ECKES, George. **A revolução seis sigma: O método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro**. 6 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2001.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza:UEC, 2002. Apostila, 127 p. Disponível em: <www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>. Acesso em: 28 junho. 2018.
- GARVIN, David A.. **Gerenciando a qualidade: A visão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark editora, 1992.
- GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. 1 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO. **ISO 9001:2008**. Quality management systems. Requirements. International Organization for Standardization. 2008. p.27
- LIKER, J. **The Toyota Field Book**, 2004
- LYNCH, D. P.; BERTOLINE, S.; CLOUTIER, E. How to scope DMAIC projects. **Quality Progress**, v. 36, n. 1, p. 37-41, 2003.
- MARTINS, F. J. ; TONIOLI, G. N. ; TOLEDO, J. C. **Modelo para avaliação da evolução da Gestão de Qualidade em empresas industriais**. São Carlos : UFSCar/ENEGEP/ADEPRO, 1999. Disponível em : <http://www.adepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999_A0914.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2018.
- PALADINI, E. P. et al. **Gestão da qualidade: Teoria e Casos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- PARAST, M. M. The effect of Six Sigma projects on innovation and firm performance. **International Journal of Project Management**, vol. 29, p.45-55, 2011.
- ROTONDARO, R. G. et al. **Seis sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

SILVA, Edna Lúcia Da; MENEZES, Eстера Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4 ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. Reference model to structure the six sigma in organizations. **Gestão e produção**, São carlos, v. 15, n. 1, p.111-222, jan./abr. 2008.

SLACK, N.; CHAMBER, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3 ed. São Paulo: Atlas S.A., 2009

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2000.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processo**. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte: 1995.