

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Leandro Maia Nogueira**

**APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA PARA ANÁLISE DE  
COMPATIBILIDADE DA PARTICULA DE POLÍMERO E  
CARACTERIZAÇÃO DO DEFEITO.**

**Taubaté – SP**

**2017**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Leandro Maia Nogueira**

**APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA PARA ANÁLISE DE  
COMPATIBILIDADE DA PARTICULA DE POLÍMERO E  
CARACTERIZAÇÃO DO DEFEITO.**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre no Curso Mestrado Profissionalizante de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Engenharia Mecânica  
Orientadora: Prof. Dra. Valesca Alves Corrêa.

**Taubaté – SP**

**2017**

**Leandro Maia Nogueira**

**APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA PARA ANÁLISE DE  
COMPATIBILIDADE DA PARTICULA DE POLÍMERO E  
CARACTERIZAÇÃO DO DEFEITO.**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre no Curso Mestrado Profissionalizante de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.  
Área de Concentração: Engenharia Mecânica.

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA:**

Profa. Dra. Valesca Alves Corrêa

Universidade de Taubaté - UNITAU

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Luiz Eduardo N. P. Nunes

Universidade de Taubaté - UNITAU

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Francisco Antônio Lotufo

Universidade Estadual Paulista - UNESP

Assinatura: \_\_\_\_\_

*Dedico este trabalho à Izabel, minha esposa,  
e a minha amada filha Julia.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças, nesse ano extremamente difícil, a continuar com êxito a conclusão deste curso.

Em seguida a minha família que mesmo com as dificuldades da vida me apoiaram e incentivaram até o fim, em especial, minha esposa e filha, ao qual dedico não só este trabalho, mas a minha vida.

Agradeço também a minha professora e orientadora Valesca Alves Corrêa que dividiu humildemente seus conhecimentos e experiências com muita dedicação.

A todos os amigos do curso de Mestrado Engenharia Mecânica turma 38, que fizeram dos sábados um grande e prazeroso encontro de amigos.

Agradeço a Maria Izabel Romão Lopes por ser uma excelente esposa e me presentear com nossa linda filha.

Por último, mas não menos importante dedico as avós da minha filha Julia Lopes Nogueira que ajudam na criação cuidando com muito carinho e amor.

A todos os envolvidos direta e indiretamente na conquista desse título, meu muito obrigado!

“Qualidade é quando cliente volta e não o produto“

*(Autor desconhecido)*

## RESUMO

Alcançar o sucesso na gestão de qualidade de uma empresa é algo que exige um planejamento estratégico bem estruturado, com os avanços da tecnologia e das ferramentas de gestão, empresas mais bem organizadas tendem a se destacar no mercado, sendo fundamental que definam corretamente a “voz do cliente” de forma a entender o problema e propor a solução para evitar recorrências. Entretanto, muitas vezes, encontrar uma metodologia de abordagem sistêmica para solução de problemas pode parecer algo complicado. Assim como, não é habitual a caracterização de um defeito para identificar a real causa raiz do problema, isto ocorre em algumas empresas na área industrial. O objetivo desta dissertação é comprovar que a utilização da metodologia DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) aliado aos recursos de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) podem caracterizar um problema de forma a solucioná-lo sistemicamente. Será utilizado um estudo de caso para exemplificar o tema em referência, sendo um projeto seis sigma na área automobilística no qual foi caracterizado o material de uma partícula (Poliamida PA66) para identificar a causa do problema e com isso implementar as ações para solucionar. O estudo de caso abordado é único com abordagem qualitativa. Os resultados obtidos com a caracterização da partícula demonstram 98% de compatibilidade com o componente que gerou o problema para o cliente. Verificou-se que o modelo proposto DMAIC, tem uma abordagem eficiente na definição do problema aliados aos recursos de análise disponíveis no mercado. Concluiu-se no estudo de caso apresentado o êxito na caracterização da causa e solução do problema com a utilização do seis sigma e dos recursos de análise, estimulou-se a consulta e pesquisa para empresas aprimorar-se na análise e solução dos problemas.

Palavras-chave: Seis Sigma, DMAIC. Microscopia Eletrônica de Varredura.

## **ABSTRACT**

### **DEFECTIVE CHARACTERIZATION USING MEV AND EDS EQUIPMENT TO IDENTIFY THE COMPATIBILITY OF THE POLYMER PARTICLE.**

Achieving success in quality management of a company is something that requires well-structured strategic planning, with advances in technology and management tools, better organized companies tend to stand out in the market and it is crucial that they correctly define the "voice of the client "in order to understand the problem and propose the solution to avoid reoccurrence. However, often finding a methodology for systemic approach to problem solving can seem complicated. Just as it is not usual to characterize a defect to identify the real root cause of the problem, this occurs in some companies in the industrial area. The purpose of this dissertation is to prove that the use of DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) together with Scanning Electron Microscopy (MEV) and Dispersive Energy Spectroscopy (EDS) can characterize a problem in order to solve it systemically. A case study will be used to exemplify the subject in question, being a six-sigma project in the automotive area in which the material of a particle (Polyamide PA66) was characterized to identify the cause of the problem and with that to implement the actions to solve. The case study addressed is unique with a qualitative approach. The results obtained with the particle characterization demonstrate 98% compatibility with the component that generated the problem for the final customer. It was verified that the proposed DMAIC model has an efficient approach in the definition of the problem allied to the analytical resources available in the market. In the case study presented the success in characterization of the cause and solution of the problem with the use of six sigma and of the analysis resources, serving as consultation and research for the companies that seek to improve analysis and solution of problems.

Keywords: Six Sigma. DMAIC. Scanning Electron Microscopy.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Apostila Gestão da Qualidade - Evolução.....	20
Figura 2 - Exemplos de falhas com o desempenho de quatro a seis sigma.....	21
Figura 3 - DMAIC Roadmap.....	24
Figura 4 - Esquema da estrutura do Modelo de Referência.....	29
Figura 5 - Esquema de Microscópio óptico.....	32
Figura 6 - Desenho esquemático dos componentes básicos do MEV.....	33
Figura 7 - Imagem real de Microscopia Eletrônica de Varredura.....	33
Figura 8 - Etapas do Trabalho.....	37
Figura 9 - Desgaste nos mancais centrais.....	39
Figura 10 - Desgaste nos mancais do eixo de comando.....	40
Figura 11 - Desgaste no mancal 3 do eixo de comando.....	40
Figura 12 - Bomba de óleo com válvula de retorno travada.....	41
Figura 13 - Dimensionamento da partícula. (Utilizando Microscópio óptico).....	42
Figura 14 - Componente "pescador de óleo".....	43
Figura 15 - Análise da partícula de 3 mm utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	44
Figura 16 - Evidência de fibra de vidro na partícula de 3mm - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	45
Figura 17 - Análise da peça utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	46
Figura 18 - Evidência de fibra de vidro na peça - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	47
Figura 19 - Ponto de injeção plástica na peça.....	51
Figura 20 - Processo de remoção do ponto de extração plástica.....	52
Figura 21 - Fluxo de análise do modo de falha.....	53

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Ganhos obtidos com o programa Seis-Sigma em diferentes empresas .	22
Gráfico 2 - Composição química da partícula - Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS).....	48
Gráfico 3 - Composição química da peça - Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS).....	49
Gráfico 4 - Análise comparativa do composto PA6630 Poliamida. ....	50

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Papéis da equipe Seis Sigma .....	28
--	----

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BB	Black Belts
CQC	Círculo de Controle da Qualidade
CEP	Controle Estatístico do Processo
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
EDS	Espectroscopia por Energia Dispersiva
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
GB	Green Belts
ISO	International Organization for Standardization
KPI	Key Process Indicators
MASP	Método de Análise e Solução de Problemas
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PDCA	Plan, Do, Check, Action
QFD	Quality Function Deployment
QTS	Quality Total Supplier
RPN	Risk Priority Number
TQC	Total Quality Control
5W2H	What, When, Where, Why, Who, How, How Much

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 Formulação do Problema e Relevância do Tema .....	15
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos .....	17
1.3 Delimitação .....	17
1.4 Organização do Trabalho .....	18
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	19
2.1 Definição da Metodologia Seis Sigma e seus Efeitos .....	19
2.2 DMAIC .....	24
2.2.1 Definir .....	25
2.2.2 Medir.....	26
2.2.3 Analisar.....	26
2.2.4 Melhorar .....	26
2.2.5 Controlar.....	27
2.3 Papeis e Responsabilidade da equipe .....	27
2.4 Seis Sigma Modelo de referência para estratégia das empresas.....	28
2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	31
2.6 Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS).....	34
2.7 Análise de Polímero utilizando MEV/EDS .....	34
2.8 Polímero (Poliamida PA 66).....	35
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	36

3.1	Metodos de abordagem utilizados no trabalho.....	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>39</b>
4.1	Fase Definir .....	39
4.2	Fase Medir .....	42
4.3	Fase Analisar .....	43
4.4	Fase Melhorar .....	51
4.5	Fase Controlar .....	52
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>55</b>
	<b>ANEXO A –</b> .....	<b>59</b>
	<b>ANEXO B –</b> .....	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E RELEVÂNCIA DO TEMA

A força da globalização nas empresas faz com que cada vez mais processos sejam analisados e melhorados, pois em função da dinâmica de mercado, a eficiência nas operações e a eliminação do desperdício, são questões de sobrevivência e não diferenciais.

Contudo, diversas empresas no setor automobilístico, especificamente fornecedores de autopeças, demonstram dificuldades nas análises dos problemas principalmente na validação da causa raiz do defeito.

A definição de qual o melhor recurso para análise de um problema pode ser um fator determinante para conclusão do trabalho.

A dissertação se baseia no cenário mencionado no qual as empresas possuem uma lacuna na abordagem de solução de problemas, seja na utilização de uma metodologia ou recurso tecnológico para caracterização de um problema.

Cumprir prazos com os menores custos possíveis são condições indispensáveis na acirrada competição do mundo corporativo. Esta afirmação vale principalmente para a área comercial e engenharia que, geralmente são incumbidas de manter um relacionamento estratégico com fornecedores e melhorar parâmetros e processos utilizados para produzir com mais eficiência, melhor qualidade e menores custos para as indústrias. Os líderes das indústrias estão usando dessas vantagens para aumentar a quota de mercado e reduzir a sua concorrência.

Por meio da prática do DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), as empresas fabricantes de Motores e Transmissões (*Powertrain*) estão se transformando e conseguindo incrementos importantes em termos de competitividade.

Em grande parte, o sucesso destas empresas resulta de sua capacidade de reduzir a complexidade no seu processo, utilizando as ferramentas do DMAIC, que determinam um procedimento eficaz para as análises de falhas em qualquer área de sua empresa, em que haja necessidade da aplicação da metodologia.

O seis sigma tem se destacado entre as várias estratégias, uma vez que evidencia quantitativamente a variabilidade de diversos aspectos de um processo permitindo um controle direcionado para gerar resultados muito mais significativos e alinhados com os objetivos da empresa. A metodologia sugere o emprego de diversas técnicas de forma total ou parcial.

Os principais benefícios do programa seis sigma estão ligados a melhoria dos resultados da organização em curto e longo prazo através de reduções dos custos e melhorias com o foco no cliente, a capacitação de colaboradores da própria empresa numa poderosa metodologia estruturada para solução de problemas e o desenvolvimento da cultura do gerenciamento baseado em dados, com forte foco financeiro e por processos.

Por isso, é muito relevante que a empresa ou organização implemente a cultura seis sigma e defina a “voz do cliente”. Com certeza, esse passo visa a melhoria do patamar de gestão da qualidade. Neste trabalho a área foco foi o departamento de qualidade com análise de componentes retornados em garantia.

Com base no exposto, apresenta-se a seguinte questão de pesquisa: A voz do cliente proporciona a descrição do problema?

Para responder à questão de pesquisa, apresenta-se a hipótese com as variáveis que a compõe: A visão do cliente proporciona ponto inicial da análise do problema, com o uso de uma metodologia de solução de problemas, aliados aos recursos tecnológicos existentes para caracterizar o problema, espera-se um resultado mais assertivo.



## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

Propor uma metodologia de abordagem de solução de problemas de forma sistêmica, de modo a atender às expectativas dos clientes, caracterizando a causa raiz do problema.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Apresentar uma revisão da literatura dos conceitos relevantes;
- Apresentar os pontos importantes sobre as fases do DMAIC;
- Efetuar uma análise utilizando recursos do MEV (Microscopia Eletrônica Varredura) e EDS (Espectroscopia por Energia Dispersiva) na identificação do problema;
- Apresentar as ações para solucionar o problema do estudo de caso abordado.

## **1.3 DELIMITAÇÃO**

Este trabalho, pretende apresentar uma aplicação do DMAIC na definição do problema, para tal, serão utilizados os recursos de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) na caracterização de um problema retornado em garantia, referente ao componente de um fornecedor da área de Qualidade de uma Indústria Automobilística.

#### **1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Este trabalho é composto por sete capítulos, assim elencados:

- O primeiro capítulo apresenta a Introdução, com os Objetivos, Relevância do tema, Delimitação e Organização do trabalho;
- O segundo capítulo trata da revisão da literatura que apresenta as informações existentes em publicações relevantes;
- O terceiro capítulo apresenta os métodos de pesquisa utilizados no trabalho;
- O quarto capítulo traz os resultados e discussões;
- O quinto capítulo as considerações finais;
- Por fim, as referências.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA E SEUS CONCEITOS**

O termo qualidade se tornou popular, quando as indústrias iniciaram os processos de produção em massa. Com o avanço da tecnologia e o crescimento das indústrias, o aumento da concorrência fez com que estas se preocupassem cada vez mais com a qualidade de seus produtos/serviços. O que acarretou na busca por programas que garantissem que os produtos/serviços fornecidos possuissem a qualidade exigida pelos clientes. Contudo, se for implantado em organizações que já possuam um Sistema de Gestão da Qualidade, os benefícios poderão ser ainda mais expressivos (KESSLER, 2004).

Os elementos-chave que suportam o programa seis sigma e asseguram uma adequada aplicação de suas ferramentas e o êxito dessa iniciativa como estratégia de negócios são (SANTOS, 2008):

- identificação dos elementos críticos para a qualidade (CTQ), relacionados com os clientes externos e internos, pois um elemento do produto ou processo é considerado crítico quando seu impacto sobre os requisitos do cliente, e a confiabilidade são relevantes.

A evolução da qualidade é mostrada na Figura 1:

Figura 1 – Evolução da Qualidade



Fonte: ARIENTE et al., 2005

O conceito de seis sigma é estabelecer uma métrica universal para medir defeitos em um processo. Quanto mais alto o sigma é uma indicação de melhores produtos e baixos valores de sigma significam produtos ruins. Produtos produzidos com seis sigma têm um nível de qualidade livre de defeitos, por definição. Na prática, é considerado seis sigma processos que produzem apenas 3,4 defeitos por milhão de oportunidades. Por essa razão, o seis sigma é reconhecido por indicar um padrão de excelência de produto e serviço. A Figura 2, mostra a ocorrência de falhas quando se trabalha com quatro e com seis sigma, basicamente é uma comparação prática no qual utiliza-se exemplos reais para demonstrar a relevância de atingir os níveis sigmas para mitigar o impacto das falhas.

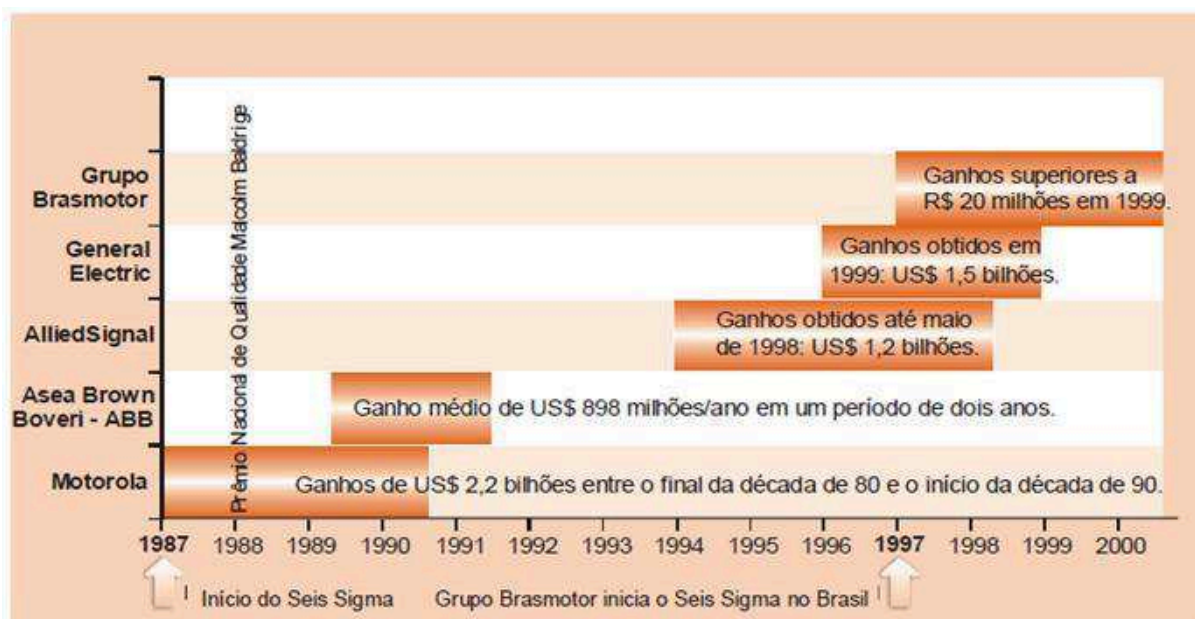
Figura 2 - Exemplos de falhas com o desempenho de quatro a seis sigma.

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 aterrissagem de emergência no aeroporto de Guarulhos por dia	➔	Uma aterrissagem de emergência em todos os aeroportos do Brasil a cada cinco anos

Fonte: WERKEMA, 2008

Ganhos financeiros por meio dos projetos é muito positivo, mas também é importante que a empresa perceba que o retorno financeiro a curto prazo é apenas uma parte dos ganhos resultantes do seis sigma. O Gráfico 1, mostra os ganhos mais relevantes com a implementação da metodologia em diferentes empresas.

**Gráfico 1 - Ganhos obtidos com o programa Seis-Sigma em diferentes empresas.**



Fonte: WERKEMA, 2008

Antes de usar o seis sigma, as empresas devem realizar um diagnóstico para identificar as oportunidades críticas.

Depois, as equipes de seis sigma devem seguir cinco etapas para a resolução de problemas e para identificar rapidamente as causas-raiz, desenvolver soluções e colocar em prática os procedimentos necessários (GARCIA; et al., 2008):

1. Definir – identificar as necessidades dos clientes, isolar o problema e estabelecer metas concretas;
2. Medir – selecionar o que precisa ser medido, identificar fontes de informação e obter dados;
3. Analisar – desenvolver hipóteses e identificar as variáveis mais importantes que impactam nas causas;
4. Melhorar – gerar soluções e transformá-las em ações, tanto modificando processos atuais como desenvolvendo novos processos, e quantificando custos e benefícios;
5. Controlar – desenvolver processos de monitoramento para assegurar o desempenho contínuo de alta qualidade.

O Sigma ( $\sigma$ ) é a letra utilizada para representar o desvio padrão de uma distribuição e, “quanto menor for o desvio padrão de um processo, mais desvios padrões passam a ser aceitos dentro da especificação” (WERKEMA, 2008).

O método é quantitativo e busca a redução de variações dos processos para alcançar um nível de defeitos próximo do zero.

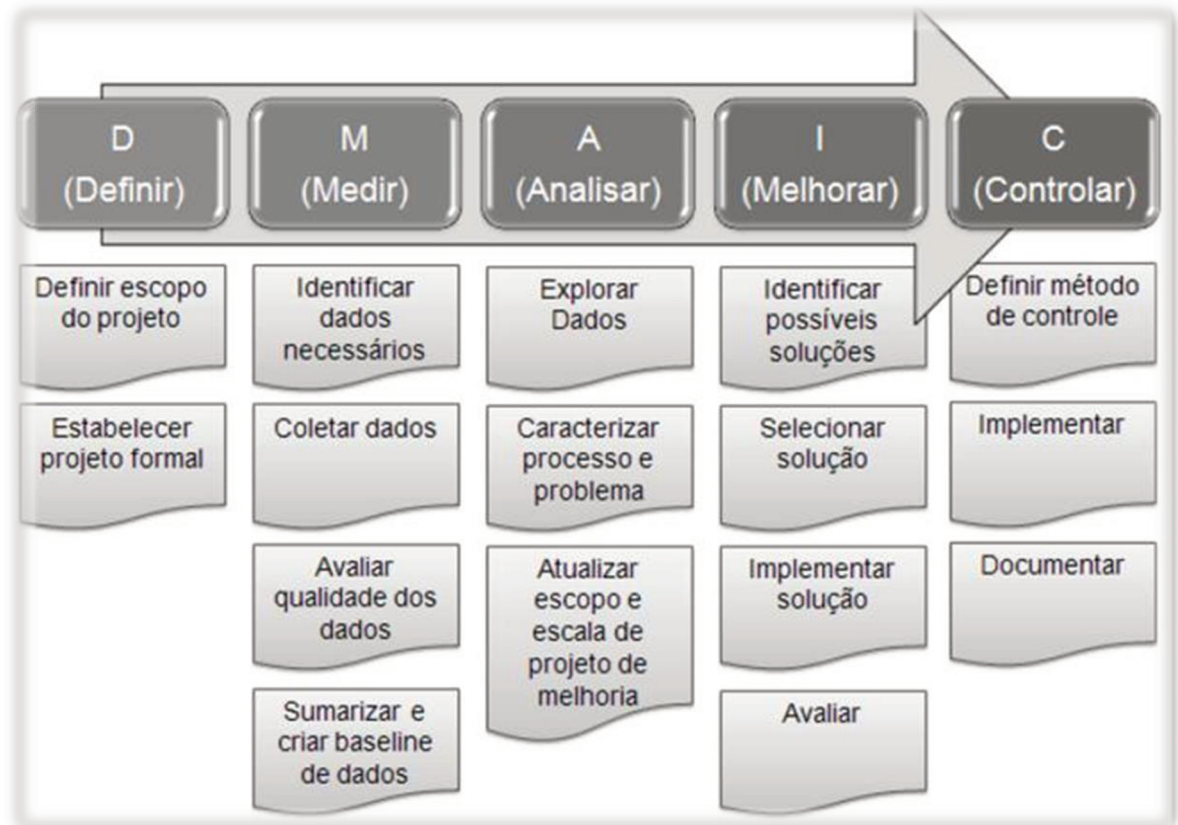
Ainda segundo o mesmo autor, o modelo seis sigma é composto por vários métodos de resolução de problemas, alguns deles são:

- a) M-PCpS (*machine-process characterization study*), que é um estudo para a caracterização e otimização de processos, e que visa eliminar perda de tempo e dinheiro;
- b) DFSS (*design for six sigma*);
- c) DMADV, que contempla as fases definir, medir, analisar, desenhar e verificar;
- d) DMEDI, com as etapas definir, medir, explorar, desenvolver e implementar;
- e) DMAIC, composto pelas etapas: *define* (definir), *measure* (medir), *analyze* (analisar), *improve* (melhorar) e *control* (controlar).

Dos métodos que compõem o seis sigma, o mais utilizado atualmente é o DMAIC, uma vez que é composto de cinco etapas que possibilitam uma adequada organização da implantação, desenvolvimento e conclusão da maior parte dos projetos (SATOLO; et al., 2009).

Na figura 3 será apresentado o modelo DMAIC originalmente utilizado na estratégia seis sigma.

**Figura 3 - DMAIC Roadmap.**



**Fonte: CAMPOS, 2014**

Considera-se também como um fator decisivo na implantação do seis sigma, a necessidade de existir nas empresas uma infra-estrutura organizacional adequada e que assegure a introdução, desenvolvimento e continuidade do programa (RODRIGUES, 2011). Um dos requisitos da infra-estrutura necessária para sustentar o seis sigma nas empresas é o treinamento dos funcionários envolvidos com o programa.



## **2.2 DMAIC**

O DMAIC é uma ferramenta importante da metodologia, embora o processo DMAIC seja, algumas vezes, representado de maneira sequencial, as fases e etapas nem sempre acontecem em uma sequência direta. A literatura indica cinco técnicas às ferramentas mais usadas no método, justificam-se tal ocorrência, pois nesta fase são aplicadas as ferramentas que medem o desempenho dos processos, que permitem a visualização do estado atual dos mesmos para a definição das metas de aprimoramento (BREYFOGLE III) (McADAM; LAFFERTY, 2004). Todas as etapas do DMAIC são muito importantes. A etapa que mais se trabalha utilizando as ferramentas propostas é a fase “Medir”, pois é nesta fase que o levantamento e a descoberta dos problemas apontados pelo cliente aparecem. É a partir desta etapa que se consegue elaborar as ações necessárias para a solução do problema proposto.

De acordo com DAMBHARE (2013) o DMAIC fornece dados estatísticos de todas as ações que são realizada em um processo, desta maneira contribui com a ajuda de tomadas de decisão mais eficientes, se transformando em uma metodologia que orienta empresas a tomar decisões de qualidade e produtividade.

Conforme Albuquerque e Rocha (2006) é necessário que as empresas busquem pelo alinhamento entre a estratégia, os processos e as pessoas, como forma de atingir seus objetivos organizacionais.

Quando existe um programa de qualidade como o DMAIC o sucesso de uma implementação somente é obtido com planos de ações para a melhoria da qualidade e que seja seguido de forma ajustada a orientação estratégica que se deseja atingir (SANTOS; MARTINS, 2010) .

### **2.2.1 FASE DEFINIR**

A equipe do projeto iniciou a aplicação da metodologia DMAIC e estabelecida a distribuição de responsabilidades entre os participantes, um processo de entendimento sobre o problema deverá ser discutido até à sua perfeita compreensão por todos. Inclua-se, neste caso, que todos deverão estar completamente a par do significado e dos conceitos do DMAIC. Assim, deverá ficar muito claro quais são as necessidades e expectativas dos setores que esperam por melhorias. Deverão estar

claras quais as metas a serem atingidas e o cronograma que estabeleça prazos para desenvolvimento dos trabalhos. A equipe, depois de totalmente estruturada e capacitada, fica responsável por dar início ao projeto de melhoria.

### **2.2.2 FASE MEDIR**

De acordo com Lin *et al.* (2013), o objetivo desta fase é estabelecer técnicas para coleta de dados sobre o desempenho atual do setor em análise. Os dados a serem coletados devem levar à informações que realce as oportunidades de melhorias. À medida que o procedimento de mensuração evolui a equipe começa a entender o desafio que irá enfrentar e, graças às informações gradativamente conseguidas começa a perceber as oportunidades de melhoria. Aspectos do processo nunca antes percebidos aparecem de forma bastante clara, indicando a necessidade de retroalimentação que indiquem a necessidade de colher dados que não foram antes definidos como necessários para entendimento dos problemas existentes no processo.

Nesta etapa, a coleta de dados é essencial para validar e quantificar o problema e/ou a oportunidade, objetivando a definição de prioridades e a tomada de decisões sobre os critérios que são necessários (LIN *et al.* 2013).

### **2.2.3 FASE ANALISAR**

Nesta fase os dados levantados devem passar por um processamento para serem transformados em informações valiosas para a análise de todo o processo do setor em análise. As informações irão ser utilizadas para identificar os problemas existentes. Eventualmente, pode ocorrer a necessidade de levantamento de outros dados não inicialmente entendidos como importantes.

Trata-se da etapa em que é realizada a identificação das variáveis que afetam o processo, sendo necessário encontrar as causas do problema para se aprofundar nos detalhes, identificando a(s) sua(s) atividade(s) crítica(s) (LIN *et al.* 2013).

### **2.2.4 FASE MELHORAR**

Finalizada a análise das informações e identificados os problemas, a equipe precisa realizar ações que permitam corrigir tais problemas introduzindo, assim, as

melhorias desejadas. Os fatores que impactam no desempenho do processo são os geradores de ideias sobre como introduzir melhorias. Pode ser necessário efetuar projetos pilotos para, depois, implementar os procedimentos de melhorias, validando estes procedimentos e colocando-os em prática (LIN *et al.* 2013).

### **2.2.5 FASE CONTROLAR**

Podemos mencionar que processos que possuem sempre a mesma rotina, esta deixa de existir e como consequência começam a apresentar variações que podem prejudicar o resultado final. Quando da fase controlar necessita de planos e procedimentos robustos para monitorar e controlar as melhorias implementadas no processo e garantir as variações no processo, medindo, controlando e registrando regularmente as modificações realizadas no processo e quando necessário corrigindo (LIN *et al.* 2013).

## **2.3 PAPEIS E RESPONSABILIDADE DA EQUIPE**

Para a manutenção do sucesso do projeto é necessário a implementação de uma forma para controlar as melhorias de maneira sistêmica, com um plano de controle robusto e auditorias constantes. Dessa forma o sucesso do projeto é controlado através do trabalho padronizado, que garante que toda equipe trabalhe de forma padrão (MATOS, 2003). Nesta fase é recomendado a implementação do Controle Estatístico de Processo (CEP), relatórios de coletas de dados e histogramas que representam a posição atual do processo (SATOLO *et al.* 2009).

*Master Black Belt*: outra função típica de empresas de grande porte, é aquele que ajuda a inserir o seis sigma na organização; responsabiliza-se pela criação de mudanças na organização; entusiasmo e habilidades de relacionamento interpessoal e comunicação.

Deve estar motivado a alcançar resultados e ser agente de mudanças. Em sua posição é importante ter influência no setor em que atuam; ter habilidade para o trabalho em equipe, pois são por meio destas que os projetos se realizarão.

Além disso, são eles quem treinam os “*green belts*” (faixa verde) e os orientam na condução dos grupos.

*Green Belt*: são normalmente selecionados entre a média chefia da organização e executam o seis sigma como parte de suas atividades diárias e tem duas tarefas principais: auxiliar os “*black belts*” (faixa preta) na coleta de dados e no desenvolvimento de experimentos e liderar pequenos projetos de melhoria em sua área de atuação. O quadro 1 apresenta as funções e responsabilidade de cada integrante da metodologia seis sigma.

**Quadro 1 - Papéis da equipe seis sigma.**

Executivo Líder	É o principal executivo da empresa. Responsável pela implantação do Seis Sigma. Essa pessoa deve ter total comprometimento, pois ele é indispensável para o sucesso da implantação da estratégia de melhoria. Deve conduzir, incentivar e supervisionar as iniciativas do programa Seis Sigma em toda a empresa.
Champions	Deve liderar os executivos-chave da organização rumo ao programa Seis Sigma. É responsável por organizar e guiar o começo, o desdobramento e a implementação do Seis Sigma em toda a organização.
Master Black Belts	Ajuda o campeão na tarefa de implantar o Seis Sigma na organização. Também ajuda o campeão na escolha e no treinamento de novos projetos de melhoria, oferecendo liderança técnica no preparo dos profissionais de Seis Sigma, treinando e instruindo os Black Belts e os Green Belts. Dedicam 100% do tempo às atividades relacionadas ao programa Seis Sigma.
Black Belts	Os Black Belts dedicam 100% do tempo aos projetos Seis Sigma, assim como os Master Black Belts, recebendo treinamento intensivo em técnicas estatísticas e de solução de problemas. Lideram equipes na condução dos projetos e são capazes de treinar até 100 Green Belts ao ano.
Green Belts	Ficam parcialmente envolvidos com as atividades Seis Sigma. Esses profissionais possuem duas tarefas principais: 1. Auxiliar aos Black Belts na coleta de dados e no desenvolvimento de experimentos; 2. Liderar pequenos projetos de melhoria nas suas respectivas áreas de atuação.
Yellow Belts	Participam como membros das equipes de projeto supervisionando a utilização das ferramentas Seis Sigma na rotina da empresa e executam projetos mais focados e de desenvolvimento mais rápido que os executados pelos Green Belts.
White Belts	Não faz parte de uma equipe de projeto. São do nível operacional. Dão suporte aos Black Belts, Green Belts e Yellow Belts na implementação dos projetos. São executores de ações, garantindo que os resultados alcançados sejam mantidos no longo prazo, na operação da rotina da empresa.

Fonte: Adaptação (de WERKEMA, 2008)

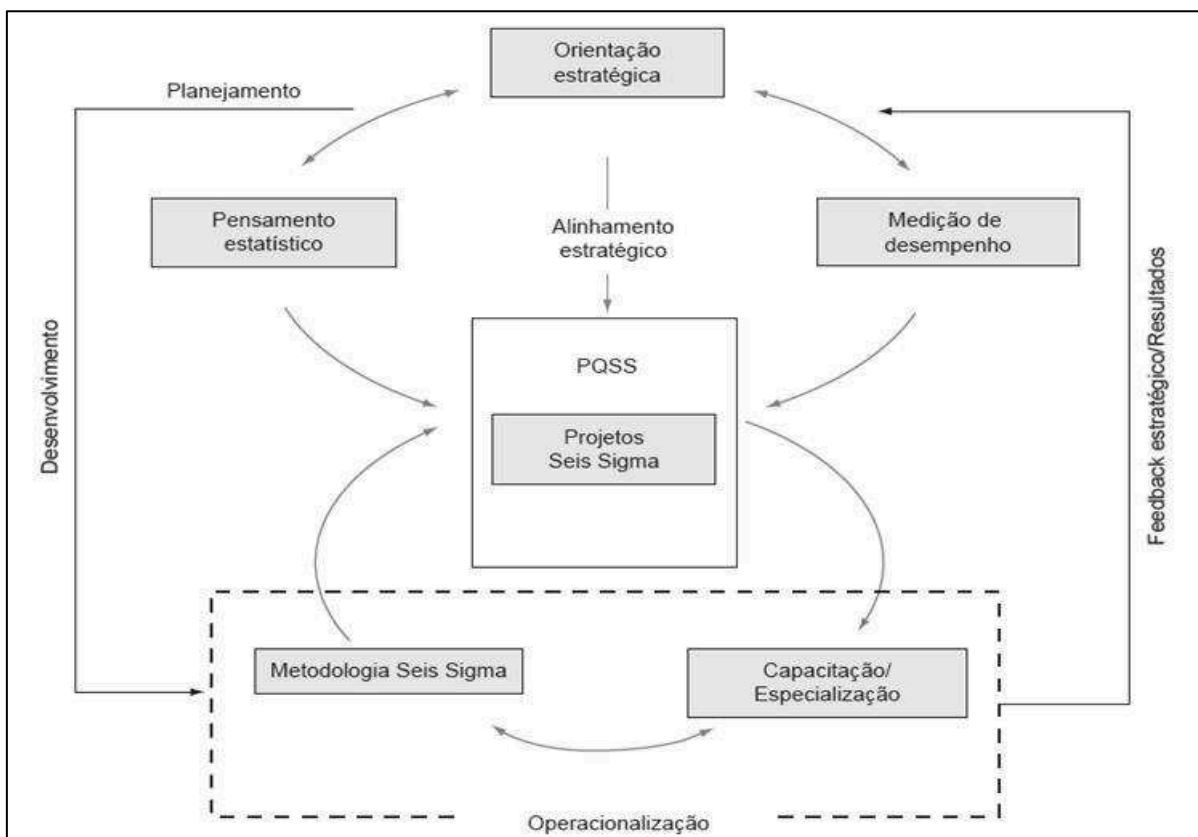
## 2.4 SEIS SIGMA MODELO DE REFERÊNCIA PARA ESTRATÉGIA DAS EMPRESAS

O gerenciamento por projetos é uma peculiaridade observada no seis sigma que trouxe mais foco para as atividades e que possibilitou um maior comprometimento das pessoas.

Esta forma de gerenciamento é um dos pontos fortes do seis sigma pelo fato de os projetos seis sigma serem formalizados por meio de um contrato interno formal celebrado entre membros de uma equipe de pessoas composta por profissionais de níveis hierárquicos e funções diferenciadas.

A Figura 4 ilustra a estrutura do modelo de modo que o seis sigma seja considerado um programa amplo, que expressa o modo e o plano traçado pela organização para atingir seus objetivos estratégicos e operacionais de melhoria da qualidade e de aumento de potencial competitivo, por meio da maior satisfação dos clientes.

**Figura 4 - Esquema da estrutura do Modelo de Referência.**



Fonte: SANTOS, 2008

No âmbito do modelo de referência, os projetos seis sigma são originados nas prioridades estabelecidas pela alta administração, portanto, fornecem indicativos de que a implementação do programa seis sigma é direcionado pelos objetivos e metas estratégicas. Além disso, a definição destes projetos obedece a um direcionamento pré-estabelecido na estratégia de desdobramento do seis sigma adotado pela organização. Isto fica mais evidente à medida que o escopo dos projetos é elaborado e detalhado.

Outro ponto relevante implícito na concepção do modelo é que ele absorve aspectos relativos ao impacto da orientação estratégica sob a gestão da qualidade total (RODRIGUES, 2011).

A medição de desempenho é um tópico inserido nas diversas iniciativas de melhoria que foram adotadas pelas organizações nas últimas décadas, mais especificamente com respeito aos parâmetros relativos à qualidade, custo e tempo de ciclo. Com o seis sigma esse assunto se tornou ainda mais essencial para as organizações medirem seus resultados de desempenho. Pelo fato de ser uma abordagem dirigida para a medição e a tomada de decisão baseada em dados e fatos, o seis sigma vem contribuindo para o aprimoramento da medição de desempenho, tornando-a um pré-requisito para a melhoria contínua dos processos e para a implementação da estratégia competitiva.

De fato, a essência da melhoria contínua está no conhecimento que a organização tem sobre o que é necessário melhorar, bem como sobre os indicadores financeiros e não financeiros que refletem o desempenho organizacional (MERGULHÃO; et al., 2014).

Para isso, é preciso identificar “onde” e “por que” o desempenho de momento não é satisfatório, para que então os indicadores de desempenho e o suporte necessário no que diz respeito ao direcionamento das ações de melhoria.

Swink e Jacobs (2012) fornecem uma amostra das vantagens do seis sigma em relação aos outros programas de qualidade já a mais tempo difundidos na literatura, ao conseguirem resultados práticos relevantes sobre os efeitos positivos do seis sigma, quando comparado a outras iniciativas de melhoria, como: gestão da qualidade total; programa de gestão do desempenho; manutenção produtiva total;

entre outras. Por meio de um estudo de caso, os autores mostram que o seis sigma e o programa de gestão do desempenho são as iniciativas que mais contribuem para o alinhamento da medição de desempenho com a estratégia.

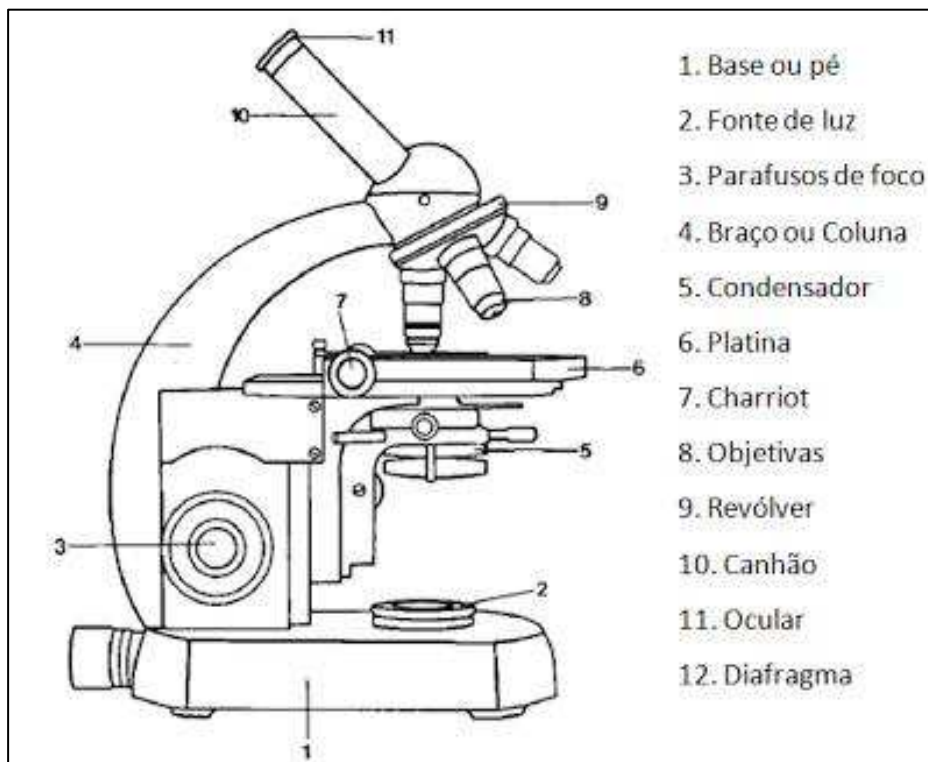
Atualmente existe um sólido corpo de pesquisa científica sobre as experiências de milhares de empresas que implementaram grandes programas de qualidade como o seis sigma.

## **2.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)**

O microscópio eletrônico de varredura (MEV), é geralmente utilizado para observações de amostras espessas, ou seja, basicamente não transparentes a elétrons. A razão principal de sua utilização, está associada à alta resolução que pode ser atingida, atualmente, da ordem de 3,0nm (nanomêtro), e a profundidade de foco, da ordem de 300 vezes maior que a do melhor microscópio óptico, resultando em imagens com aparência tridimensional. Informações topográficas são obtidas, utilizando-se elétrons de baixa energia, da ordem de 50 eV, e informações sobre número atômico ou orientação, são obtidas, utilizando-se elétrons de alta energia. O canhão de elétrons opera tipicamente em uma faixa de tensão entre 0 e 50 kV, dependendo do tipo de instrumento e aplicação, onde a amostra é mantida sob potencial terra. O microscópio é um sistema em forma de sonda, onde cada lente condensa diferencialmente o feixe de elétrons, focando um ponto na superfície da amostra, todo dentro da coluna, sob vácuo. Para aumentar a resolução pode-se utilizar uma radiação com comprimento de onda menor que a luz visível como fonte de iluminação do objeto. Além disso, a profundidade de campo é inversamente proporcional aos aumentos, sendo necessário, então, um polimento perfeito da superfície a ser observada, o que às vezes é incompatível com a observação desejada (SIDNEI, 2000).

Um microscópio eletrônico de varredura (MEV) utiliza um feixe de elétrons no lugar de fótons utilizados em um microscópio óptico convencional, o que permite solucionar o problema de resolução relacionado com a fonte de luz branca. A Figura 5 mostra os componentes que constituem um microscópio óptico convencional.

**Figura 5: Esquema de Microscópio óptico**

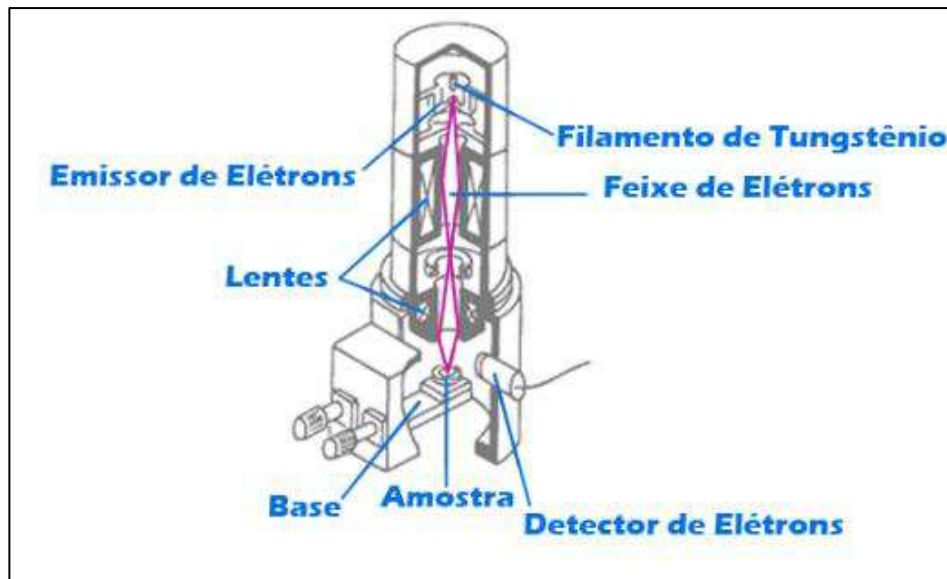


Fonte: MARCELO, 2011

Referente ao MEV a parte positiva em relação ao filamento do microscópio (eletrodo positivo) atrai fortemente os elétrons gerados, resultando numa aceleração em direção ao eletrodo positivo. A correção do percurso dos feixes é realizada pelas lentes condensadoras que alinham os feixes em direção à abertura da objetiva. A lente ajusta o foco dos feixes de elétrons antes dos elétrons atingirem a amostra analisada. O MEV é um aparelho que pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida. Sua utilização é comum em biologia, odontologia, farmácia, engenharia, química, metalurgia, física, medicina e geologia. O MEV é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características microestruturais de objetos sólidos. Outra característica importante do MEV é a aparência tridimensional da imagem das amostras, resultado direto da grande profundidade de campo. A Figura 6 mostra um desenho esquemático do MEV convencional no qual é constituído de uma coluna óptico-eletrônica adaptada a uma câmara com porta-amostra aterrado, sistema eletrônico, detectores e sistema de vácuo.



Figura 6: Desenho esquemático dos componentes básicos do MEV



Fonte: Imagem ilustrativa da Internet.

<http://www.degeo.ufop.br/laboratorios/microlab/mev.htm>

A Figura 7 mostra uma imagem ilustrativa de um equipamento MEV real.

Figura 7: Imagem real de um Microscópio Eletrônico de Varredura.



Fonte: Imagem ilustrativa da Internet.

<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/assessorias/ascom/noticias/acervo/microscopio-eletronico-de-varredura>

## 2.6 ESPECTROMETRIA DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS)

A técnica de EDS considera o princípio de que a energia de um fóton ( $E$ ) está relacionada com a frequência eletromagnética ( $\nu$ ) pela relação  $E = h\nu$ , onde “ $h$ ” é a constante de Planck. Fótons com energias correspondentes a todo espectro de raios-X atingem o detector de raios-X quase que simultaneamente, e o processo de medida é rápido, o que permite analisar os comprimentos de onda de modo simultâneo. Na configuração de um microscópio eletrônico podem-se acoplar os dois detectores de raios-X (EDS e WDS), que permitem coletar fótons produzidos pelo feixe de elétrons primários. A zona analisada será, portanto, aquela que é percorrida pelo feixe.

Se estivermos trabalhando no modo de varredura (formação de uma imagem), então a análise será de toda a superfície da imagem. É possível, também, parar a varredura e analisar em um ponto, área ou linha selecionada na imagem (KESTEMNBACH; BOTA FILHO, 1994).

O uso em conjunto do EDS com o MEV é de grande importância na caracterização petrográfica e estudo petrológico nas geociências. Enquanto o MEV proporciona nítidas imagens (ainda que virtuais, pois o que se vê no monitor do computador é a transcodificação da energia emitida pelas partículas, ao invés da radiação emitida pela luz, ao qual estamos habitualmente acostumados), o EDX permite sua imediata identificação. Além da identificação mineral, o equipamento ainda permite o mapeamento da distribuição de elementos químicos por minerais, gerando mapas composicionais de elementos desejados.

## 2.7 ANÁLISE DE POLIMERO UTILIZANDO MEV/EDS

A Microscopia eletrônica tem sido uma ferramenta de trabalho utilizada pelos pesquisadores em várias áreas de concentração, uma vez que ela abrange um conjunto de técnicas que possibilitam a caracterização da morfologia do material, composição química e determinação da estrutura atômica, tanto de metais como de cerâmicas e polímeros.

A utilização de Microscopia Eletrônica de Varredura vai depender do objetivo de cada observação. A possibilidade de caracterização da microestrutura pode ser realizada em uma escala de dimensões variando de alguns milímetros a frações nanométricas. O MEV é usado para estudar as superfícies dos materiais poliméricos tais como, plásticos, filmes, membranas, fibras e compósitos.

Nas pesquisas envolvendo materiais poliméricos, alguns parâmetros devem ser obedecidos para a obtenção de bons resultados. O mais importante seria a preparação da amostra, que estaria relacionada diretamente com a qualidade das análises. Durante a preparação de amostras polidas, as operações de corte, lixamento e polimento podem produzir artefatos. Durante o corte pode ocorrer a formação de microtrincas, que são muitas vezes interpretadas como cavidades ou fratura na amostra. Para eliminar os efeitos de trincas ou fissuras, as amostras podem ser desbastadas através de vários cortes em disco abrasivo e quando estiverem próximas da região de interesse as amostras devem ser cuidadosamente seccionadas com uma navalha circular de diamante sob refrigeração constante com água.

A velocidade de corte para cada material deve ser testada, pois este é um importante parâmetro para evitar tensões residuais no momento do corte. A limpeza do material em banho ultra-sônico, após o corte do material, é um importante estágio para remover partículas que podem interferir no polimento da amostra (PATRICIA, 2010).

## **2.8 POLIAMIDA PA66 30% - GF**

O material analisado foi um PA66 GF 30% Resina Virgem de alta Qualidade, boa resistência mecânica e desempenho anti-calor. Amplamente utilizado em aparelhos eletrônicos, automóveis, equipamentos têxteis, transporte e outros campos. Tais como caixas de ferramenta, conectores, interruptores, ventiladores entre outros. (PATRICIA, 2010).

### 3 METODOLOGIA

Esse trabalho classifica-se como estudo de caso com abordagem qualitativa, visando representar as empresas no setor automobilístico especificamente fornecedores de autopeças que demonstram dificuldades nas análises dos problemas e na validação da causa raiz.

O estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa automobilística. A empresa possui processos de usinagens há mais de 30 anos, sempre tendo como principais peças o bloco do motor (ferro fundido), virabrequim (material forjado) e cabeçotes, sendo estes últimos fabricados em liga de alumínio.

As plantas clientes são:

- Planta Ford, São Bernardo do Campo, SP Brasil.
- Planta Ford Nordeste, Camaçari, BA Brasil.
- Planta Ford Pacheco, Pacheco, Argentina.
- Planta Ford Andina, Valencia, Venezuela.
- Planta Ford Cuatlitan, Cidade do México, México.

Ramo de Atividade:

- Automobilístico (Fundição, Usinagem e Montagem).

Área Física Total e Área Construída:

- Área do Terreno = 1.037.246.00 m
- Área Ocupada = 141.461.97 m<sup>2</sup>
- Área Construída = 135.400.00 m<sup>2</sup>
- Área de Estacionamento = 48.348.00 m<sup>2</sup>

Número Total de empregados:

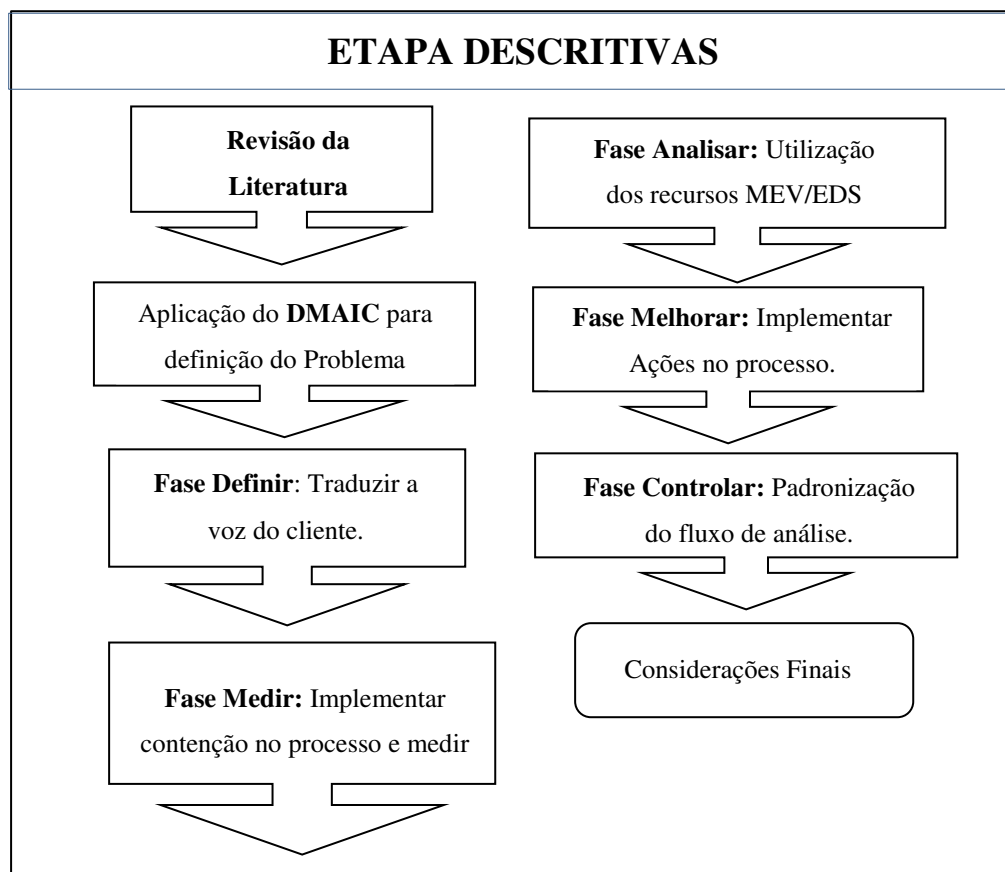
- Nº de funcionários: 1130
- Estagiários: 11

Atualmente, apesar da empresa já estar aplicando a metodologia DMAIC em suas questões de qualidade e produtividade, tal prática ainda não se aplicava aos seus fornecedores, como, por exemplo, a empresa que fornece o componente: *oil filter crankcase*, chamado de “Pescador de óleo”.

### 3.1 METODOS DE ABORDAGEM UTILIZADOS NESTE TRABALHO

Para propor um fluxo de análise ideal para o problema, de modo a solucionar a reclamação do cliente final, foram realizadas as seguintes etapas, conforme Figura 8:

Figura 8 – Etapas do Trabalho



Fonte: Elaborado pelo Autor

A primeira ação promovida pela equipe de investigação do problema, foi seguir rigorosamente a sequência do DMAIC;

Na fase Definir delimitou-se na análise de um veículo que teve o motor completo substituído na garantia, retornando para concessionária com 65km e 3 meses em serviço após a venda do veículo. A reclamação do cliente foi motor travado, consultou-se o técnico da concessionária via sistema interno de garantia e verificou-se que o motor estava travado no qual o veículo chegou a concessionária guinchado.

Na fase Medir foi utilizado um microscópio convencional para medição da partícula que travou a válvula de retorno da bomba de óleo e conseqüentemente diminuiu o fluxo de óleo para parte superior do motor que apresentou desgaste e travamento nos mancais.

Na fase Analisar foi comparado o material da partícula com os componentes plásticos do motor, objetivo foi avaliar a compatibilidade dos materiais para trabalhar na causa raiz.

Na fase Melhorar foi implementado ações no processo de injeção plástica do componente causal para eliminar a condição de recorrências.

Na fase Controlar foram revisados documentos do processo e elaborado manutenção preventiva do equipamento.

## 4 RESULTADO E DISCUSSÕES

### 4.1 FASE DEFINIR

O resultado da fase definir foi identificação da reclamação do cliente, motor travado, na causa pelo qual o motor apresentou este efeito. Desmontou-se o motor e foi verificado que os mancais do eixo de comando estavam danificados devido a falta de lubrificação de óleo na parte superior do motor. A Figura 9 mostra a região de desgaste nos mancais centrais do eixo de comando.

**Figura 9 – Desgaste nos mancais centrais.**



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 10 mostra a vista superior do desgaste nos mancais do eixo de comando.

**Figura 10 – Vista superior do desgaste nos mancais do eixo de comando.**



**Fonte: Elaborado pelo Autor**

E a Figura 11 mostra o desgaste no mancal 3 do eixo de comando.

**Figura 11 – Desgaste no mancal 3 do eixo do comando.**



**Fonte: Elaborado pelo Autor**



Na etapa 2, ainda da fase definir, foi desmontada a parte inferior do motor para identificar uma possível obstrução nos canais de passagem de lubrificação de óleo no motor, verificou-se que a bomba de óleo estava com a válvula de retorno travada conforme indicado na Figura 12.

**Figura 12 – Bomba de óleo com válvula de retorno travada.**



**Fonte: Elaborado pelo Autor**

Nesta fase definiu-se, então, o problema que resultou na troca do motor completo no campo, sendo a bomba de óleo com a válvula de retorno travada, consequentemente, diminuindo o fluxo de lubrificação da parte superior do Motor, no qual resultou no desgaste devido ao atrito mecânico das peças e posterior travamento do mesmo “reclamação inicial do cliente”.

#### **4.2 FASE MEDIR**

Nesta fase a bomba de óleo foi desmontada para dimensionar o tamanho da partícula que gerou o travamento da válvula de retorno do óleo. A Figura 13 mostra a

dimensão da partícula que ficou alojada na válvula de retorno da bomba de óleo resultando na obstrução da passagem do óleo para parte superior do motor.

**Figura 13 – Dimensionamento da partícula. (Utilizando Microscópio óptico)**



**Fonte: Elaborado pelo Autor**

Com a análise no microscópio óptico ampliado 50 vezes foi possível constatar que tratava-se de um material plástico preto que possuía dimensão de 3 mm de largura.

A equipe de investigação do problema reuniu-se para implementar uma contenção no processo com as informações levantadas para proteger o cliente conforme a metodologia DMAIC determina. Iniciou-se a inspeção visual quanto a contaminação, rebarbas e partículas nos componentes plásticos montados no motor do veículo.

### 4.3 FASE ANALISAR

Novamente a equipe do projeto seis sigma reuniu-se para definir o método para caracterizar o problema, visto que as empresas devem buscar os melhores recursos para análise de problemas do cliente final, buscou-se os recursos de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) para caracterizar a partícula que travou a válvula de retorno da bomba de óleo do Motor do veículo. Nesta fase do DMAIC enviou-se o componente “pescador de óleo” e a partícula de 3mm para análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), o objetivo era comparar os materiais e verificar a compatibilidade. A Figura 14, mostra o componente “pescador de óleo” número da peça: 98MM 6K621 C7D;

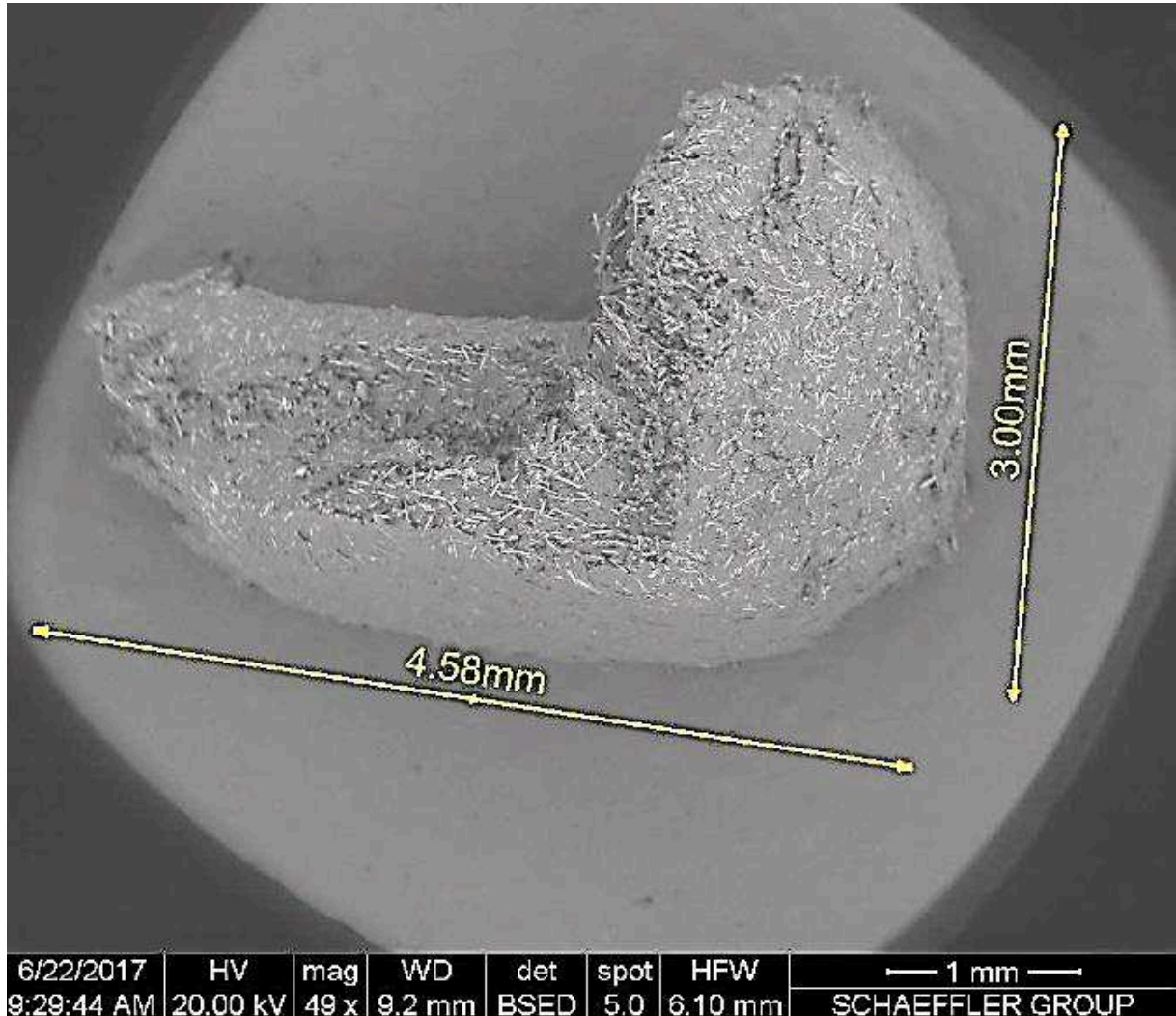
**Figura 14 – Componente “pescador de óleo”**



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 15 mostra a imagem da partícula em 3D capturada através do microscópio eletrônico de varredura (MEV).

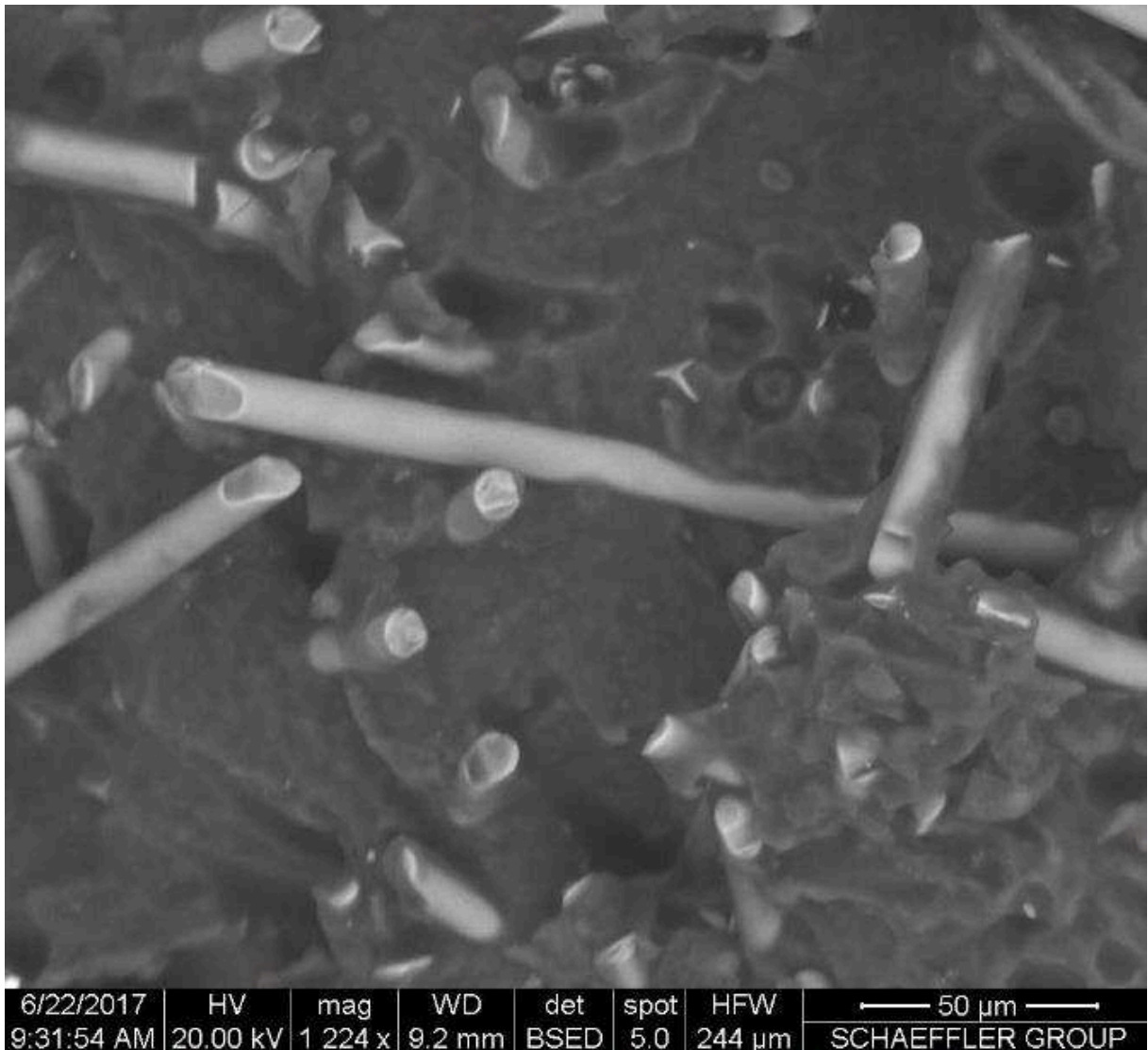
Figura 15 – Análise da partícula de 3 mm utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 16 mostra em detalhe as fibras de vidro existentes no composto da partícula analisada.

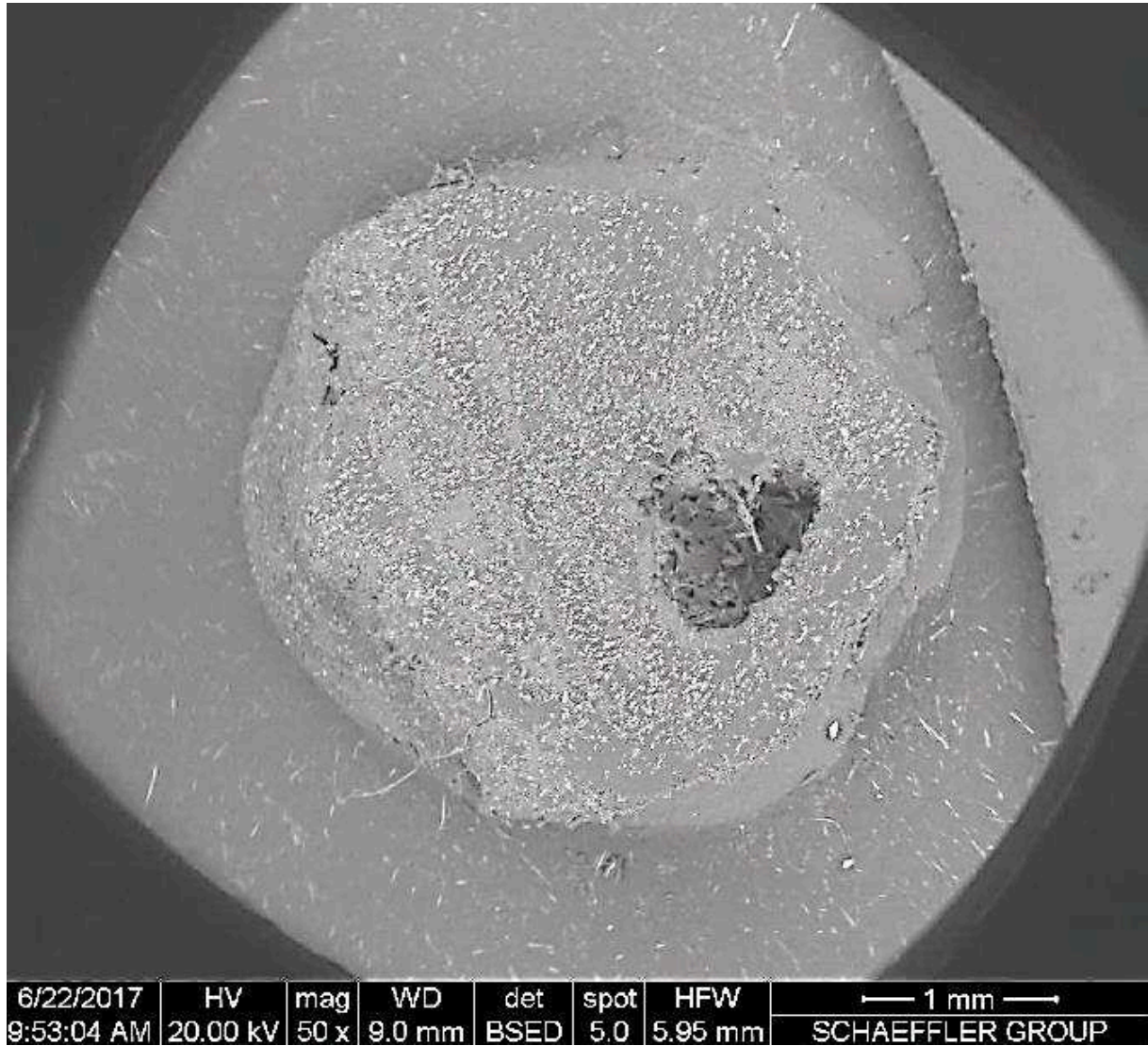
**Figura 16 – Evidência de fibras de vidro na partícula de 3mm – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).**



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 17 mostra uma imagem em 3D do “pescador de óleo” capturada pelo equipamento MEV.

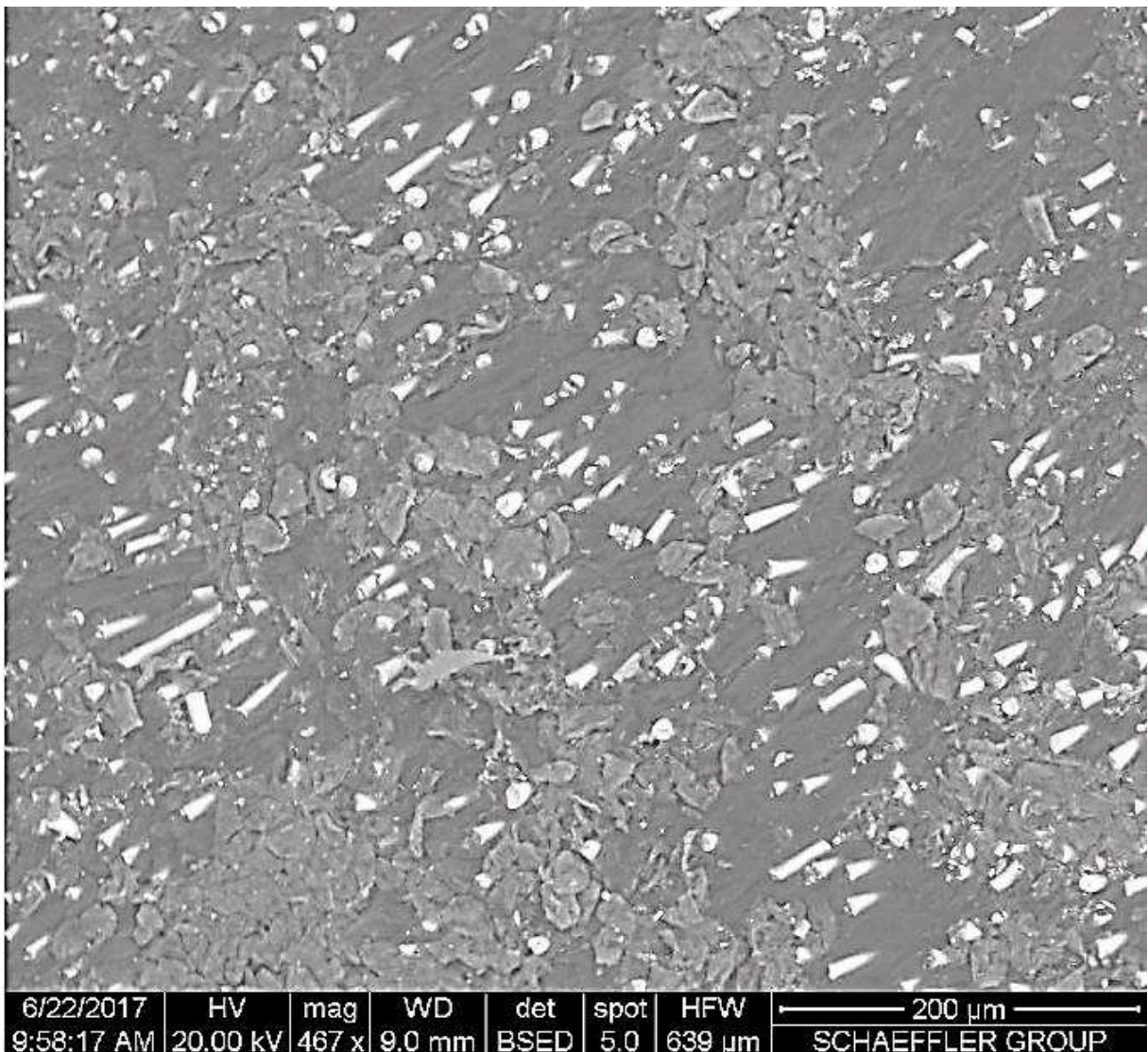
Figura 17 – Análise do componente utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 18 mostra no detalhe fibras de vidro no composto do componente “pescador de óleo” do motor.

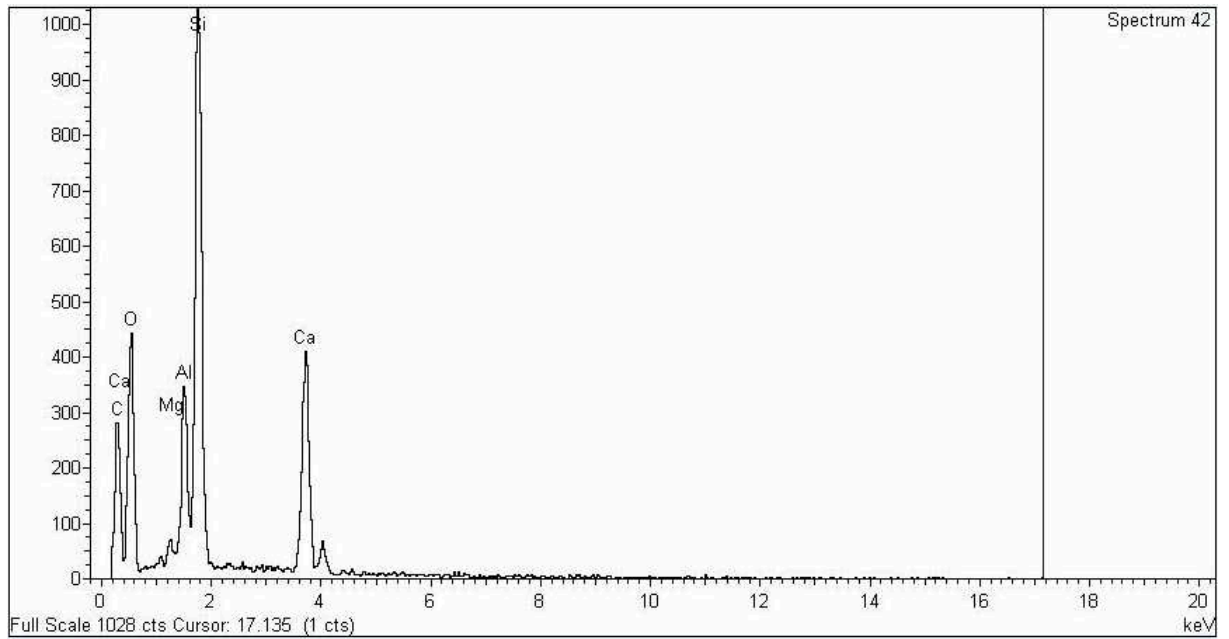
Figura 18 – Evidência de fibras de vidro no componente – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).



Fonte: Elaborado pelo Autor

O gráfico 2 mostra a composição química da partícula analisada, utilizando o equipamento EDS (Espectroscopia por Energia Dispersiva):

**Gráfico 1 – Composição químicas da partícula - Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)**

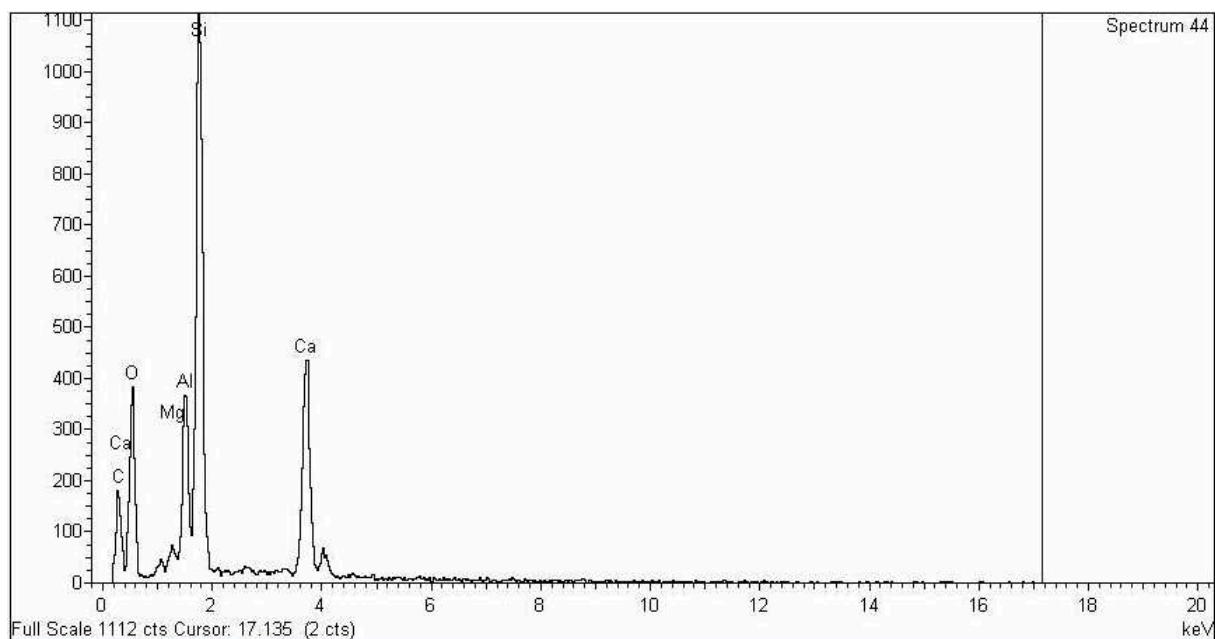


Fonte: Elaborado pelo Autor



O gráfico 3 mostra a composição química do componente “pescador de óleo”, utilizando o equipamento EDS (Espectroscopia por Energia Dispersiva):

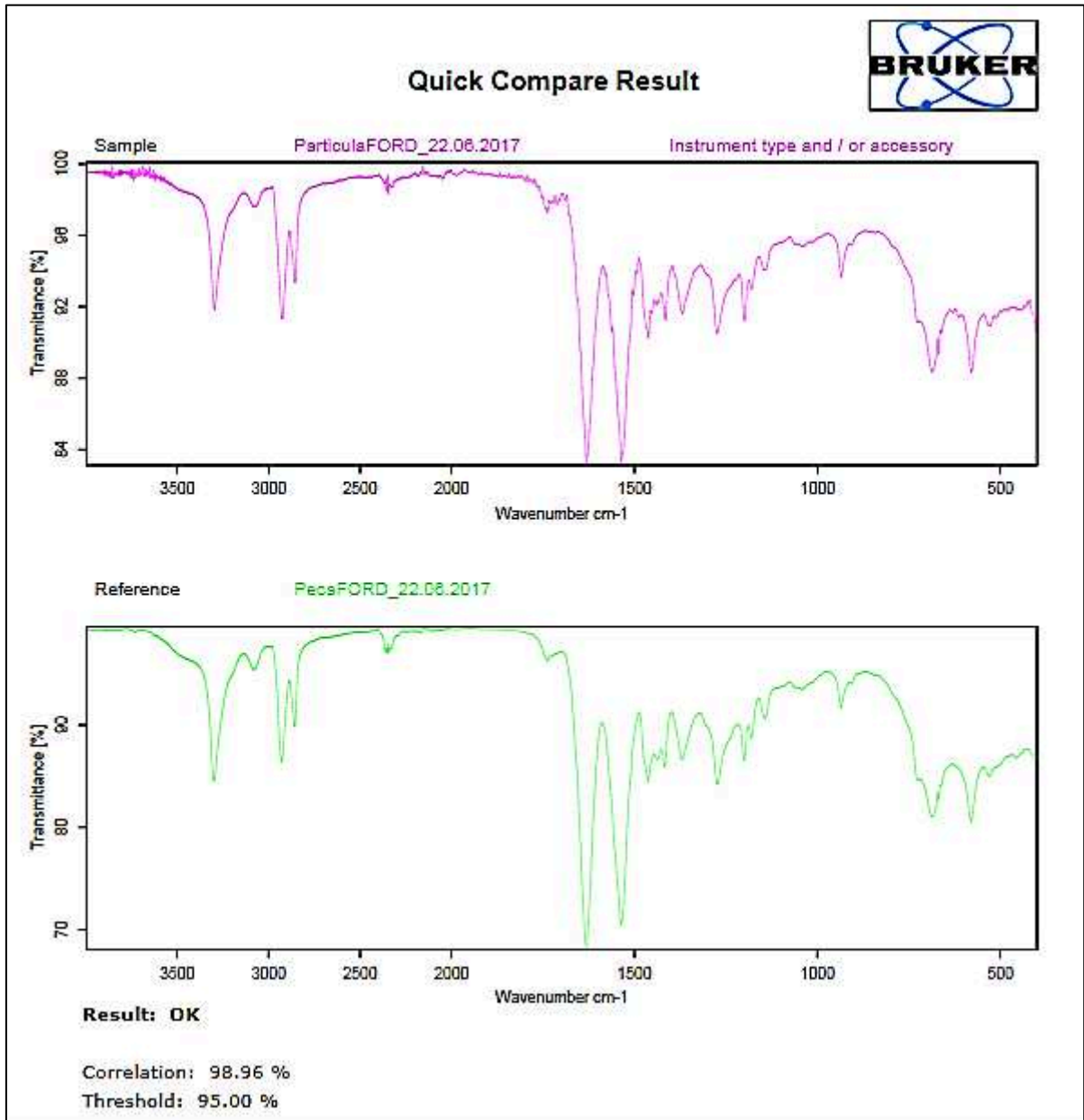
**Gráfico 3 – Composição química do componente - Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)**



**Fonte: Elaborado pelo Autor**

A utilização das imagens eletrônicas de MEV, associados a dados semi-quantitativos de EDS, possibilitou identificar a compatibilidade de ambos materiais analisados, sendo que nas Figuras 15 e 17 as imagens em 3D demonstram similaridades entre os materiais. As figuras 16 e 18 apresentam fibras de vibro na composição e com os gráficos 2 e 3 gerados através do EDS tem-se o resultado de composição químicas idênticas. O Gráfico 4 demonstra a compatibilidade de 98% entre a partícula que travou a válvula de retorno da bomba de óleo com o material do “pescador de óleo”, sendo ambos Poliamida PA66 GF 30%, com isso validou-se a compatibilidade entre os materiais analisados.

Gráfico 4 – Análise comparativa do composto PA6630 (Polímero termoplástico).



Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4.4 FASE MELHORAR

Nesta fase serão implementadas as ações de melhoria para mitigar a causa do problema, conforme análise da fase anterior, trata-se de uma partícula do “pescador de óleo”, sendo assim, a equipe propôs uma revisão de processo no fornecedor do “pescador de óleo”. Identificou-se um ponto de injeção na peça “pescador de óleo” que após a injeção no ferramental, o operador removia com alicate podendo alojar-se no interior do tubo da peça. A Figura 19 mostra o ponto de injeção que ficava na peça após a fabricação.

**Figura 19 – Ponto de injeção plástica na peça.**



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 20 mostra o operador com um alicate retirando o ponto de injeção plástica para evitar contaminação no sistema do motor.

**Figura 20 – Processo de remoção do ponto de injeção plástica.**



**Fonte: Elaborado pelo Autor**

Devido ao risco de qualidade existente na operação de remoção deste ponto de extração, eliminou-se a condição de rebarba nesta região da peça. Implementando ações de revisão no fechamento do ferramental e na manutenção preventiva da máquina.

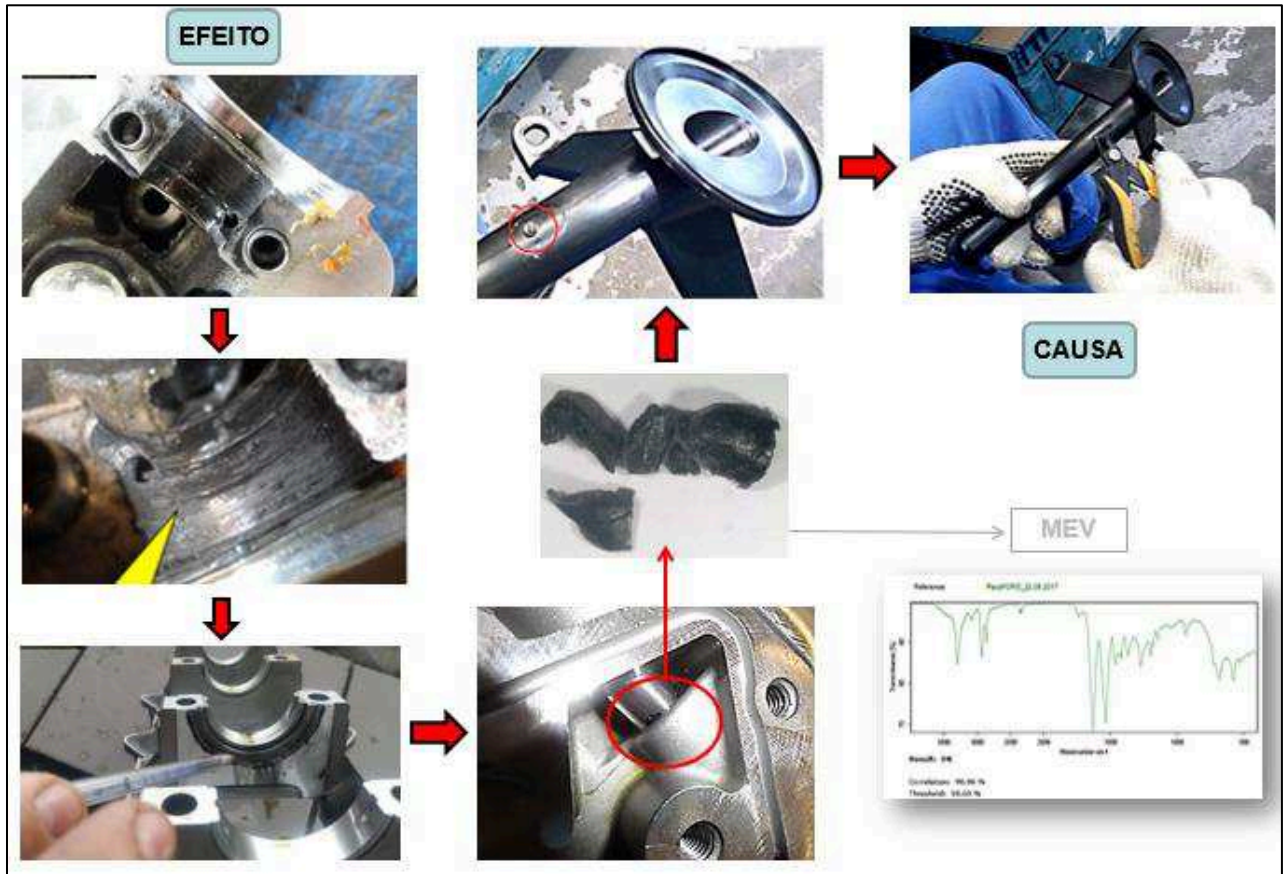
#### **4.5 FASE CONTROLAR**

Nesta fase revisou-se os procedimentos e instruções de trabalho para eliminar a condição de recorrência do modo de falha. Elaborou-se fluxo de análise para as peças retornadas em garantia com objetivo de criar um padrão de caracterização do problema e conseqüentemente sanar a reclamação do cliente final.

Neste fluxo detalhou-se as fases do DMAIC para abordagem e solução de problema buscando contribuir para o entendimento da causa.

A Figura 21 apresenta o fluxo de análise do modo de falha no motor do efeito até a causa, no fornecedor e com isso obteve-se o resultado esperado em validar a causa do problema e entender a reclamação do cliente.

Figura 21 – Fluxo de análise do modo de falha .



Fonte: Elaborado pelo Autor

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa avaliou a aplicação da metodologia seis sigma com a prática das fases do DMAIC por meio da avaliação de um estudo de caso no qual houve a caracterização do problema para identificar a causa raiz e validação. Constatou-se que o método de implantação do seis sigma é bastante versátil, pois pode ser aplicado com sucesso e aliado a recursos de análise como a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) pode-se obter a excelência na resolução de problemas devido a caracterização do defeito.

As empresas que buscam a excelência na Gestão da Qualidade devem traduzir a reclamação do cliente, caracterizar o problema utilizando os recursos corretos de análise e com isso solucionar o problema. A dissertação teve êxito no trabalho em equipe aplicando o DMAIC para caracterizar um problema de garantia.

Durante a pesquisa verificou-se a importância que este programa de qualidade tem para as empresas, principalmente em relação a sua estratégia de negócio utilizando a metodologia DMAIC para atingir as metas traçadas e alcançar os objetivos propostos.

Portanto, há oportunidades de exploração e aplicação desta metodologia em diferentes áreas de atuações que devem ser pesquisadas para trabalhos futuros com o intuito de agregar conhecimento.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, I. R.; MACHADO, S. A.; MARTINS, A. K. L. **Programa Seis Sigma: estratégia para melhoria da gestão hospitalar**, RAS \_Vol. 13, No 50– Jan, 2011.
- AMADO, R. F.; ROZENFELD, H. **Análise do método DMAIC do modelo Seis-Sigma**, XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 de Novembro de 2006.
- ANDRIETTA, M. J. M. **Benchmarking Six Sigma application in Brazil: Best practices in the use of the methodology**. (Bradford) Ed.16: p. 124-134, 2009.
- ARIENTE, M.; CASADEI, M. A.; GIULIANI, A. C.; SPERS, E. E. **Processo de mudança organizacional: estudo de caso do Seis Sigma**. Rev. FAE, Curitiba, v.8, n.1, p.81-92, jan./jun. 2005.
- ALBUQUERQUE, A.; ROCHA, P. **Sincronismo organizacional: como alinhar a estratégia, os processos e as pessoas**. São Paulo, v.12, ed. Saraiva, 2006.
- ANTONY, J.; BANUELAS, R. **Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program**: Measuring Business Excellence, v. 6, n.4, p. 20-27, 2002.
- BREYFOGLE III F. W.; CUPELLO J. M.; MEADOWS, B. **Managing Six Sigma:a practical guide to understanding, assessing, and implementing the strategy that yields bottom-line success**. New York: John Wiley e Sons, Inc., 2001.
- CABRERA, J. **Dificuldades de implementação de programas Seis Sigma: estudos de casos em empresas com diferentes níveis de maturidade**. Alvaro Escola de Engenharia de São Carlos São Carlos, 2006
- CAMPOS, M. S; **Seis Sigma: em busca do padrão Seis Sigma**. Disponível em: <[http://www.companyweb.com.br/lista\\_artigos.cfm?id\\_artigo=69](http://www.companyweb.com.br/lista_artigos.cfm?id_artigo=69)>. Acesso em: 18 JUL. 2017
- CARVALHO, M. M. **Seleção de projetos Seis Sigma**. In: ROTONDARO, R. G.(Org.) **Seis Sigma: estratégia gerencial para melhoria do processo, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.
- CASTRO, P. R. A. **O que é exatamente o Gerenciamento de Ferramentas**. Revista Máquinas e Metais, Aranda Editora, p.108-110, mar. 2004.
- DAMBHARE, SUNIL. **Productivity Improvement of a Special Purpose Machine Using DMAIC**. Principles: A Case Study Journal of Quality and Reliability Engineering, 2013.
- DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, E. **Microscopia Eletronica de Varredura, Aplicações e preparação de amostras**. (ISBN: 978-85-7430-70), Ed.: EDIPUCRS, 2007.
- DEFEO, J. A. **“Seis Sigma: O mapa para o caminho da sobrevivência”**, Juran Institute, Disponível em: <[www.minitabbrasil.com.br](http://www.minitabbrasil.com.br)>, Acesso em: julho/2017.

GARCIA, M. V. R.; SILVA, M. F. C.; RIBEIRO, J. A. J.; ARANTES, J. F. R. **Uma Aplicação da Metodologia Seis Sigma em um Processo**. ETEP Faculdades SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. 2008.

GIROTO M. Rebelato. **Seis Sigma: uma metodologia inovadora ou uma nova embalagem para a Melhoria Contínua?** (UNESP, SP, Brasil), 2009.

IMAGEM,INTERNET, Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/assessorias/ascom/noticias/acervo/microscopio-eletronico-de-varredura>>. (consulta: julho/2017).

IMAGEM,INTERNET, Disponível em: <http://www.degep.vfop.br/laboratorios/microlab/mev.htm>>. (consulta: julho/2017).

KARASU, M. K.; CAKMAKCI, M.; CAKIROGLU, M. B.; AYYA, E.; DEMIREL-ORTABAS, N. D. **Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production. Measurement**, v. 47, p. 741-748, 2014.

KESSLER, R. A. **implantação do Seis Sigma em organizações: motivações de escolha e resultados obtidos**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2004.

KESTEMNBACH H.; BOTA FILHO W. J. **Microscopia Eletrônica de Transição e Varredura**. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1994.

Lin C, Chen F. F.; Wan H. -d, Chen Y. M. and Kuriger G. **Continuous improvement of knowledge management systems using Six Sigma methodology Robotics and Computer- Integrated Manufacturing**. v. 29, p. 95-103. 2013.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MARCELO, M. Disponível em: <<http://vida-microscopica.blogspot.com/2011/11/microscopio-optico-e-eletronico.html>> Nov/2011. Acesso em: julho/2017.

MATOS, J. L. **Implementação de um projeto de melhorias em um processo de reação química em batelada utilizando o método DMAIC**. Dissertação (Mestrado). UFRGS, 2003.

MERGULHÃO, R. C. ;CORRÊA, O. G.;ROSSETTI, N.; MEIRELLES, J. G. F.; SSILVA, B. B. – **Investigação do Seis Sigma na redução do tempo de setup: uma pesquisa empírica em uma empresa do setor de polímeros**. Produto & Produção, vol. 15, n. 3, p. 33-45, out. 2014

MCADAM, R.; LAFFERTY, B. **A multilevel case study critique of six sigma: statistical control or strategic change?** International Journal of Operations e Production Management, v. 24 iss. 5, pp.530 – 549, 2004.



- PATRICIA, P. Caracterização de membranas de poliamida 66 preparadas pelo método de inversão de fases. Artigo Mestrado. Abril,2010
- PEREZ, M. W M. **Seis Sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios**. Rio de Janeiro: Qualitymark; 2000.
- RODRIGUES, A. **Six Sigma program: strategy to improvement of the hospital administration RAS** \_ Vol. 13, No 50 – Jan-Mar, 2011
- ROTANDARO, R. G., 2002. “**Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**”. Ed. Atlas. 2012
- SANTOS B. A **Modelo de referência para estruturar o Seis Sigma nas organizações Gest. Prod.**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 43-56, jan.-abr. 2008.
- SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. **Contribuições do Seis Sigma: estudo de caso em multinacionais**. Produção, v.20, n.1, jan./mar. 2010.
- SATOLO, E. G.; ANDRIETTA, J. M.; CAUCHICK MIGUEL, P. A.; CALARGE F. A. Análise da utilização de técnicas e ferramentas no programa Seis Sigma a **partir de um levantamento tipo survey**. Produção, v. 19, n. 2, p. 400-416, 2009
- SIDNEI J. BUSO, Estudos Microestruturais e por Microanálise para identificação dos precipitados amostra de Níquel tipo 600. Artigo Mestrado, São Paulo, 2000.
- SWINK, M.; JACOBS, B. W. **Six Sigma adoption: Operating performance impacts and contextual drivers of success**. Journal of Operations Management, v. 30, n. 6, p. 437–453, 2012.
- WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.