

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**MAGNUN PHILLIPPE DE JESUS**

**UMA ABORDAGEM DOS SEIS SIGMAS NA ANÁLISE DE  
POSTO DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DO  
SETOR AUTOMOTIVO**

**Taubaté-SP**  
**2012**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**MAGNUN PHILLIPPE DE JESUS**

**UMA ABORDAGEM DOS SEIS SIGMAS NA ANÁLISE DE  
POSTO DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DO  
SETOR AUTOMOTIVO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de ***Mestre em Engenharia Mecânica***, do programa de Mestrado Profissional de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves

**Taubaté-SP**

**2012**

**MAGNUN PHILLIPPE DE JESUS**

**UMA ABORDAGEM DOS SEIS SIGMAS NA ANÁLISE DE POSTO DE PRODUÇÃO EM  
UMA INDÚSTRIA DO SETOR AUTOMOTIVO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de **Mestre em Engenharia Mecânica**, do programa de Mestrado Profissional de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves

Data:

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

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves

Universidade de Taubaté

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Álvaro Azevedo Cardoso, PhD.

Universidade de Taubaté

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Sebastião Cardoso

Vale Energia

Assinatura \_\_\_\_\_



Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, que me deu coragem e forças para enfrentar esse grande desafio.

A minha noiva, Patrícia Mendes de Azevedo, pelas palavras de coragem, carinho e confiança, que foram a fonte de inspiração para conseguir chegar ao final dessa longa jornada.

Aos meus pais, Eliane Maria de Jesus e Sebastião Felipe de Jesus, por terem me guiado sempre pelos caminhos do conhecimento e me ajudado nas épocas mais difíceis.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, que me deu saúde, paz e perseverança para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves, pela atenção, paciência e sugestões importantes durante todo o curso, sem os quais não teria sido realizado.

À Universidade de Taubaté (UNITAU) pela oportunidade da realização do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica, na área de concentração em Produção Mecânica.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Mecânica da UNITAU, em especial, a secretária da seção de pós-graduação, Helena Barros Fiorio, pelo pronto atendimento e dedicação.

Aos amigos da turma de mestrado, que durante todos os sábados fizeram parte da minha família, e demonstraram confiança, respeito e dedicação uns aos outros.

Agradeço a todos os colegas de trabalho, parentes e amigos que de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação.

“Cada um tem de mim exatamente o que cativou, e cada um é responsável pelo que cativou; não suporto falsidade e mentira, a verdade pode machucar, mas é sempre mais digna. Bom mesmo é ir a luta com determinação, abraçar a vida e viver com intensidade. Perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem mais se atreve e a vida é muito para ser insignificante. Eu faço e abuso da felicidade e não desisto dos meus sonhos. O mundo está nas mãos daqueles que tem coragem de sonhar e correr o risco de viver seus sonhos.”

*Charles Chaplin*

## RESUMO

Dentro do contexto da busca por produtos e processos perfeitos, esta dissertação apresenta a análise dos Seis Sigmas em um posto de trabalho, com a metodologia do DMAIC, em uma empresa do setor automotivo. O estudo foi desenvolvido no posto de regulagem de freio de mão de uma empresa automotiva de veículos leves, sendo este um item de regulamentação conforme resolução do Departamento Nacional de Trânsito. A empresa via-se com mais de 30% de defeitos em menos de dez dias de produção. Neste cenário, optou-se pela realização de um projeto de melhoria com uma abordagem Seis Sigmas no equipamento de regulagem e controle (banco de rolos) devido aos resultados de defeitos atuais ultrapassarem o número de defeitos do ano anterior inteiro. A opção pela utilização da metodologia Seis Sigmas na busca da solução para o problema foi uma decisão estratégica da alta administração da organização, com o objetivo de resolver este problema (crônico) já que outros programas de qualidade desenvolvidos na empresa não tiveram o mesmo sucesso em outros estudos de caso, visando assim diminuir os defeitos a partir da efetiva aplicação desta ferramenta. A meta foi mostrar um estudo de caso da aplicação da metodologia Seis Sigmas para a eliminação dos defeitos da regulagem do freio de mão, gerados no processo de regulagem automática, eliminando assim o retrabalho por tassageamento no posto seguinte, através dos seguintes objetivos específicos: identificação do problema e dos benefícios da aplicação do Seis Sigmas na empresa, e a melhoria nos resultados operacionais. No decorrer do desenvolvimento do processo como um todo, obtiveram-se resultados satisfatórios em relação à quantidade de dentes de engrenagem a ser controlada, especificação do torque máximo e redução do custo de retrabalho em quase cento e vinte mil reais por mês, além da redução em vinte e quatro vezes o número de reclamações de clientes. Através do trabalho de inspeção em todos os veículos produzidos, foi possível garantir os resultados inicialmente planejados pelo projeto.

**Palavras-chave:** Qualidade, Seis Sigmas, DMAIC, Sistema de freio de mão.

## **ABSTRACT**

Within the context of the search for the perfect product and process, this paper presents an analysis of Six Sigma in a job post, with the DMAIC methodology, in a company in the automotive sector. The study was developed in the post regulator handbrake of a light vehicle automotive company, which it is an item of legislation in accordance with Resolution of the National Department of Transit. The company saw itself up over 30% of defects in less than ten days of production. In this scenario, it was decided to carry out an improvement project with a Six Sigma approach in regulating and control equipment (bank roll) due to the results of current defects exceed the number of defects in the entire previous year. The option for the use of Six Sigma methodology in the search for solution to the problem was a strategic decision by senior management of the organization, in order to solve this (chronic) problem since other quality programs developed at the company didn't have the same success in other case studies, aiming thereby reducing the defects from the effective application of this tool. The goal was to show a case study of the application of Six Sigma methodology for eliminating defects in setting up the handbrake, generated in the process of automatic regulation, eliminating rework by "tassagem" – method of manual handbrake regulating system – in the next post, through the following specific objectives: identifying the problem and the benefits of applying Six Sigma in the company, and the improvement in operating results. During the development process as a whole, satisfactory results were obtained in relation to the amount of gear teeth to be controlled, specification of maximum torque and reduced cost of rework in almost a hundred and twenty thousand reais per month, in addition to reducing in twenty-four times the number of customers complaints. Through the work of inspection on all vehicles produced, could guarantee the results initially planned for the project.

**Keywords:** Quality, Six Sigma, DMAIC, Handbrake System

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CICLO PDCA, SEGUNDO DEMING. -----	21
FIGURA 2 - AVANÇO DA TEORIA SEIS SIGMAS NOS ÚLTIMOS 50 ANOS.-----	27
FIGURA 3 – MARCOS HISTÓRICOS NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMAS. -----	27
FIGURA 4 – RELACIONAMENTO ENTRE ERRO E NÍVEL SEIS SIGMAS.-----	28
FIGURA 5 – RELACIONAMENTO ENTRE ERRO / MILHÃO DE OPORTUNIDADES E NÍVEL SEIS SIGMAS. -----	29
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DE UMA CURVA NORMAL.-----	30
FIGURA 7 – CENTRALIZAÇÃO DE PROCESSOS.-----	30
FIGURA 8 – CICLO DMAIC. -----	33
FIGURA9 – FERRAMENTAS DA FASE DEFINIR.-----	35
FIGURA 10 – EXEMPLO DE MAPA DE PROCESSO-----	36
FIGURA 11 – FLUXO NATURAL MAPA DO PENSAMENTO. -----	38
FIGURA 12 – EXEMPLO DE MAPA DO PENSAMENTO PARA REDUZIR VARIABILIDADE NO ÂNGULO DO PINO. -----	38
FIGURA 13 – EXEMPLO RELACIONAMENTO ENTRE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS E O MAPA DE PENSAMENTO-----	39
FIGURA 14 – FERRAMENTAS FASE DE MEDIÇÃO. -----	42
FIGURA 15 – EXEMPLO DIAGRAMA DE PARETO-----	44
FIGURA 16 – MODELO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE BASEADO POR PROCESSO. -----	45
FIGURA 17 – TENDÊNCIA. -----	49
FIGURA 18 – LINEARIDADE. -----	50
FIGURA 19 – PRECISÃO. -----	51
FIGURA 20 – REPETIBILIDADE -----	52
FIGURA 21 – REPRODUTIBILIDADE. -----	53
FIGURA 22 – DIAGRAMA DE ISHIKAWA. -----	55
FIGURA 23 – A LÓGICA DOS TESTES DE HIPÓTESES -----	59
FIGURA 24 – REGIÃO CRÍTICA UNILATERAL À ESQUERDA.-----	61
FIGURA 25 – REGIÃO CRÍTICA UNILATERAL À DIREITA. -----	61
FIGURA 26 – REGIÃO CRÍTICA BILATERAL. -----	62
FIGURA27 – GUIA DE INTERPRETAÇÃO DO DIAGRAMA DE DISPERSÃO -----	64
FIGURA28 – ERRO NO MODELO -----	64
FIGURA 29 – FUNCIONAMENTO DO FREIO DE MÃO.-----	70
FIGURA 30 – TIPOS DE SISTEMA DE FREIO DE MÃO -----	71
FIGURA31 – PRINCÍPIO DE TRAVAMENTO E DESTRAVAMENTO DO FREIO DE MÃO. -----	71
FIGURA 32 – EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA REGULAGEM DO FREIO DE MÃO -----	74
FIGURA 33 – ESQUEMA DE REGULAGEM DO FREIO DE MÃO -----	75
FIGURA 34 – ZONA ACLIVE – TESTE PISTA.-----	76

FIGURA35 – BANCO DE ROLOS. -----	76
FIGURA 36 – DVT CONTROLE MECANISMO FREIO DE MÃO-----	77
FIGURA 37 – MAPA DE RACIOCÍNIO -----	80
FIGURA 38 – POSTO REGULAGEM FREIO DE MÃO-----	81
FIGURA 39 – DIAGRAMA DE PROCESSO.-----	82
FIGURA 40 – DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO -----	83
FIGURA 41 – MATRIZ DE CAUSA E EFEITO. -----	84
FIGURA 42 – DIAGRAMA DE PARETO DA BATONAGEM, VEÍCULO EM BANCO DE ROLOS. -----	85
FIGURA 43 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE REGULAGEM DO FREIO DE MÃO -----	86
FIGURA44 – CONDIÇÃO DE ANÁLISE DO ENSAIO. -----	87
FIGURA 45 – ANÁLISE PARETO CONFORME VARIÁVEIS -----	90
FIGURA 46 – ANÁLISE CAPABILIDADE DE PROCESSO DENTE DE ENGRENAGEM. -----	91
FIGURA 47 – ANÁLISE CAPABILIDADE DO EQUIPAMENTO (TORQUE Nm)-----	92
FIGURA 48 – GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA % DE DEFEITOS NO BANCO DE ROLOS. -----	93
FIGURA 49 – GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA % DE DEFEITOS NA RAMPA 15°. -----	94
FIGURA 50 – GRÁFICO DE DISPERSÃO N° DE DENTES ENCONTRADO NO BANCO DE ROLOS. -----	95
FIGURA51 – GRÁFICO DE DISPERSÃO N° DE DENTES ENCONTRADOS NA RAMPA. -----	96
FIGURA 52 – GRÁFICO DE DISPERSÃO N ° DE DENTES X TORQUE APÓS TASSAGEM -----	98
FIGURA 53 – GRÁFICO DE PARETO DOS EFEITOS PARA A % DE DEFEITOS DE REGULAGEM NOS DIVERSOS CONTROLES. -----	100
FIGURA 54 – GRÁFICO DE INTERAÇÃO DOS FATORES PARA % DE DEFEITOS NA RAMPA. -----	101
FIGURA 55 – GRÁFICO DE INTERAÇÃO DOS FATORES PARA % DE DEFEITOS NO BANCO DE ROLOS.-----	102
FIGURA 56 – ANÁLISE DE PARETO.-----	103
FIGURA 57 – CARTA DE CONTROLE PARA AMPLITUDE-----	105
FIGURA 58 – CARTA DE CONTROLE PARA MÉDIA -----	105
FIGURA59 – CUSTO DE RETRABALHO -----	107
FIGURA 60 – CARTA DE CONTROLE MEIOS. -----	109
FIGURA 61 – CARTA DE CONTROLE PROCESSOS-----	110
FIGURA 62 – RECLAMAÇÃO CLIENTELA -----	111
FIGURA 63 – EXEMPLO DE FORMULÁRIO DE FMEA. -----	118

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TABELA DE CONVERSÃO PARA A ESCALA.....	32
TABELA 2 – TIPOS DE ERRO E DECISÃO CORRETA PARA TESTE DE HIPÓTESES.....	58
TABELA 3 – REPETITIVIDADE DO SISTEMA DE CONTROLE FREIO DE MÃO.....	87
TABELA 4 – REPRODUTIBILIDADE DO SISTEMA DE CONTROLE FREIO DE MÃO.....	88
TABELA 5 – PORCENTAGEM DE DEFEITOS NO BANCO DE ROLOS E RAMPA PARA VÁRIOS TORQUES .....	93
TABELA 6 – NÚMERO DE DENTES DE ENGRENAGEM X TORQUE EQUIPAMENTO NO BANCO DE ROLOS E RAMPA .....	95
TABELA 7 – NÚMERO DE DENTES DE ENGRENAGEM X TORQUE EQUIPAMENTO APÓS TASSAGEM .....	97
TABELA 8 – DADOS COLETADOS NO DELINEAMENTO DE EXPERIMENTO. ....	99
TABELA 9 – TABELA ANOVA PARA A PORCENTAGEM DE DEFEITOS ENCONTRADOS NO BANCO DE ROLOS.....	100
TABELA 10 – TABELA ANOVA PARA A PORCENTAGEM DE DEFEITOS ENCONTRADOS NA RAMPA DE 15° .....	100
TABELA 11 – ANÁLISE CAPABILIZAÇÃO DO MEIO.....	104
TABELA 12 – MEDIDAS ENGENHARIA DE PRODUTO.....	108

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AMDEC	Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade = FMEA
CEP	Controle Estatístico de Processo
Cp	Índice de Capabilidade considerando como taxa de tolerância a variação do processo
Cpk	Índice de Capabilidade considerando a Centralização do Processo
CS	<i>Caracteristique Surveillance</i> (Característica de Vigilância)
CSE	<i>Caracteristique Surveillance Essential</i> (Característica Essencial de Vigilância)
CTC	<i>Critical to Control Tree</i> (Árvore de Controle Crítico)
CTQ	<i>Critical to Quality Tree</i> (Árvore de Qualidade Crítica)
CTS	<i>Critical to Systems Tree</i> (Árvore de Sistemas Críticos)
DCOV	<i>Define, Characterize, Optimize, Verify</i> (Definir, Caracterizar, Otimizar e Verificar)
DFA	<i>Design For Assembly</i> (Projetos – desenhos – para Montagem)
DFM	<i>Design For Manufacturing</i> (Projetos – desenhos – para Fabricação)
DFMEA	<i>Design FMEA</i> (FMEA de Desenvolvimento – Desenhos, Otimização)
DMADV	<i>Define, Measure, Analysis, Design and Verify</i> (Definir, Medir, Analisar, Desenvolver e Verificar)
DMAIC	<i>Define, Measure, Analysis, Improve and Control</i> (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar)
DVT	<i>Default Vehicule Termine</i> (Defeito Veículo Terminado)
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (Análise de Efeitos e Modo de Falha)

FTA	<i>Failure Tree Analysis</i> (Árvore de Análise de Falhas)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de padronização)
ISO TS	Especificação Técnica ISO que alinha as normas dos sistemas de qualidade automotiva existentes.
LCIX	Limite de Controle Inferior X
LCSX	Limite de Controle Superior X
LEIX	Limite de Controle Inferior X Imposto pela Empresa
LESX	Limite de Controle Superior X Imposto pela Empresa
MSA	<i>Mesure System Analyse</i> (Análise do Sistema de Medição)
PDCA	<i>Plan, Do, Check and Act</i> (Planejar, Fazer, Checar e Agir)
PFMEA	<i>Process FMEA</i> ( FMEA de Processos)
RC	Região Crítica
SFMEA	<i>System FMEA</i> ( FMEA de Sistemas)

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	13
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	17
1.2. OBJETIVO .....	18
1.3. RELEVÂNCIA DO ESTUDO .....	18
1.4. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	18
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
2.1. QUALIDADE .....	20
2.2. SEIS SIGMAS .....	26
2.3. DMAIC.....	32
2.3.1. <i>Fase de Definição</i> .....	34
2.3.1.1. – Mapa de Processo.....	36
2.3.1.2. – Mapa de Raciocínio.....	37
2.3.2. <i>Fase de Medição</i> .....	40
2.3.2.1. – Análise de Pareto .....	43
2.3.2.2. – Definição de Processo Produtivo .....	45
2.3.2.3. – Análise do Sistema de Medição – MSA.....	47
2.3.3. <i>Fase de Análise</i> .....	53
2.3.3.1. – Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa).....	54
2.3.3.2. – Teste de Hipóteses .....	55
2.3.3.3. – Análise de Regressão .....	62
2.3.4. <i>Fase de Melhoria</i> .....	65
2.3.4.1. – FMEA – Análise de Efeitos e Modo de Falha.....	67
2.3.5. <i>Fase de Controle</i> .....	68
<b>3. SISTEMA DE FREIO DE MÃO.....</b>	<b>69</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>72</b>
<b>5. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>73</b>
5.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO REGULAGEM.....	73
5.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO CONTROLE .....	75
5.3. ANÁLISE DO PROBLEMA .....	76

<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>78</b>
6.1.	FASE DE DEFINIÇÃO.....	78
6.1.1.	<i>Mapa de Raciocínio.....</i>	79
6.1.2.	<i>Mapa de Processos .....</i>	81
6.2.	FASE DE MEDIÇÃO .....	82
6.2.1.	<i>Diagrama de Pareto.....</i>	83
6.2.2.	<i>Descrição do Processo.....</i>	85
6.2.3.	<i>Análise do Sistema de Medição .....</i>	86
6.3.	FASE DE ANÁLISE.....	88
6.3.1.	<i>Diagrama de Causa e Efeito.....</i>	88
6.3.2.	<i>Análise Estatística Multivariada .....</i>	89
6.3.3.	<i>Análise de Regressão com a Capabilidade de Processo e Capabilidade da Máquina .....</i>	91
6.3.4.	<i>Análise de Regressão Simples com a Capabilidade do Processo e Parâmetros de Controle .....</i>	96
6.4.	FASE DE MELHORIA.....	98
6.4.1.	<i>ELABORAÇÃO DO FMEA DE PROCESSO.....</i>	98
6.4.2.	<i>DELINEAMENTO DE EXPERIMENTO COM A VARIÁVEL BATONAGEM DO PROCESSO DE CONTROLE .....</i>	99
6.4.3.	<i>ANÁLISE DE ROBUSTEZ DA CAPABILIZAÇÃO DO MEIO.....</i>	103
6.5.	FASE DE CONTROLE.....	106
6.5.1.	<i>PLANO DE VIGILÂNCIA .....</i>	106
6.5.2.	<i>CAPABILIDADE DO MEIO / PROCESSO .....</i>	108
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>112</b>
<b>8.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>113</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>114</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No mercado Global atual, as empresas vêm sendo obrigadas a rever suas estratégias de gestão para sustentar suas vendas, lucros e garantir que os clientes estejam satisfeitos com seus produtos, visto a alta competitividade em busca do grau máximo de eficiência operacional que o advento da globalização trouxe a todos os setores de negócios.

Desde o início da década de 80, as empresas têm observado e vivido uma nova era de metodologias de gestão, desde as sete ferramentas da qualidade até as mais recentes como o *Balanced Scorecard* e os Seis Sigmas.

A metodologia Seis Sigmas está voltada para os requisitos do cliente, a prevenção de defeitos e as reduções do tempo de ciclo e dos custos. Portanto, os benefícios do Seis Sigmas vão direto ao ponto principal e com a ideia de eliminar custos que não agregam valor ao cliente.

### 1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Devido às características da regulagem automática de freio de mão no posto de trabalho em estudo, observou-se que a regulagem em um dos tambores é mais robusta, aplicando-a apenas em um determinado veículo.

Ao longo da aplicação dos parâmetros, observou-se que o dispositivo de controle (banco de rolos) começou a reprovar a regulagem. No entanto, o mesmo ainda não estava totalmente parametrizado, sendo necessário evidenciar outra forma de controle, que neste caso é a utilização de rampa em pista de teste.

Com a utilização da rampa, foi possível verificar que, para o veículo em estudo, foram necessários de 8 a 9 dentes de engrenagem para frear o veículo em uma rampa com inclinação de 8% em declive, ou seja, maior que o pedido pela engenharia de produto da empresa estudada, acarretando em reclamação da clientela e risco de acidente, considerado assim defeito-pane.

A empresa estudada considera que o freio de mão dos veículos deve atender uma especificação de 3 a 6 dentes para uma rampa com inclinação de 8% em aclave. Assim, foi possível parametrizar o banco de rolos e começar o estudo Seis Sigmas em cima do equipamento de regulagem freio de mão.

## 1.2. OBJETIVO

A presente dissertação tem como objetivo mostrar um estudo de caso da aplicação da metodologia Seis Sigmas para a eliminação dos defeitos da regulagem do freio de mão, gerados no processo de regulagem automática, eliminando assim o retrabalho por tassagem (método de regulagem manual do sistema de freio de mão) no posto seguinte, através dos seguintes objetivos específicos:

- a) Identificação do problema;
- b) Identificação dos benefícios da aplicação dos Seis Sigmas na empresa;
- c) Melhoria nos resultados operacionais.

## 1.3. RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Atualmente, a qualidade dos veículos tem um papel fundamental na aquisição de um automóvel, principalmente a questão ligada à segurança. Por esse motivo, hoje as empresas estão adotando princípios de qualidade com base nas teorias presentes na literatura.

Existe farta literatura e artigos sobre as formas de implementação do Seis Sigmas e os casos de sucesso como exemplos. Porém, como veremos nesse estudo, todo processo tem suas dificuldades, e conhecê-las aumenta a probabilidade de sucesso.

## 1.4. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo delimitou-se a um posto de montagem que realiza a regulagem do freio de mão em uma indústria automotiva e também ao banco de rolos, onde é realizado o teste de controle de qualidade desta regulagem.

## 1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em seis capítulos principais.

**Capítulo 1 – Introdução:** além da introdução, é explicada a delimitação do estudo, objetivos, relevância do estudo, método de pesquisa e estrutura do trabalho.

**Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica:** apresenta os materiais e os respectivos métodos experimentais utilizados neste trabalho de pesquisa, como: DMAIC, CEP, FMEA, entre outros.

**Capítulo 3 – Sistema de Freio de Mão:** expõe uma pequena abordagem de como funciona o sistema de freio de mão, suas características, tipos e funcionamento.

**Capítulo 4 – Metodologia:** relata a classificação do procedimento utilizado na implementação da ferramenta DMAIC, de acordo com a delimitação deste estudo. Nesta parte, é descrita a forma que os trabalhos foram conduzidos para obtenção de resultados.

**Capítulo 5 – Estudo de caso:** contém a análise da empresa estudada, fazendo uma introdução ao problema, e uma abordagem do que seria a solução ideal em um contexto simples e objetivo.

**Capítulo 6 – Resultados e Discussões:** reúne os resultados do presente trabalho, e também as discussões pertinentes.

**Capítulo 7 – Conclusões:** analisa se os resultados obtidos alcançaram os objetivos propostos inicialmente.

**Capítulo 8 – Considerações Finais:** analisa possíveis trabalhos futuros relacionados ao tema e itens abordados não mencionados no texto e com relevância para o desenvolvimento do estudo.

**Referências Bibliográficas:** reúne a bibliografia utilizada no presente trabalho.

**Anexos e Apêndices:** contém tabelas e documentos utilizados no estudo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. QUALIDADE**

Segundo Campos (1999), qualidade pode ser facilmente compreendida como atender perfeitamente, de forma confiável, acessível, segura e no tempo certo, às necessidades do cliente.

Deming (1982), também enfatiza o cliente ao relatar que a qualidade não é luxo, mas sim aquilo que o cliente necessita e realmente quer. Na filosofia de Deming não existe um sistema estruturado para a condução da qualidade; no entanto, para implantação da mesma dentro da empresa é de primordial importância o conhecimento dos chamados "14 pontos", os quais ele atribuiu total responsabilidade da implantação ao cargo da gerência, sendo eles:

1. Crie uma constância de propósito com a finalidade de melhorar produtos e serviços, com um plano para tornar a empresa competitiva, visando a sua permanência no mercado;

2. Adote uma nova filosofia. Vive-se uma nova era econômica. Não se pode mais viver com os níveis comumente aceitos de atrasos, erros e defeitos com materiais;

3. Deixar de contar com a inspeção em massa. Ao invés disto, exija evidências estatísticas de que a qualidade está embutida no processo;

4. Termine com a prática de realizar contratos de compra só na base de preço, exija a qualidade total;

5. Encontre os problemas. É função da gerência, trabalhar continuamente sobre o sistema, conforme mostrado no Ciclo PDCA da Figura 1 a seguir:

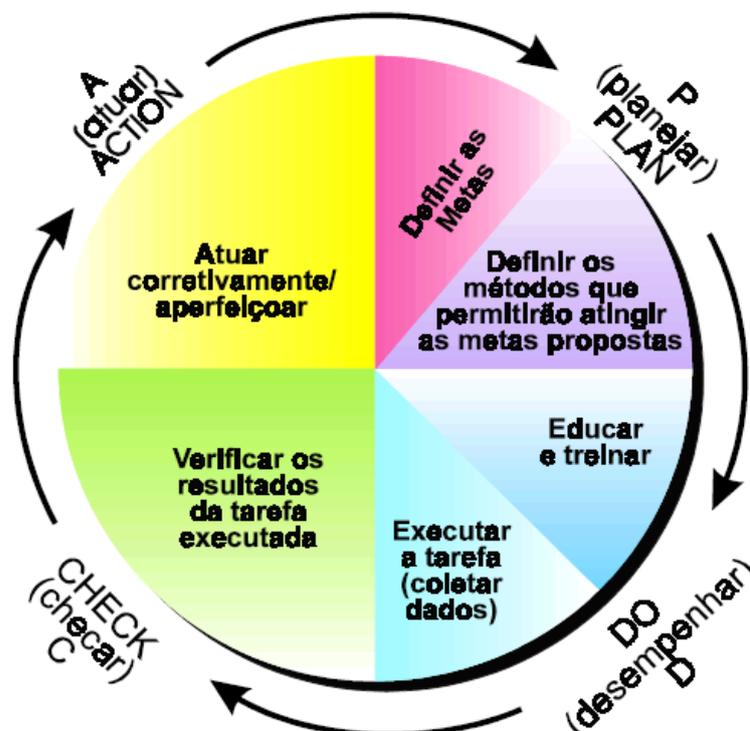


Figura 1 – Ciclo PDCA, segundo Deming.  
(DEMING, 1982).

6. Institua métodos modernos de treinamento no local de trabalho;
7. Institua melhores métodos de supervisão. Reaja imediatamente ao receber informações sobre os problemas;
8. Expulse o medo para que todos possam trabalhar eficazmente pela companhia;
9. Elimine barreiras entre os departamentos;
10. Elimine metas numéricas, cartazes, slogans e exortações para a força de trabalho, pedindo novos níveis de produtividade e zero defeito sem fornecer os métodos para atingi-los;
11. Elimine padrões de trabalho que prescrevem cotas numéricas;
12. Exclua as barreiras entre o operário e o seu direito de mostrar suas habilidades;
13. Institua um vigoroso programa de educação e retreinamento;

14. Crie uma estrutura para que a alta administração conduza diariamente os treze pontos acima. A transformação é tarefa de todos.

Crosby (1990), desenvolveu um trabalho baseado essencialmente em 4 pontos básicos:

1. "Qualidade é conformidade com os requisitos";
2. Atuação de forma a prevenir-se contra a ocorrência de defeitos;
3. Adoção de uma norma de conduta por todos indivíduos dentro da empresa. A esfinge do ZERO DEFEITOS;
4. Medição da performance da empresa através do "custo da não conformidade".

O programa desenvolvido por Crosby (1990) não apresenta um sistema estruturado, porém para a sua implantação ele pode ser dividido em 6 fases:

1ª – Identificação das necessidades. Nesse primeiro ponto estão envolvidos: definição do processo, entrada e saída de produtos, e avaliação de equipamentos e instalações;

2ª – Medida da conformidade: nessa fase cabe a identificação e coleta de dados e a sua representação gráfica para melhor análise e entendimento;

3ª – Prevenção da desconformidade: isso pode ser alcançado a partir de requisitos claros e processos bem definidos, com uma qualificação do processo e controle de um modo geral;

4ª – Definição da norma de execução: e o meio para se determinar a forma como o processo é executado;

5ª – Determinação do preço da desconformidade;

6ª – Eliminação da desconformidade: pode ser alcançada a partir da definição da situação, reparando a desconformidade e identificando a sua causa, com isso é possível definir as ações e avaliar os resultados.

Para Garvin (1992), a qualidade não tem um significado preciso, tendo assim cinco abordagens principais:

- 1 - A transcendente: nesta visão a qualidade é exemplo de excelência inata;
- 2 - A baseada no produto: a qualidade é uma variável precisa e mensurável podendo ser avaliada objetivamente;
- 3 - A baseada no usuário: a qualidade é subjetiva, calcada na preferência do consumidor;
- 4 - A baseada no valor: a qualidade é definida em termos de custos e preços, relacionando esses dois aspectos em seu resultado para o consumidor;
- 5 - A baseada na produção: a qualidade está em conformidade com as especificações.

Segundo Slack e colaboradores (2007), a qualidade é vista como um objetivo de desempenho particularmente importante em operações porque, assim, ela afeta diretamente os consumidores internos e externos e leva tanto a receitas crescentes como a custos reduzidos.

De acordo com Rodrigues (1995), as primeiras preocupações com a qualidade dos produtos e serviços datam do início da existência da humanidade, pela busca de materiais resistentes para construção de abrigos, métodos para obter melhores colheitas, entre outros.

Campos (1999) relata que “um produto e serviço com qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, acessível e segura, e no tempo certo, as necessidades do cliente”. O termo qualidade significa basicamente:

- Ter sempre como objetivo a satisfação total do cliente;
- Considerar a qualidade no sentido amplo;
- Considerar o custo e condições de atendimento como fortes fatores da satisfação total do cliente.

Campos (1999) ainda indica como características da qualidade a divisão de um sistema composto pelo gerenciamento da rotina, gerenciamento pelas diretrizes e gerenciamento do ser humano.

Segundo Pyzdek e Keller (2011), a qualidade pode ser definida como qualidade potencial e qualidade real. Qualidade Potencial é o valor agregado máximo possível, conhecido por uma unidade incluída; já a Qualidade real é o valor agregado atual por unidade incluída, e a diferença destas duas qualidades é o desperdício.

Oliveira e colaboradores (2004), dizem que a evolução da qualidade passou por três grandes fases:

- Primeira fase: a era da Inspeção – o produto era verificado pelo produtor e pelo cliente, o que ocorreu um pouco antes da revolução industrial, período em que atingiu o seu auge;
- Segunda fase: a era do Controle – o controle da inspeção foi aprimorado por meio da utilização de técnicas estatísticas;
- Terceira fase: a era da Qualidade Total – no qual se enquadra o período que se vivencia, onde a ênfase passa a ser o cliente, tornando-o o centro das atenções das organizações que dirigem seus esforços para satisfazê-lo em relação às suas necessidades e expectativas.

Sendo assim, segundo Rampasso (2006), uma empresa que pretende ser competitiva nos tempos atuais, precisa estimular o desenvolvimento de estruturas e processos cada vez mais eficazes e adotar um modelo de gestão voltado para a racionalização, a qualidade de produtos e serviços, a redução de custos, entre outros, ou seja, precisa estar comprometida com a melhoria contínua.

Para Zacharias (2001), a competitividade de uma organização é conseguida por ações constantes de melhorias na sua Qualidade e Produtividade.

A melhoria contínua é o grande objetivo dos programas de qualidade e produtividade. Melhoria é a transição para um melhor estado ou condição, normalmente, gerando vantagens (Webster, 2001).

Ishikawa (1993) enfatiza que programas da qualidade só podem ser bem sucedidos se todas as pessoas envolvidas assumirem suas responsabilidades e a comissão de frente da empresa tiver conhecimento de todos os fatos “na ponta da língua”.

Segundo Oakland (1994), para um programa de qualidade ser bem sucedido ele deve, de fato, ser aplicado em todas as áreas e começar pelo topo, com o diretor executivo.

Paladini (1997) expõe que, em primeira análise, ações sistêmicas no nível de setor e indivíduo garantirão o gerenciamento e implantação da qualidade por toda a empresa e, em segunda análise, em nível de alta administração com a aprovação das políticas e metas para a qualidade propostas pela gerência.

A implantação de programas da qualidade em determinadas empresas, independente do ramo de atuação ou porte, acontece dando-se ênfase nas atividades usuais da empresa.

Oakland (1994) identificou cinco pontos que devem ser considerados numa implantação:

- Abordagem do Gerenciamento da Qualidade Total;
- Comprometimento e Política;
- Criação ou Mudança de Cultura;
- Liderança Eficaz;
- Fundamentos para Gerência.

Para Juran e Gryna (1992), a administração para a qualidade se faz com a utilização dos mesmos processos administrativos de planejamento, controle e aperfeiçoamento. A abordagem conceitual é idêntica à utilizada na administração

financeira. Entretanto, os procedimentos e os instrumentos são especiais, baseando-se na trilogia da qualidade: Planejamento da Qualidade, Controle da Qualidade e Melhoria (aperfeiçoamento) da Qualidade.

É possível encontrar nas principais obras literárias autores que mencionem que os programas de melhoria da qualidade trazem vantagens às empresas. Para isso, é fundamental um comprometimento de toda a empresa, em todos os níveis hierárquicos, com todos trabalhando em sinergia, visando as mesmas metas e reconhecendo que a implantação do programa é um processo de aperfeiçoamento contínuo.

## **2.2. SEIS SIGMAS**

As raízes da onda Seis Sigmas são especialmente visíveis no final da década de 70 e, principalmente, no início da década de 80. Criado como um processo disciplinado de resolução de problemas através do uso de técnicas estatísticas e métodos consagrados para sua identificação, solução e controle em todos os níveis de uma organização, o Seis Sigmas foi adotado em um número importante e ainda crescente de instituições privadas e públicas em todo o mundo, com aplicação em praticamente todas as áreas de atuação e produzindo ganhos de qualidade, produtividade e de satisfação de clientes.

Segundo Sheehy (2002), o Seis Sigmas não é uma forma revolucionária de pensar e nem oferece um novo conjunto de elementos ou técnicas de gestão. Trata-se, sem dúvida, de um estágio evolucionário das ciências relacionadas aos processos de melhoria contínua e que combina elementos de diversos programas, experiências e iniciativas anteriores, algumas com mais de 50 anos. A Figura 2 mostra o avanço para a teoria Seis Sigmas no decorrer desses anos.



Figura 2 - Avanço da teoria Seis Sigmas nos últimos 50 anos.

(Adaptado de SOUSA, 2006)

O Seis Sigmas foi popularizado com o lançamento do programa de melhoria da Qualidade – Six Sigma Quality Program – em 1987, e que levou a Motorola como precursora do sistema, sendo assim vista com o título de “*Malcolm Baldrige National Quality Award*”, gerando, ao mesmo tempo, reconhecimento à Motorola, publicidade para a metodologia e interesse em sua replicação por outras organizações, como apresentado na Figura 3.



Figura 3 – Marcos históricos na aplicação da Metodologia Seis Sigmas.

(Adaptado de SOUSA, 2006)

Segundo Pyzdek e Keller (2011), seria um erro imaginar que os Seis Sigmas aborda a qualidade no seu sentido tradicional. A tradicional Qualidade – tradicionalmente definida como conformidade aos requisitos internos – pouco tem a ver com os Seis Sigmas, que tem seu foco direcionado a ajudar empresas a serem mais rentáveis, dando mais valor ao cliente e aumentando sua eficiência.

Os Seis Sigmas estão voltados para os requisitos do cliente, a prevenção de defeitos, a redução do tempo de ciclo e dos custos. Sendo assim, ele identifica e elimina os custos que não agregam valor ao cliente. Geralmente, nas empresas que não utilizam o Seis Sigmas, esses custos são extremamente altos. Empresas que funcionam com três ou quatro sigmas gastam, tipicamente, entre 25% e 40% da sua receita consertando problemas. A isto se denomina custo da qualidade, ou, mais adequadamente, custo da má qualidade.

Uma razão para que os custos estejam diretamente relacionados aos níveis Sigma é muito simples: os níveis sigma são medidas para taxa de erros – e custa dinheiro corrigir erros. A Figura 4 mostra o relacionamento entre erros e os níveis sigma. Observe que a taxa de erro diminui exponencialmente quando o nível sigma aumenta, e que isso está perfeitamente representado nos dados empíricos para custos mostrados na Figura 5. Nota-se ainda que os erros são exibidos por milhão de oportunidades, não como percentuais. Essa é outra convenção introduzida com o Seis Sigmas.

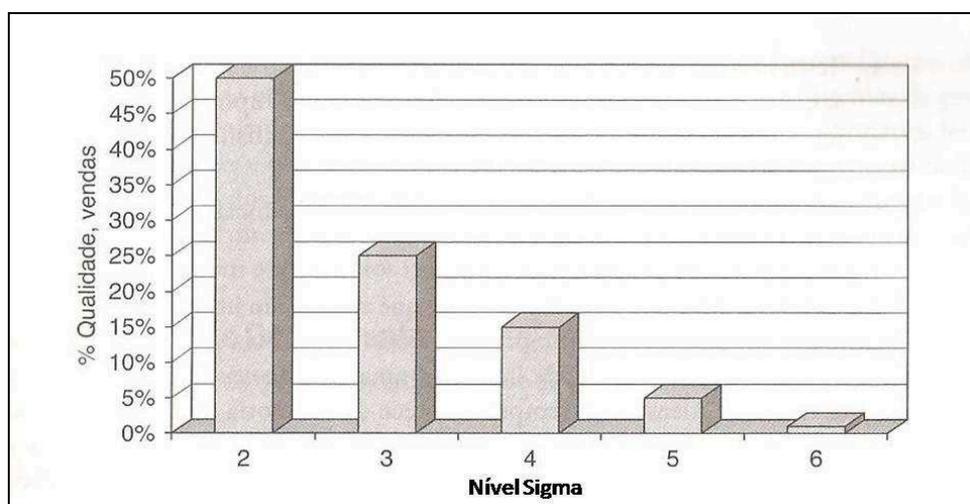


Figura 4 – Relacionamento Entre Erro e Nível Seis Sigmas.  
(PYZDEK e KELLER; 2011, adaptada)

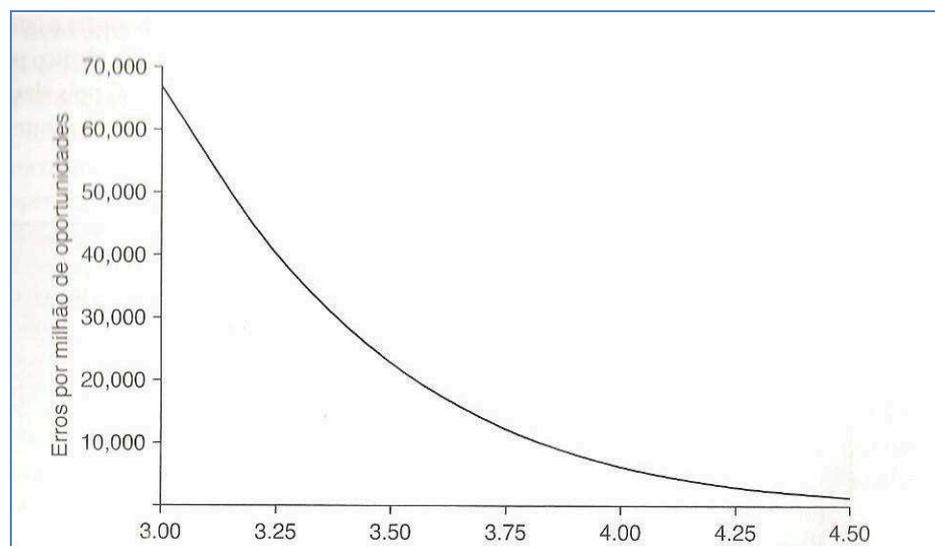


Figura 5 – Relacionamento Entre Erro / Milhão de Oportunidades e Nível Seis Sigmas.  
(PYZDEK e KELLER; 2011)

Pyzdek e Keller (2011), falam que o termo Seis Sigmas está diretamente relacionado ao objetivo contínuo de diminuir os defeitos de um determinado processo controlado a patamares cada vez menores, buscando-se a perfeição mesmo que esta pareça utópica. Aliás, esta é uma das principais características desta metodologia em comparação a outros programas: busca-se valorar a utopia que, em Seis Sigmas, tem um valor de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades ou 99,9997% de eficiência de curto prazo.

Qualquer processo repetitivo, que exista baseado em variáveis determinadas num contexto geral estável, possui variações que são conhecidas como variações de causa comum.

Segundo Sheehy (2002), em processos industriais estáveis, estas variações ocorrem dentro de faixas que são conhecidas como limites de tolerância ou de especificação (LIE – Limite Inferior de Especificação, e LSE – Limite Superior de Especificação) e que definem os critérios para aprovação do resultado final esperado, este previamente indicado pelos clientes. Esta dispersão, considerando uma distribuição normal, ocorre em relação a um ponto central - a média – e a distância destes pontos dispersos em relação à média é conhecida como desvio padrão. Nestas condições, e com base no histórico do processo, é possível estabelecer a probabilidade de ocorrência

destes resultados, representada pela curva de distribuição normal, com maior probabilidade de ocorrência no ponto médio e com menor probabilidade de ocorrência à medida que os resultados se distanciam da média, conforme apresentado na Figura 6.

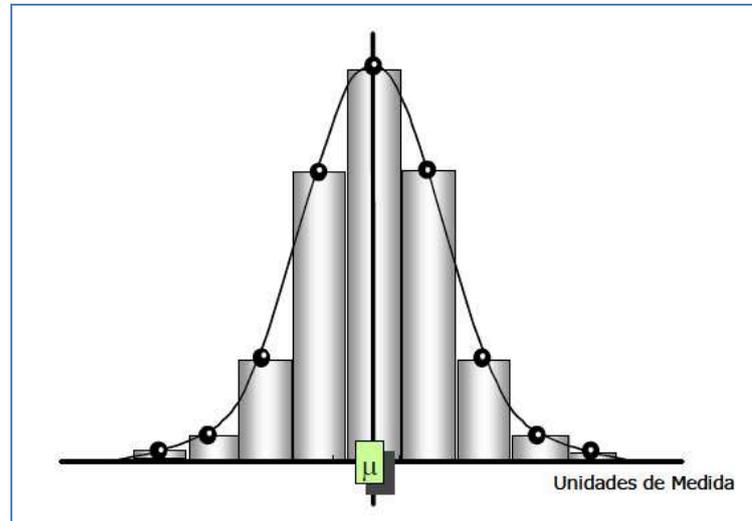


Figura 6 – Representação de uma curva normal.

(SOUSA, 2006)

Sendo assim, quanto maior o desvio padrão, maior a variação esperada.

A metodologia Seis Sigmas busca, como ilustrado na Figura 7, reduzir esta dispersão centralizando o processo e diminuindo a probabilidade de ocorrência de defeitos.

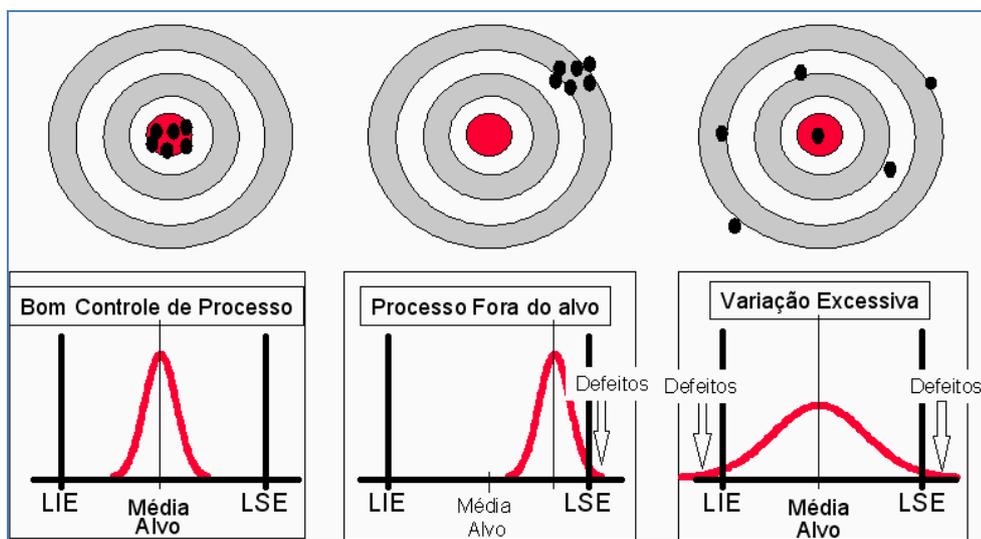


Figura 7 – Centralização de processos.

(SOUSA, 2006)

Segundo Pyzdek e Keller(2011), Seis Sigmas é a aplicação do método científico para o projeto e operação dos sistemas de gerenciamento e processos de negócios, os quais dão condições aos funcionários de entregarem mais valor aos clientes e empregadores. O método científico funciona conforme os itens abaixo:

- Observe algum aspecto importante do mercado ou do seu negócio;
- Desenvolva uma explicação experimental, ou hipótese, compatível com suas observações;
- Baseando-se nas suas hipóteses, faça previsões;
- Teste suas previsões realizando experimentos ou fazendo observações mais cuidadosas. Armazene suas observações. Modifique suas hipóteses baseando-se nos novos fatos. Se houver variações utilize ferramentas estatísticas para ajudá-lo a separar o “joio do trigo”.

Na ótica dos Seis Sigmas, todos os processos apresentam algum grau de variabilidade. O problema ocorre quando essa variabilidade é superior àquela esperada pelo cliente e quando isso acontece, é sinal de que o processo gerou um defeito. A proposta dos Seis Sigmas é a redução dos defeitos gerados pelo processo.

A escala sigma do processo pode ser calculada pela conversão do índice de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO). A Equação 01 apresenta o modelo utilizado para o cálculo do DPMO.

$$DPMO = \frac{\text{Número de Defeitos Encontrados}}{\text{Nº Total de Unidades} \times \text{Nº de oportunidades de Defeito}} \times 10^6 \quad \text{Equação 01}$$

O valor de DPMO obtido através da Equação 01 deve ser substituído na tabela de conversão para a Escala Sigma (Tabela 01) para que seja possível identificar o nível sigma do processo.

Tabela 1 – Tabela de Conversão para a Escala

$\pm$ Nível sigma do limite de especificação	(%) Distribuição Centralizada	*DPMO Distribuição Centralizada	(%) Distribuição 1,5 Sigma	*DPMO Distribuição 1,5 Sigma
1	68,2689480	317310,520	30,232785	697672,15
2	95,4499876	45500,124	69,122979	308770,21
3	99,7300066	2699,934	93,318937	66810,63
4	99,9936628	63,372	99,379030	6209,70
5	99,9999426	0,574	99,976733	232,67
6	99,9999998	0,002	99,999660	3,4

(BREYFOGLE, 2007, adaptada)

Cada metodologia apresenta uma abordagem conceitual de trabalho. Com os Seis Sigmas não é diferente; na verdade, os Seis Sigmas apresentam duas abordagens de trabalho. A primeira é voltada para problemas existentes (DMAIC), e a segunda para prevenir que problemas aconteçam em novos produtos e serviços (DCOV).

### 2.3. DMAIC

Para Perez-Wilson (1999), a metodologia Seis Sigmas é muito mais que um método, é uma maneira ordenada, lógica e sistemática de realizar alguma coisa. É um conjunto de ferramentas organizadas de forma clara, lógica e sistemática para alcançar um objetivo.

O DMAIC é um ciclo de desenvolvimento de projetos de melhoria, originalmente utilizado na estratégia Seis Sigmas, conforme mostrado na Figura 8. Inicialmente concebido para projetos relacionados à qualidade, o DMAIC não é efetivo somente na redução de defeitos, sendo abrangente também para projetos de aumento de produtividade, redução de custos, melhoria em processos administrativos, entre outras oportunidades.

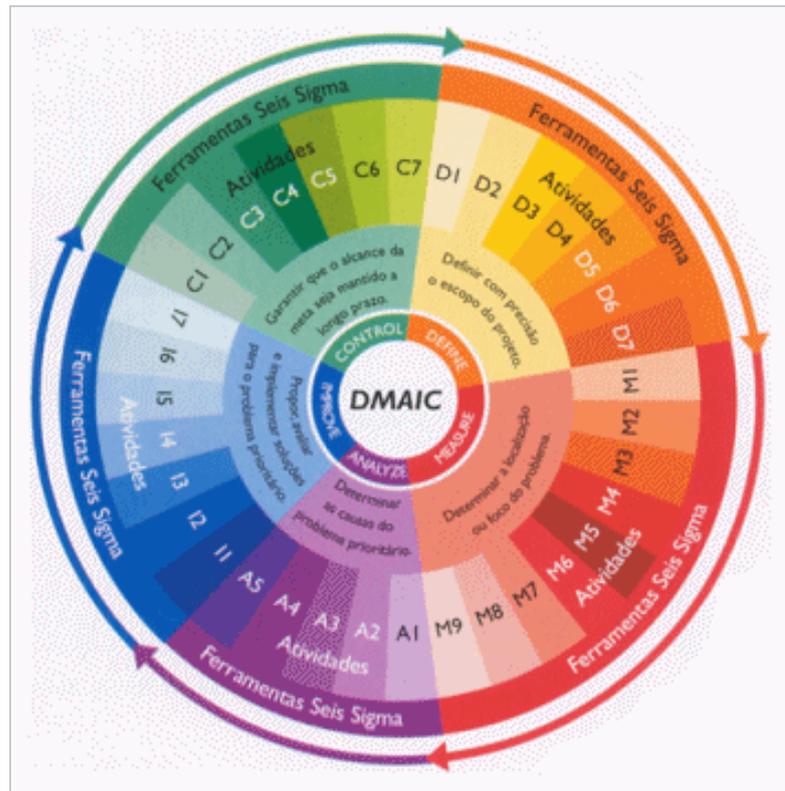


Figura 8 – Ciclo DMAIC.

(WERKEMA, 2002)

Segundo Lynch e colaboradores (2003), o DMAIC é análogo a um funil. Uma grande oportunidade para uma empresa ter seu escopo progressivamente estreitado, utilizando as definições de projeto e, posteriormente, as ferramentas Seis Sigmas. O resultado é um problema que pode facilmente ser entendido e rapidamente endereçado com um foco de mira a laser.

O DMAIC também tem como característica marcante o enfoque na mensuração das informações, ou seja, a obtenção de dados quantitativos – evidências objetivas – durante as etapas do projeto. Conceituando o ciclo DMAIC de uma forma mais técnica, ele se baseia na precisa identificação, análise, melhoria e controle dos fatores de influência que contribuem para a variabilidade do processo. Dentro de cada etapa do ciclo DMAIC existem atividades suportadas por ferramentas e técnicas estatísticas para se atingir adequadamente os objetivos de cada uma dessas etapas e conseqüentemente o objetivo principal do projeto.

O DMAIC não se limita a ser simplesmente um ciclo de melhoria ou de resolução de problemas, mas abrange um modelo de administração do negócio. Pela sua criteriosa seleção e dedicação de recursos, os projetos DMAIC tratam, na maioria das vezes, de problemas crônicos, complexos e com abrangência interdepartamental, onde não é eficaz a atuação com os modelos de melhoria tradicionais. Obviamente, o foco nos indicadores vitais da empresa proporciona ganhos financeiros relevantes, dificilmente obtidos utilizando-se outras técnicas, criando um considerável diferencial competitivo para o negócio.

Esta abordagem contempla as fases de Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, que serão tratados neste trabalho como tópicos específicos.

### **2.3.1. Fase de Definição**

Definir é a primeira fase de um projeto. Segundo Pyzdek *et al* (2011), os principais objetivos dentro da fase definir são:

- Desenvolver o termo de abertura do projeto;
- Definir o escopo, os objetivos e o cronograma;
- Definir o processo (*top level*) e seus *stakeholders*;
- Selecionar os membros da equipe;
- Obter a autorização do patrocinador (*sponsor*);
- Reunir e treinar a equipe.

Para Stamatis (2004), a fase de definição é composta também por cinco estágios:

- Definir o problema;
- Identificar os Clientes;
- Identificar as características críticas para a qualidade;
- Mapear o processo atual.

- Definir o escopo do projeto

A Figura 9, a seguir, mostra esquematicamente as ferramentas que podem ser utilizadas, algumas questões de revisão e as saídas que devem ser apresentadas ao final da fase de definição de um projeto Seis Sigmas, dentre as quais destacam-se o mapeamento do fluxo de valor, a matriz de criticidade, o gráfico de Pareto, as medidas de desempenho do processo, o fluxograma do processo, a análise da voz do cliente e o mapa de raciocínio, sendo a análise de mapa do processo e o mapa de raciocínio as abordagens da análise do estudo de caso deste trabalho.

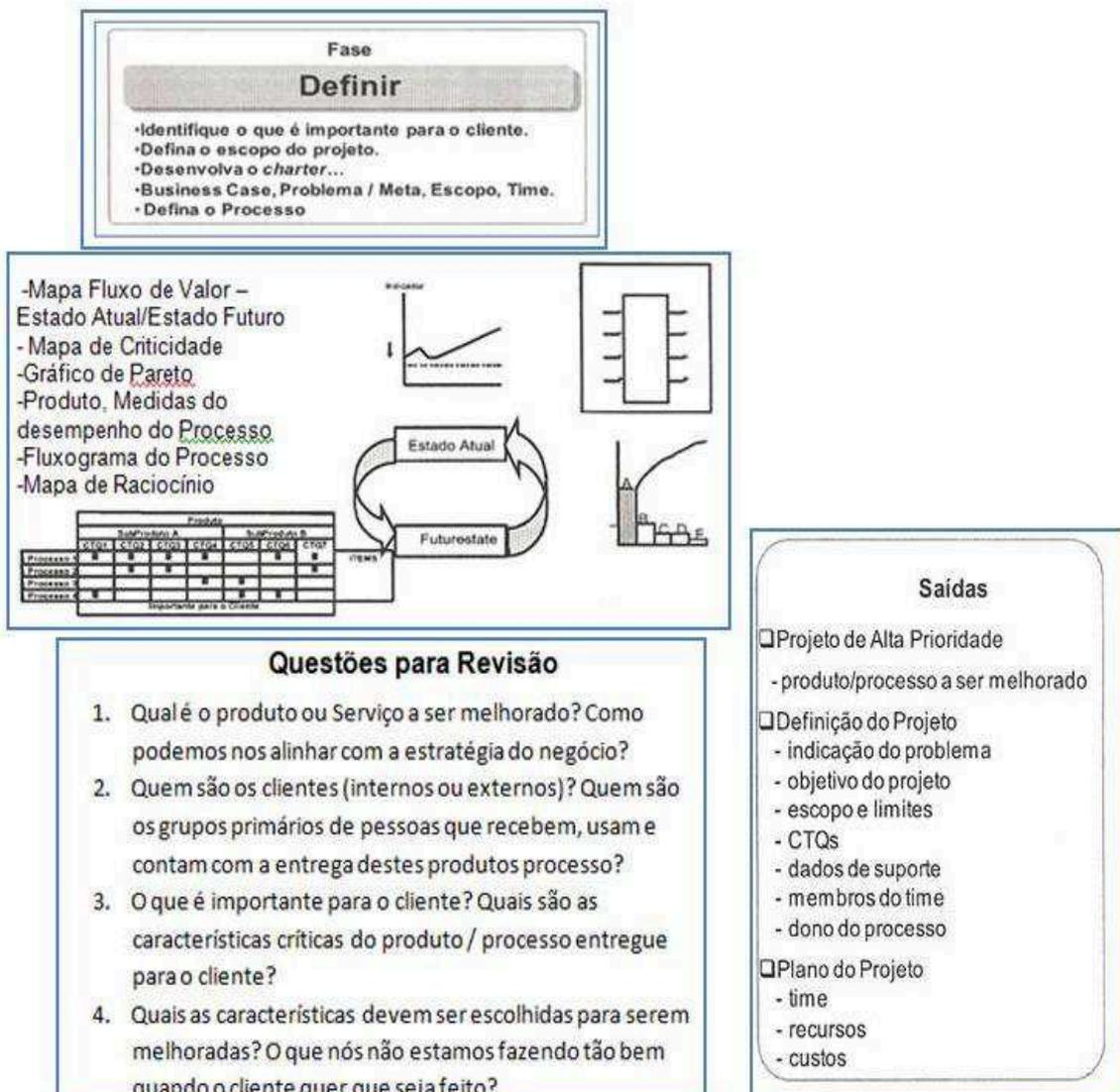


Figura9 – Ferramentas da fase Definir.

(Adaptado de STAMATIS, 2004)

### 2.3.1.1. – Mapa de Processo

Na proposta de Werkema (2002), os Mapas de processo são usados para documentar o conhecimento existente sobre os processos. Para tanto, devem descrever os limites do processo, as entradas e saídas, principais atividades e tarefas, e os parâmetros, conforme mostrados na Figura 10.

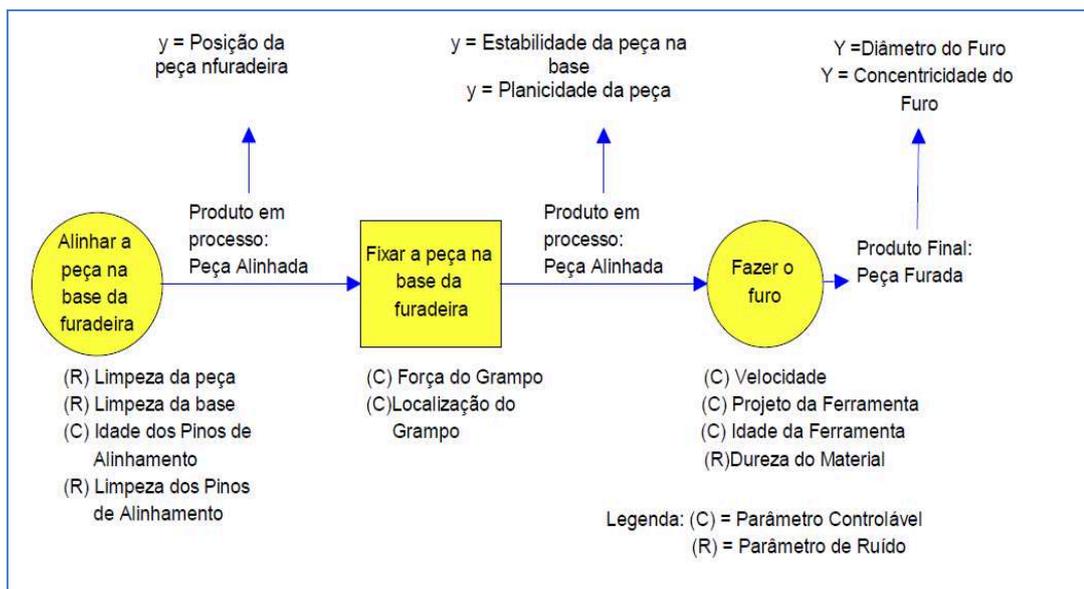


Figura 10 – Exemplo de Mapa de Processo  
(WERKEMA, 2002)

Os componentes de um Mapa de processo são: a) parâmetro de produto final (Y) que caracteriza o produto no estágio de produto acabado; b) parâmetro de produto em processo (y) que caracteriza o produto antes do estágio de produto acabado; e c) parâmetros de processo (x), usualmente uma característica mensurável de um processo que pode afetar o desempenho do produto, tais como temperatura, velocidade e tempo.

Segundo Werkema (2002), no mapa de processo também são identificados os parâmetros de processo controláveis, que são fatores que não podem ser (ou preferencialmente não são) ajustados em um valor pré-determinado e mantido em torno deste valor.

O mapa de processo é a base para caracterização do processo. Nele ocorre a determinação dos relacionamentos existentes entre os parâmetros de processo e os parâmetros de produto. Se a caracterização do processo indica que a variação em um

parâmetro controlável ou em um parâmetro de ruído exerce um impacto significativo no rendimento do produto, o parâmetro é identificado como um parâmetro crítico.

O mapa do processo deve inicialmente documentar como o processo realmente opera. Todas as operações, que agregam valor ou não, devem ser incluídas. O Mapa deve facilitar a realização da etapa de quantificação e priorização do processo e deve ser revisto com frequência.

### **2.3.1.2. – Mapa de Raciocínio**

Segundo Werkema (2002), o mapa de raciocínio consiste em uma documentação progressiva da forma de raciocínio durante a execução de um trabalho. Trata-se de uma ferramenta importante no programa Seis Sigmas, sendo utilizada durante todo o desenvolvimento do projeto realizado pelo Black Belt. Um mapa de raciocínio deve documentar a meta geral do trabalho (objetivo geral), questões a serem respondidas, atividades a serem realizadas de forma a responder as questões propostas, novas questões e novos passos que surgirem durante o projeto e respostas para as novas questões.

Já Hild e Sanders (2000) referem-se ao mapa de raciocínio como mapa do pensamento.

Não existe uma maneira correta de construir o mapa, já que se pode melhorar o entendimento e ganhar novo conhecimento sobre um processo de diversas maneiras. Porém, existe um conjunto de elementos críticos que certificam que o mapa do pensamento será eficiente na condução do trabalho. Segundo Hild e Sanders (2000), tais elementos são: a) o objetivo geral e quantificável do projeto ou processo; b) alternativas principais e questões iniciais a serem consideradas; c) caminhos paralelos de questionamento e subsequentes trabalhos desenvolvidos; d) priorização das questões a serem respondidas; e) ferramentas e metodologias utilizadas para procurar as respostas; f) historia do trabalho realizado para obter as respostas e a documentação das respostas; e g) evolução das métricas e sua relação com o trabalho em execução.

Werkema (2002) acrescenta um elemento à lista acima: a justificativa da utilização das ferramentas selecionadas no projeto.

Um fluxograma para elaboração do mapa do pensamento proposto por Hild e Sanders (2000) é apresentado na Figura 11, e um exemplo do mapa na Figura 12. No fluxograma, o conhecimento existente (idéias ou suspeitas) motiva perguntas as quais direcionam o tipo de informação necessária e os tipos de ferramentas a serem utilizadas no projeto (por exemplo CEP), e estas, por sua vez, proporcionam respostas e novas perguntas referentes a desdobramentos futuros do projeto.

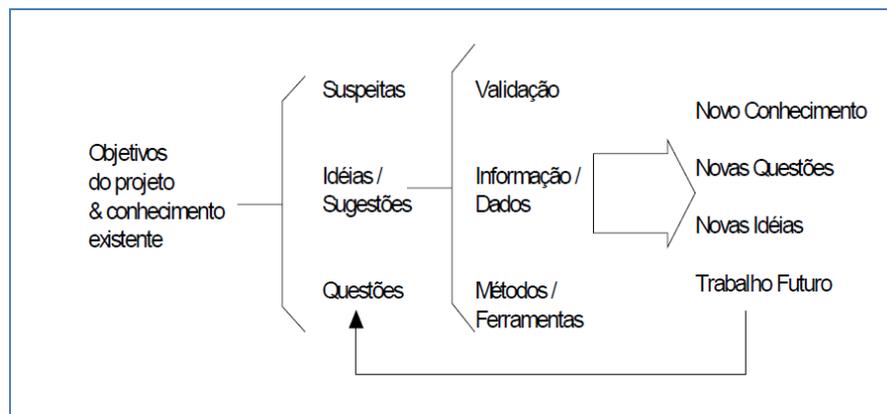


Figura 11 – Fluxo Natural Mapa do Pensamento.  
(HILD e SANDERS, 2000)

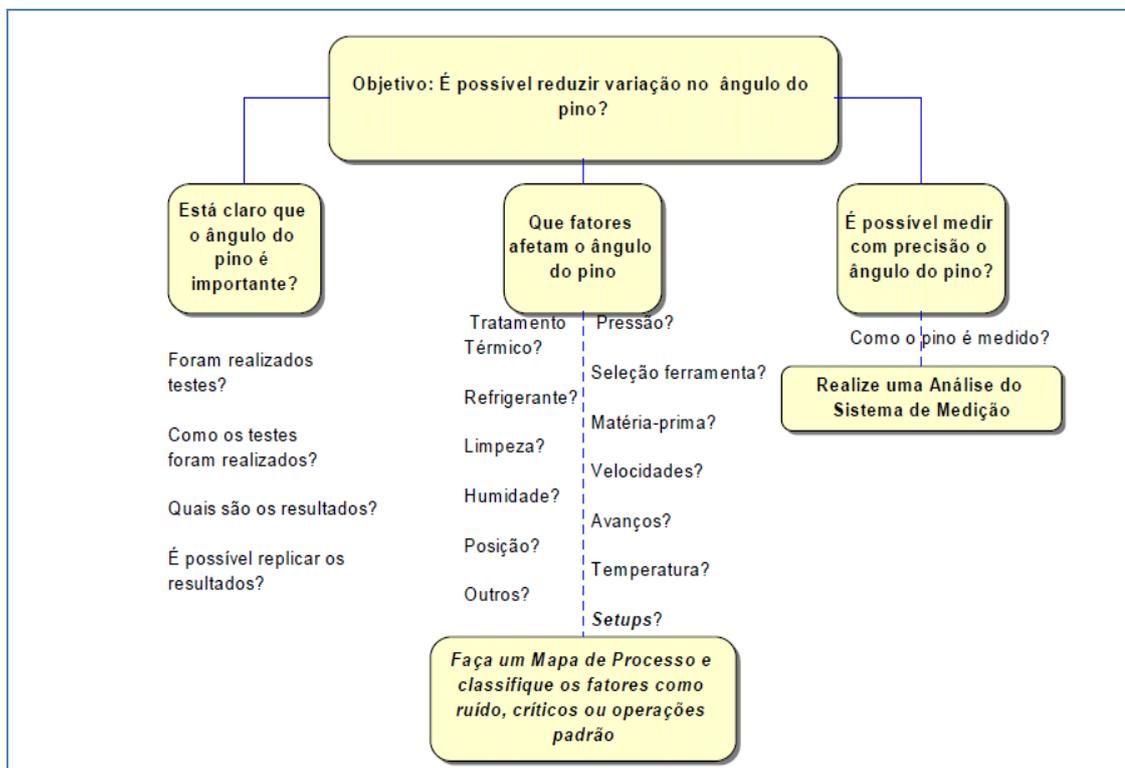


Figura 12 – Exemplo de Mapa do Pensamento para reduzir variabilidade no ângulo do pino.  
(HILD e SANDERS, 2000)

Frequentemente, as equipes que trabalham nos projetos Seis Sigmas necessitam saber: os próximos passos, as alterações que estão sendo feitas no processo/projeto, e porque e como manter o histórico do progresso do trabalho. O exemplo de mapa, na Figura 11, traz tais informações, já que imediatamente comunica os objetivos, a direção, as razões e natureza hierárquica do trabalho, além de fatores e questões relacionadas com o objetivo global.

A Figura 13 ilustra a relação entre ferramentas estatísticas e o mapa do pensamento. Segundo Hild e Sanders (2000), a construção do conhecimento sequencial é baseada na habilidade de questionar e responder corretamente aos questionamentos, desenvolver e testar hipóteses, entender e documentar teorias não testadas. Mapas do pensamento são importantes para melhorar a geração de ideias, comunicar e resolver problemas de forma eficiente.

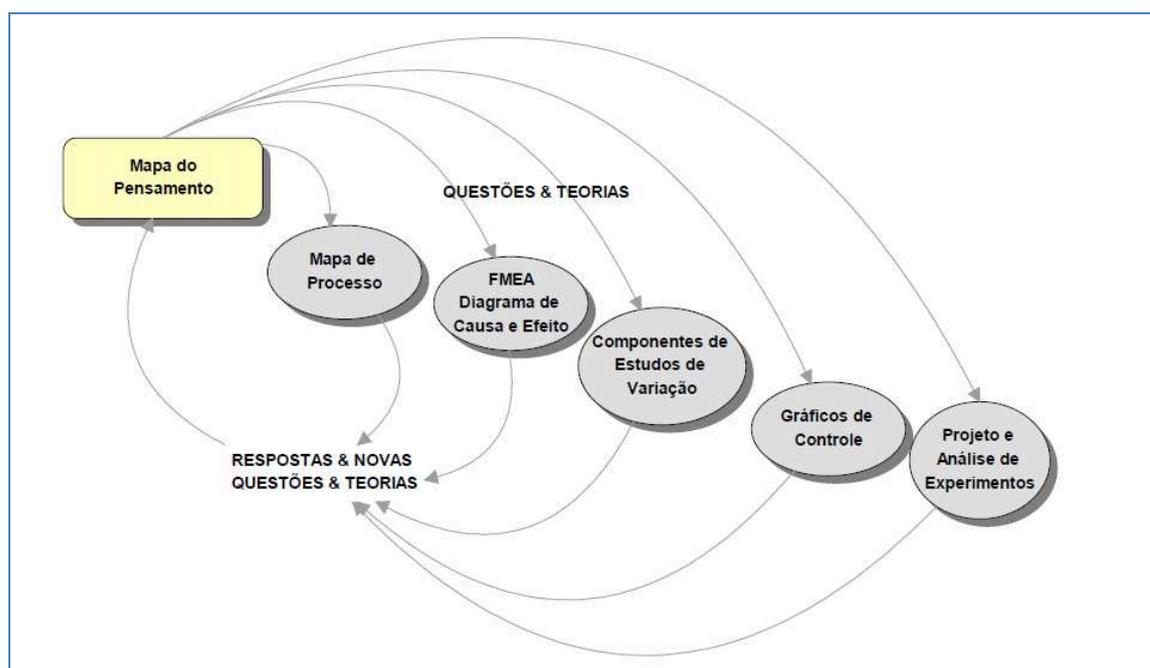


Figura 13 – Exemplo Relacionamento entre ferramentas estatísticas e o Mapa de pensamento (HILD e SANDERS, 2000)

Segundo Werkema (2002), a principal característica desta ferramenta é o seu caráter dinâmico, ou seja: ele deve ser um documento evolutivo, que funciona como um diário de bordo do trabalho. O mapa de raciocínio deverá registrar, em tempo real, as

perguntas a serem respondidas e os novos conhecimentos adquiridos na busca das respostas a essas perguntas durante o desenvolvimento do projeto.

Para ser efetivo, o mapa de raciocínio deve possuir as seguintes características (Werkema, 2002):

- Apresentar todas as atividades paralelas desenvolvidas durante a execução do projeto;
- Mostrar a relevância das perguntas formuladas, ferramentas utilizadas e atividades realizadas para o alcance da meta inicial do projeto;
- Apresentar referência aos documentos que contém o detalhamento dos dados e do uso de ferramentas necessárias ao desenvolvimento do projeto.

### **2.3.2. Fase de Medição**

Segundo Eckes (2003), medir é a segunda fase de um projeto Seis Sigmas. É nesta fase que o time estabelece técnicas para coleta de dados e avalia o desempenho atual do processo em estudo.

Para Stamatis (2004), a fase de medição é composta por cinco estágios:

- Identificar os tipos de medições e variações do processo;
- Determinar os tipos de dados;
- Desenvolver um plano de coleta de dados;
- Avaliar o sistema de medição;
- Coletar dados.

Segundo Pyzdek e Keller (2011), pode-se declarar que a qualidade começa com a medição, ou seja, só é possível estabelecer uma discussão significativa quando a qualidade é quantificada. Do ponto de vista conceitual, a medição é a atribuição de números aos fenômenos observados de acordo com determinadas regras. A medição é um requisito de todas as ciências, incluindo a ciência do gerenciamento.

Os objetivos da fase “medir” incluem:

- Definir o processo para garantir que o aquele sob investigação esteja claramente definido;
- Definir os indicadores para definir meios confiáveis de medir o processo, relativo às entregas do projeto;
- Estabelecer a linha de base do processo para qualificar os resultados operacionais atuais como forma de verificar as necessidades previamente definidas e para substanciar apropriadamente os resultados de melhoria;
- Avaliar o sistema de medição para validar a confiabilidade dos dados para o esboço de conclusões significativas.

A Figura 14 mostra esquematicamente as ferramentas que podem ser utilizadas, algumas questões de revisão e as saídas que devem ser apresentadas ao final da fase de medição de um projeto Seis Sigmas, dentre as quais destacam-se o check list, análise da capacidade do processo, análise de Pareto, definição do processo e análise do sistema de medição, sendo estes três últimos os utilizados no estudo de caso em questão.

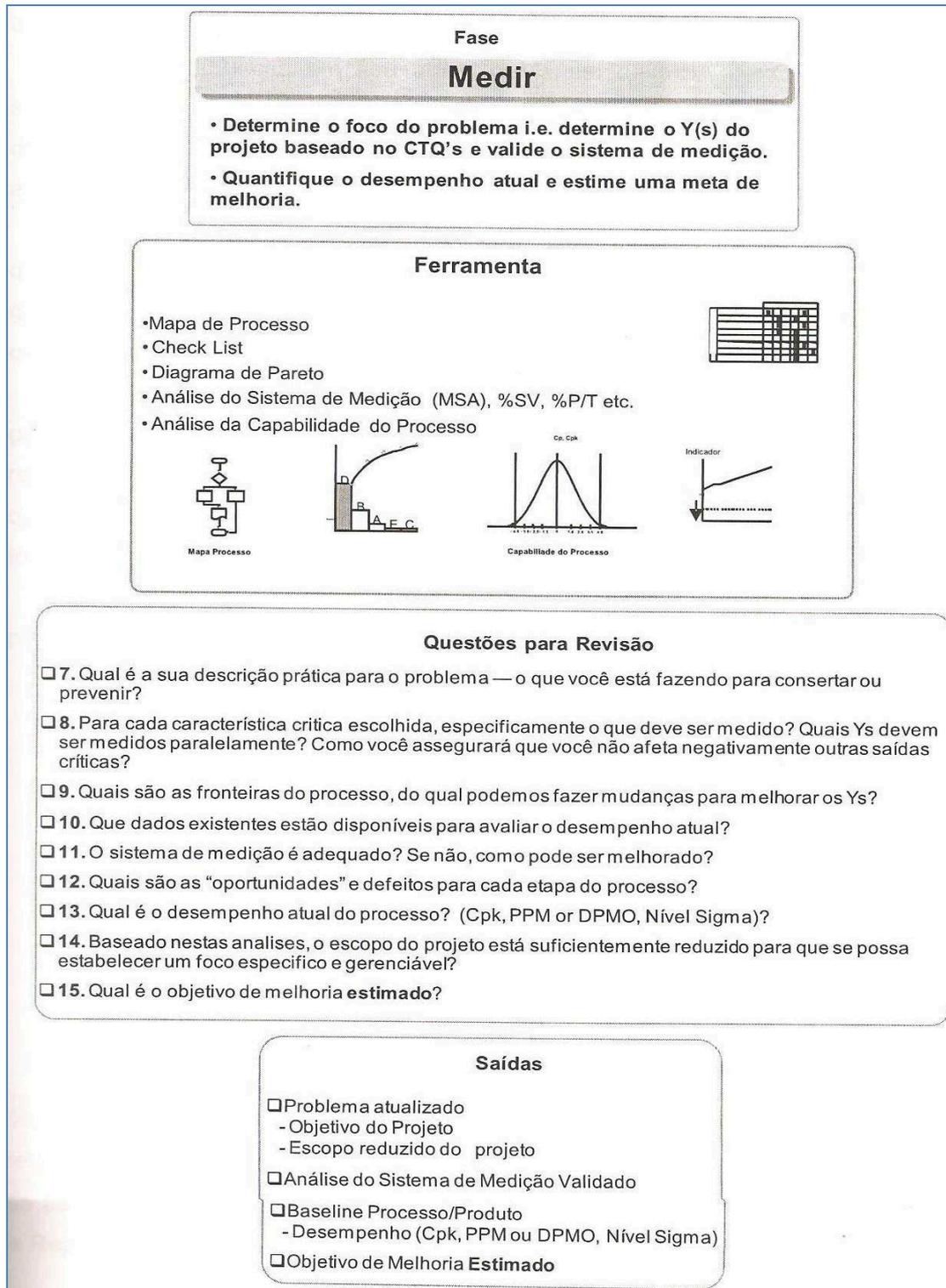


Figura 14 – Ferramentas Fase de Medição.  
(Adaptado de STAMATIS, 2004)

### 2.3.2 .1. – Análise de Pareto

Segundo Campos (1999), o método de análise de Pareto permite:

- Dividir um problema grande num grande número de problemas menores e que são mais fáceis de serem resolvidos com o envolvimento das pessoas da empresa;
- Como o “Método de Análise de Pareto” é baseado sempre em fatos e dados, ele permite priorizar Projetos;
- Da mesma forma, o método permite o estabelecimento de metas concretas e atingíveis.

A análise de Pareto é um método muito simples e muito poderoso para o gerente, pois o ajuda a classificar e priorizar os seus problemas. Por exemplo: se o gerente deseja reduzir o nível de estoques da empresa, ele pode conduzir uma Análise de Pareto que irá demonstrar que poucos itens são responsáveis pela maioria do capital estocado. Em outras palavras: existem poucos itens vitais e muitos itens triviais. O princípio de Pareto é uma técnica universal para separar os problemas em duas classes: os poucos vitais e os muitos triviais. Por exemplo: de 100 problemas de qualidade listados é possível que a solução de uns 10 a 15 representem de 80 a 90% da economia potencial total.

Segundo Reed e Sanders (2005), a Análise de Pareto é uma técnica utilizada para se identificarem problemas de qualidade com base em seu grau de importância. A lógica que respalda a análise de Pareto é que somente alguns problemas de qualidade são importantes, enquanto muitos outros não são críticos. A técnica recebeu o nome de Vilfredo Pareto, economista italiano do século XIX, que determinou que somente um pequeno percentual de pessoas controla a maior parte da riqueza. Esse conceito também é conhecido como regra 80-20, tendo sido estendida a muitas áreas. Na gestão da qualidade, a lógica do princípio de Pareto é que a maioria dos problemas de qualidade resulta de algumas poucas causas. A questão é identificar essas causas.

Uma das maneiras de usar a Análise de Pareto é elaborar um gráfico que classifique as causas da má qualidade em ordem decrescente com base no percentual de defeitos que cada uma provocou.

Segundo Pyzdek e Keller (2011), o princípio de Pareto diz que uma pequena porcentagem de processos causa uma grande porcentagem de problemas, e é útil quando procura-se reduzir a lista de opções daqueles poucos projetos que oferecem o maior potencial.

Após uma criteriosa busca por oportunidades de melhorias os líderes da empresa provavelmente deparar-se-ão com mais projetos para gerenciar do que recursos para conduzi-los. O Índice de Prioridades de Pareto (IPP) é uma maneira simples de priorizar essas oportunidades. Juran e Gryna (1992), calculam o IPP segundo Equação 02 abaixo.

$$\text{IPP} = \frac{\text{Economia} \times \text{Probabilidade de Sucesso}}{\text{Custo} \times \text{Tempo para conclusão (anos)}} \quad \text{Equação 02}$$

Um exame de perto na equação do IPP revela que ela significa o retorno sobre o investimento ajustado para a probabilidade de sucesso.

A forma gráfica de apresentar os dados estudados por esse método ficou conhecido como gráfico de Pareto ou ainda Diagrama de Pareto, conforme ilustrado na Figura 15.

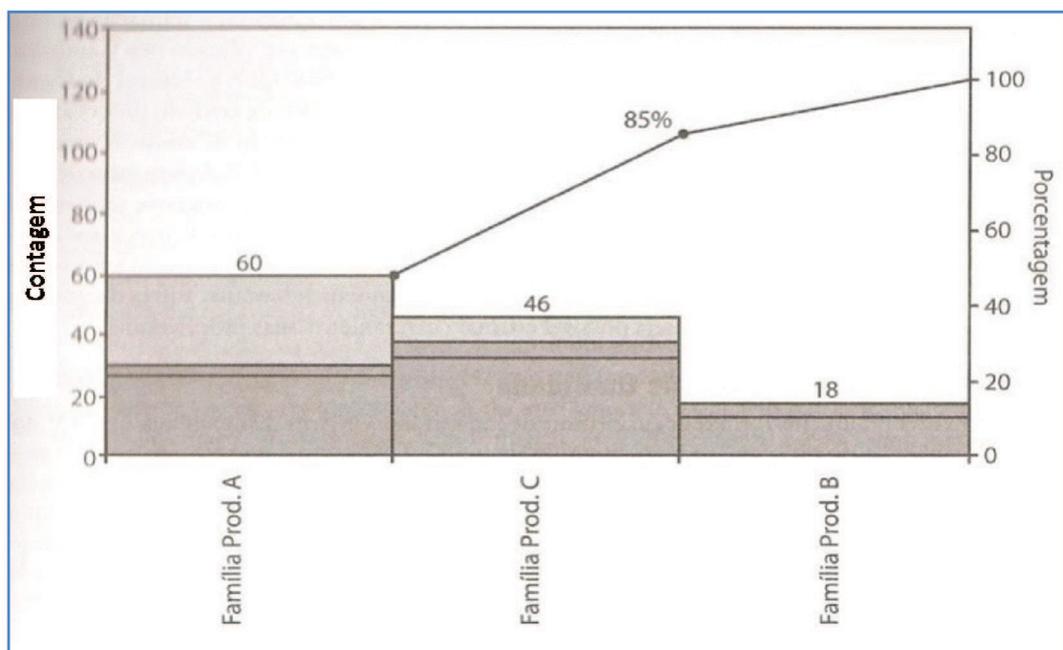


Figura 15 – Exemplo Diagrama de Pareto  
(PYZDEK e KELLER; 2011)

### 2.3.2.2. – Definição de Processo Produtivo

Para Pyzdek e Keller (2011), um processo consiste em tarefas repetitivas, realizadas em uma ordem específica. Se os processos não puderem ser definidos como uma série de tarefas repetitivas, então, na verdade, talvez existissem vários processos, ou simplesmente a falta de um processo bem definido.

Conforme definido pela Norma ISO TS (16949:2009 – Sistema de Gestão de Qualidade), para uma organização funcionar de maneira eficaz, ela tem que identificar e gerenciar diversas atividades interligadas. Uma atividade, ou conjunto de atividades, que usa recursos e que é gerenciada de forma a possibilitar a transformação de entradas em saídas pode ser considerada um processo, conforme ilustrado na Figura 16. Frequentemente a saída de um processo é a entrada para o processo seguinte. A aplicação de um sistema de processos em uma organização, junto com a identificação, interações desses processos e sua gestão para produzir as saídas desejadas, pode ser considerada como “abordagem por processo”.

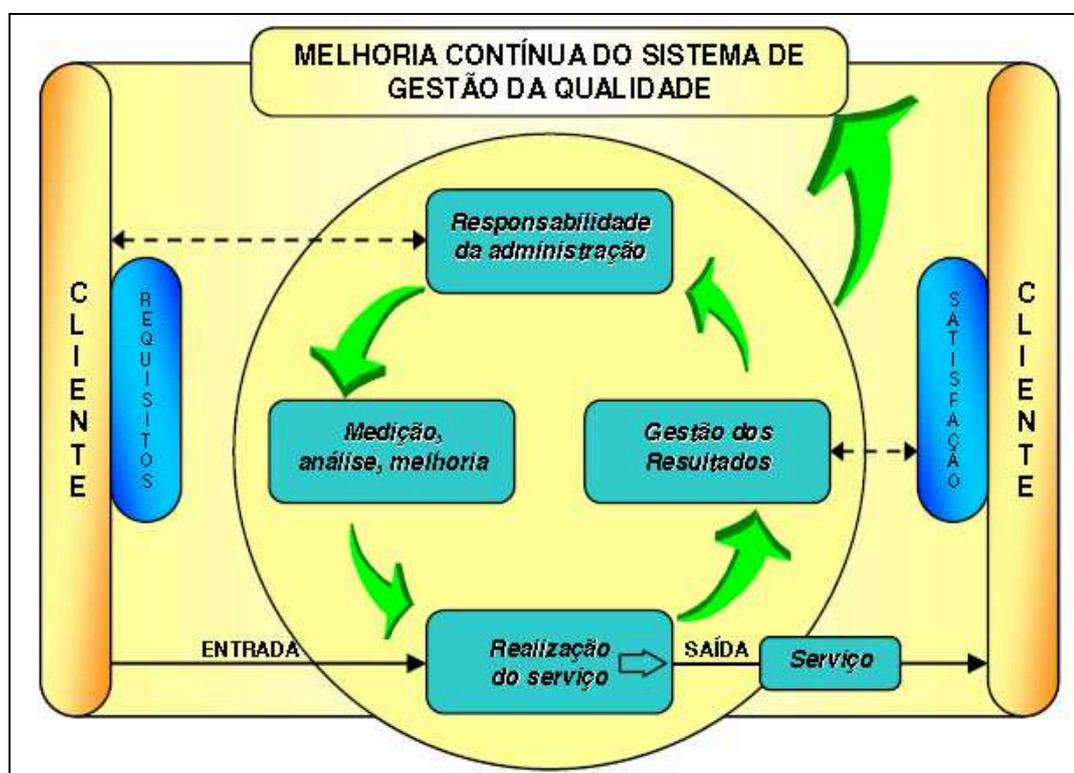


Figura 16 – Modelo de um Sistema de Gestão da Qualidade Baseado por Processo.

(Adaptado da Norma ISO TS 16949:2009)

A norma ISO TS 16949:2009 mostra que uma vantagem da abordagem de processo é o controle contínuo que ela permite sobre a ligação entre os processos individuais dentro do sistema de processos, bem como sua combinação e interação. Quando usada em um sistema de gestão da qualidade, esta abordagem enfatiza a importância do entendimento e atendimento dos requisitos, da necessidade de considerar os processos em termos de valor agregado, da obtenção de resultados de desempenho e eficácia de processo, e da melhoria contínua de processos baseada em medições objetivas.

Pinho e colaboradores (2007) dizem que um processo é composto de entradas, saídas, tempo, espaço, ordenação, objetivos e valores que resultam em uma estrutura para fornecer serviços e produtos aos clientes, e através da análise do processo é possível propor um gerenciamento, no sentido de oferecer melhorias mediante um prévio mapeamento.

Werkema (2002), além de apresentar visualmente as etapas e características, também mostra as entradas e saídas em cada etapa do processo, e pode-se utilizar para auxiliar a realização das seguintes atividades em um processo:

- Delimitação do Escopo;
- Visualização dos relacionamentos entre as diversas etapas;
- Identificação dos pontos críticos nos quais, por exemplo, pode ser necessário coletar dados;
- Localização de gargalos e de atividades que não agregam valor;
- Identificar e classificar as variáveis mais importantes em um processo.

Soliman (1999) diz que um processo integra pessoas, ferramentas e métodos para executar uma sequência de passos com o objetivo definido, de transformar determinadas entradas em determinadas saídas.

### 2.3.2.3. – Análise do Sistema de Medição – MSA

Fonseca (2008), em seu artigo, mostra que os estudos de MSA fornecem dados com dois objetivos básicos: o primeiro é conhecer as fontes de variação (operador, instrumento de medição, temperatura, entre outros) que têm maior influência nos resultados gerados pelo Sistema de Medição; o segundo objetivo é verificar se o Sistema de Medição possui propriedades estatísticas compatíveis com as especificações.

Um sistema de medição que não propicia a certeza ou confiança na medição pode levar a empresa a realizar grandes investimentos na aquisição de instrumentos e outros meios de medição. É importante identificar o que pode causar esta deficiência, antes de tomar a decisão. Além disso, estudos mal elaborados podem fazer com que a empresa direcione seus recursos para o lugar errado ou, talvez, que não precisem ser realizados.

O manual de MSA da QS-9000:2010 cita que o sistema de medição é definido como o conjunto de operações, procedimentos, dispositivos de medição e outros equipamentos, software e pessoal usado para atribuir um valor à característica que esta sendo medida.

Para Silva (2007), a análise do sistema de medição é importante para se garantir a consistência dos controles nos processos de fabricação, sobretudo no recebimento, processo e aprovação final e seu principal objetivo é avaliar a qualidade dos dados medidos pelo sistema de medição e prover subsídios para a tomada de decisão.

Segundo Luis Silva e De Toledo (2008), apesar das diferenças possíveis, existem algumas propriedades estatísticas que todos os sistemas devem ter:

- O sistema de medição deve estar sob controle estatístico, o que significa que a variação no sistema é devida somente a causas comuns e não a causas especiais;
- A variabilidade do sistema de medição deve ser pequena se comparada com a variabilidade do processo de manufatura;
- A variabilidade do sistema de medição deve ser pequena quando comparada com os limites de especificação;

- Os incrementos de medida devem ser pequenos em relação ao que for menor entre a variabilidade do processo ou os limites de especificação.

Os seis elementos essenciais de um sistema de medição genérico são: o padrão, a peça, o instrumento, a pessoa, o procedimento e o ambiente. Os fatores que afetam essas áreas precisam primeiro ser entendidos para só então serem controlados ou eliminados.

A análise do sistema de medição avalia as propriedades estatísticas relacionadas às medidas de posição e variação do sistema de medição, destacando-se as seguintes características: tendência, linearidade, estabilidade, precisão, repetitividade e reprodutibilidade.

#### **2.3.2.3.1 Tendência**

A tendência quantifica a diferença existente entre o valor real da característica medida e a média da distribuição dos resultados fornecidos pelo aparelho (Werkema, 2002), conforme visto na Figura 17. É uma parcela do erro total e é composta por efeitos combinados de todas as fontes de variação, conhecidas ou desconhecidas.

As principais causas possíveis para uma tendência excessiva são: a falta e inapropriação da calibração do instrumento ou seu desgaste excessivo, erro de linearidade, dispositivo de medição errado para a aplicação, medição da característica errada, ambiente, tamanho da peça, habilidade do operador, fadiga, paralaxe, entre outros.

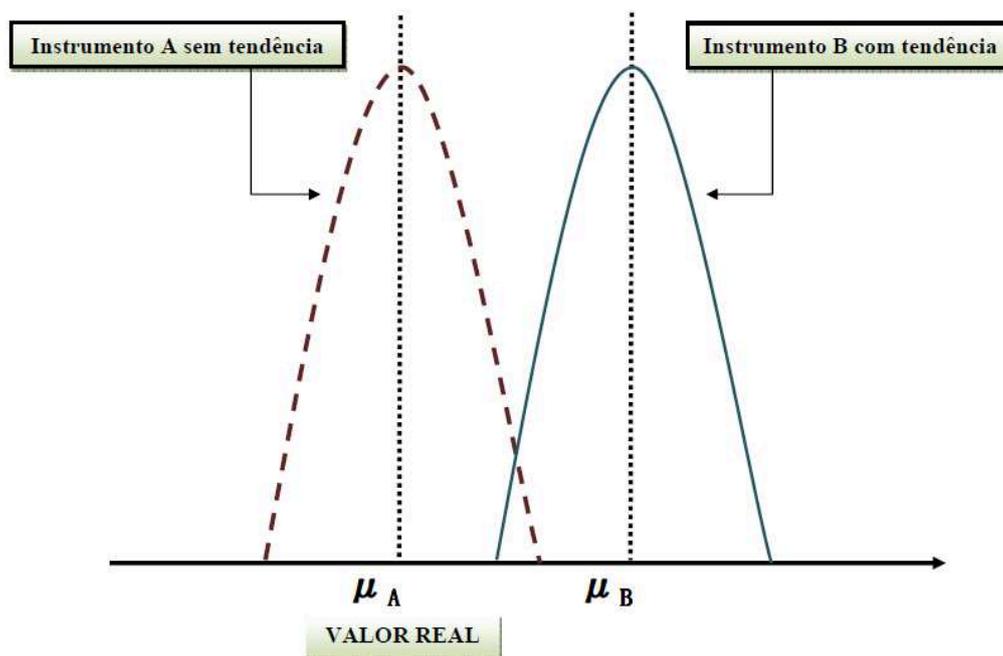


Figura 17 – Tendência.  
(WERKEMA; 2002)

### 2.3.2.3.2 Estabilidade

Werkema (2002) diz que a estabilidade também é conhecida como o “deslocamento lento e gradual” e consiste na variação total das medições obtidas com um sistema de medição aplicado sobre as peças quando se é medida uma única característica durante um período de tempo prolongado. Trata-se da variação da tendência ao longo do tempo. A análise dos gráficos de controle permite que se determine quando um dado processo é estável, ou seja, se não há presença de causas especiais de variação atuando sobre o mesmo. Para um processo ser considerado estatisticamente estável, os pontos nos gráficos de controle devem distribuir-se aleatoriamente em torno da linha média sem que haja padrões estranhos, tendências crescentes ou decrescentes, ciclos, estratificações ou misturas ou pontos fora dos limites de controle. As principais causas possíveis da falta de estabilidade são o envelhecimento ou obsolescência de equipamentos, manutenção precária, método não robusto, deformação ou distorção da peça, deslocamento dos padrões ambientais gradativos e erro na aplicação de uma constante, entre outras causas similares as de tendência.

### 2.3.2.3.3 Linearidade

A linearidade pode ser definida como a variação da tendência, no que diz respeito ao tamanho medido (Werkema, 2002). Suas causas são as mesmas da estabilidade e da tendência. A linearidade mede a variação da tendência para diferentes valores de referência na faixa de interesse, e é avaliada através da inclinação da reta formada pelos diferentes valores de referência em relação a respectiva tendência, conforme mostrado na Figura 18. Quanto menos inclinada a reta, melhor será a qualidade do sistema de medição.

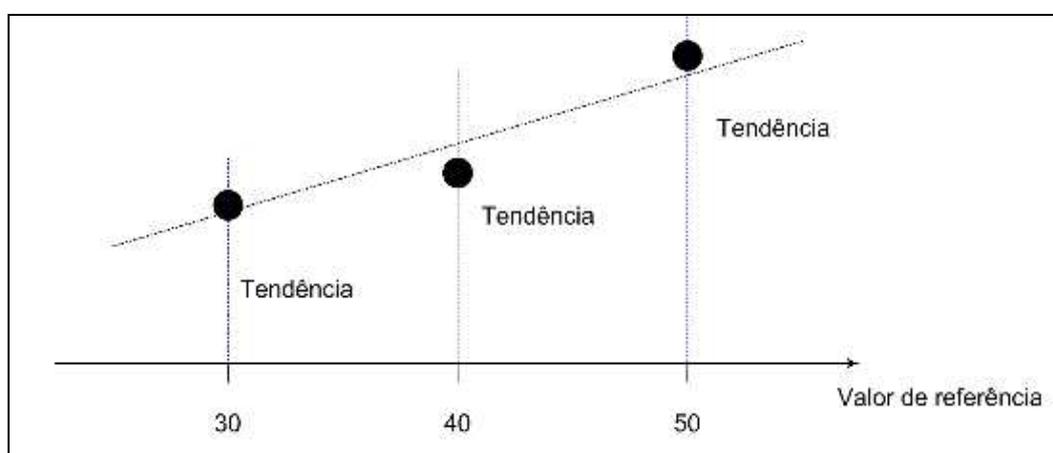


Figura 18 – Linearidade.

(WERKEMA, 2002)

### 2.3.2.3.4 Precisão

A precisão descreve o efeito líquido da discriminação, da sensibilidade e da repetibilidade ao longo do intervalo de operação de um sistema de medição (Werkema, 2002), conforme Figura 19. É frequentemente usada para descrever a variação esperada em repetidas medições feitas ao longo do intervalo de medição, que pode ser caracterizada em tamanho ou em tempo.

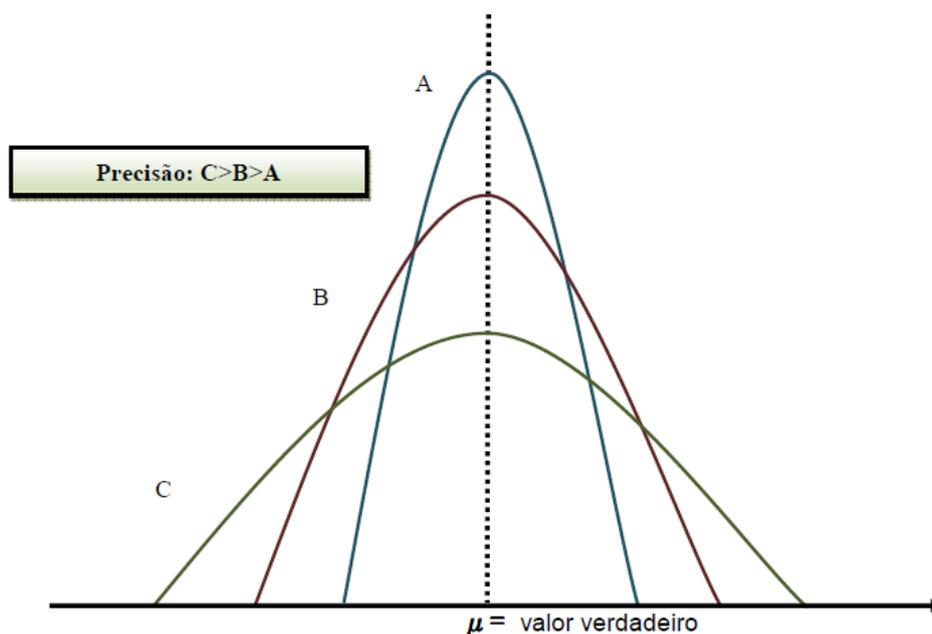


Figura 19 – Precisão.  
(WERKEMA, 2002)

### 2.3.2.3.5 Repetibilidade

É a variação inerente ao equipamento (Werkema, 2002). Trata-se de uma variação de causa comum (erro aleatório) decorrente de sucessivas medições feitas sob condições definidas. Suas condições de medição são fixas e definidas (peça, instrumento, padrão, método, operador, ambiente, entre outros). Por esta razão, a repetibilidade é também conhecida como a variação dentro do sistema, conforme ilustrado na Figura 20.

As principais causas de repetibilidade incerta são a variação da amostra, do instrumento, do padrão, do método, do avaliador, do ambiente, e falhas na aplicação (erros de observação, tamanho da peça e posição).

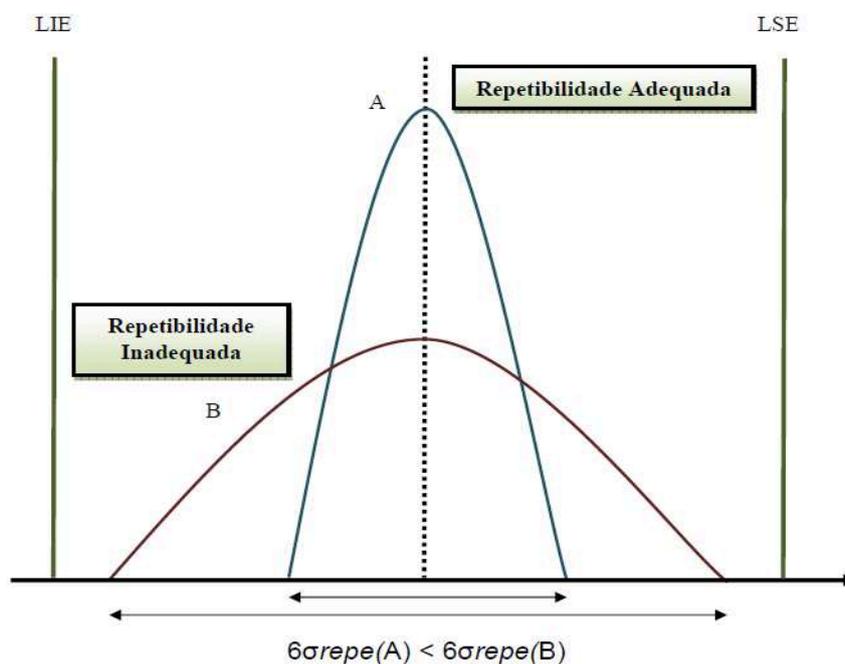


Figura 20 – Repetibilidade  
(WERKEMA, 2002)

As principais causas de uma repetibilidade incerta são: variação da amostra, variação do instrumento, variação do padrão, variação do método, variação do avaliador, variação do ambiente e falhas na aplicação (erros de observação, tamanho da peça, posição).

### 2.3.2.3.6 Reprodutibilidade

Pode-se definir a reprodutibilidade como a variação das médias das medições feitas por diferentes avaliadores, utilizando um mesmo instrumento, enquanto medindo uma mesma característica, sob as mesmas condições ambientais (Werkema, 2002). Portanto, não é aplicável a sistemas automatizados. E por esta razão, a reprodutibilidade é também conhecida como a variação das médias entre sistemas ou entre condições de medição, conforme Figura 21.

No entanto, ela não inclui apenas os diferentes avaliadores mas também os diferentes dispositivos de medição, laboratórios e ambientes. As principais causas de erros de reprodutibilidade são similares as de repetibilidade, além de treinamentos insuficientes e projeto inadequado do instrumento (permitindo interpretações subjetivas).

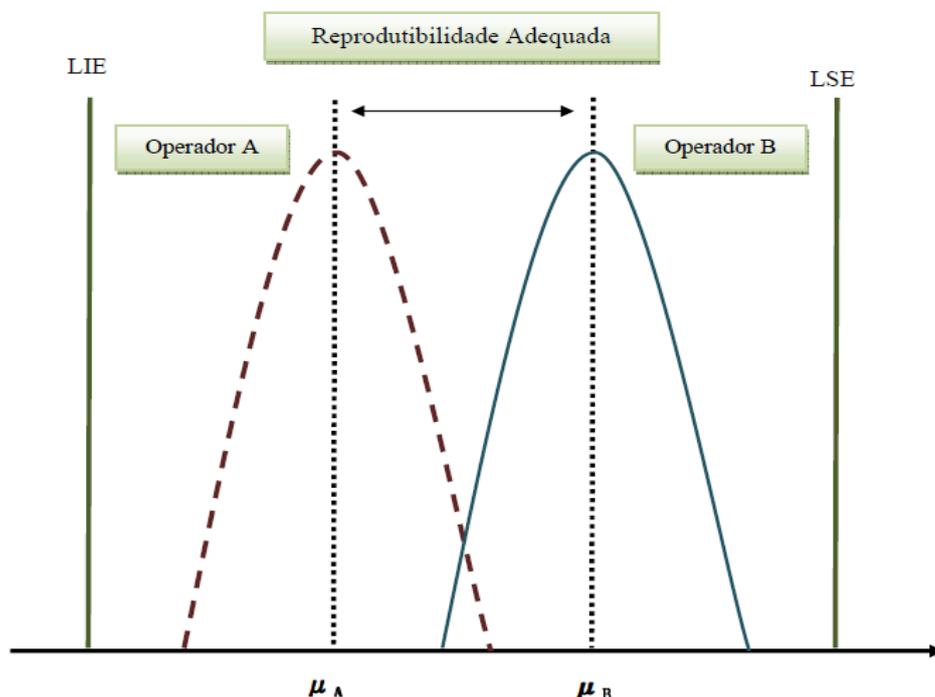


Figura 21 – Reprodutibilidade.  
(WERKEMA, 2002)

### 2.3.3. Fase de Análise

Analisar é a terceira fase de um projeto Seis Sigmas. A análise dos dados é o elemento mais importante do modelo de melhoria do processo, pois é nesta fase que se faz a descoberta da razão da existência do problema.

A fase de análise é composta por três tarefas (Stamatis, 2004):

- Avaliar a capacidade atual do processo;
- Selecionar as ferramentas de análise;
- Aplicar ferramentas de análise gráfica.

Os principais objetivos da etapa analisar inclui (Pyzdek e Keller, 2011):

- No caso de processos existentes, analisar o fluxo de valor para identificar maneiras de eliminar a lacuna entre o desempenho atual e o desperdício;

- Analisar as fontes de variação que contribuem para essa lacuna (no caso do DMAIC) ou que irão contribuir para o *design* do desempenho (no caso do DMADV);
- Determinar os *drivers*, os pequenos *x*'s que se correlacionam aos requisitos do cliente (CTQ, CTS, CTC) e influenciam significativamente processo ou design;
- Usar as técnicas de *benchmarking* descritas para avaliar os melhores produtos e serviços semelhantes.

E as ferramentas que podem ser utilizadas, na etapa de Análise, são (Pyzdek e Keller, 2011):

- Diagrama de causa e efeito;
- Análise dos efeitos e modo de falha;
- Teste de Hipóteses;
- Delineamento de experimentos;
- Matriz de causa e efeito;
- Análise estatística multivariada;
- Análise de regressão.

Dentre estas, as ferramentas utilizadas no estudo foram o diagrama de causa e efeito, o teste de Hipóteses, a análise estatística multivariada e a análise de regressão.

### **2.3.3.1. – Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa)**

O diagrama de causa-efeito, também conhecido como diagrama espinha de peixe (pela sua forma) ou diagrama de Ishikawa (nome de seu idealizador), é uma ferramenta básica que permite o mapeamento dos fatores principais e secundários que influenciam,

negativamente ou positivamente, em um resultado. Identifica possíveis causas de determinados problemas de qualidade.

Para Reed e Sanders (2005), a cabeça do “peixe” é o problema de qualidade, tais como fechos danificados em uma roupa ou válvulas quebradas em um pneu. O diagrama é desenhado de modo que a “espinha” do peixe ligue a “cabeça” à possível causa do problema. As causas podem estar relacionadas com máquinas, mão-de-obra, sistema de medição, fornecedores, materiais e muitos outros aspectos do processo de produção. Cada uma das possíveis causas pode ter “espinhas” ou “ramos” menores concernentes com cada causa.

O desenvolvimento de um diagrama de causa e efeito exige que a equipe pense em todas as possíveis causas da má qualidade.

Segundo Slack e colaboradores (2007), os diagramas de causa e efeito são um método particularmente efetivo de ajudar a pesquisar as raízes de problemas. A Figura 22 apresenta um exemplo do diagrama de Ishikawa, ou causa e efeitos, ou ainda espinha de peixe.

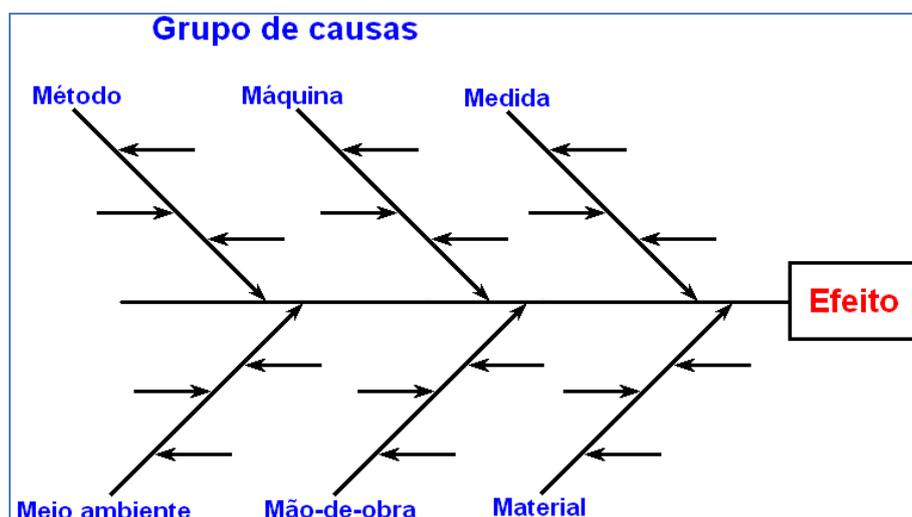


Figura 22 – Diagrama de Ishikawa.  
(CAMPOS, 1992)

### 2.3.3.2. – Teste de Hipóteses

Segundo Montgomery e Runger (2003), as hipóteses são apenas afirmações sobre os parâmetros das distribuições de probabilidades. O objetivo é tomar decisões a respeito

dessas afirmações. Frequentemente, essas decisões podem ser tomadas examinando a faixa de valores razoáveis para um parâmetro a partir de um intervalo de confiança.

Montgomery e Runger (2003) ainda afirmam que o teste de hipóteses é um dos mais úteis aspectos da inferência estatística, uma vez que muitos tipos de problemas de tomada de decisão, testes ou experimentos, no mundo da engenharia, podem ser formulados como problemas de teste de hipóteses.

A metodologia para a decisão sobre a veracidade ou falsidade de uma determinada hipótese envolve algumas etapas.

1. Definir a hipótese de igualdade ( $H_0$ );
2. Escolher a prova estatística (com o modelo estatístico associado) para tentar rejeitar  $H_0$ ;
3. Definir o nível de significância ( $\alpha$ ) e um tamanho de amostra ( $n$ );
4. Determinar (ou supor determinada) a distribuição amostral da prova estatística sob a hipótese de nulidade;
5. Definir a região crítica;
6. Calcular o valor da prova estatística, utilizando os valores obtidos na(s) amostra(s). Se tal valor estiver na região de rejeição, então rejeitar a hipótese nula; se não, a decisão será não rejeitar a hipótese nula no nível de significância determinada.

Para Kato (2003), hipótese, em estatística, é uma suposição formulada a respeito dos parâmetros de uma distribuição de probabilidade de uma ou mais populações. Esta hipótese será testada com base em resultados amostrais, sendo aceita ou rejeitada. Ela somente será rejeitada se o resultado da amostra for claramente improvável de ocorrer quando a hipótese for verdadeira.

Uma hipótese estatística é uma suposição ou afirmação que pode ou não ser verdadeira, relativa a uma ou mais populações (Werkema, 2002). A veracidade ou falsidade de uma hipótese estatística nunca é conhecida com certeza, a menos que se

examine toda a população, o que é impraticável na maior parte das situações. Desta forma, toma-se uma amostra aleatória da população de interesse e com base nesta amostra é estabelecido se a hipótese é provavelmente verdadeira ou falsa. A decisão de que a hipótese é provavelmente verdadeira ou falsa é tomada com base em distribuições de probabilidade denominadas de “distribuições amostrais”. Em estatística trabalha-se com dois tipos de hipótese.

A hipótese nula é a hipótese de igualdade. Esta hipótese é denominada de hipótese de nulidade e é representada por  $H_0$  (lê-se ‘h’ zero). A hipótese nula é normalmente formulada com o objetivo de ser rejeitada. A rejeição da hipótese nula envolve a aceitação de outra hipótese denominada de alternativa. Esta hipótese é a definição operacional da hipótese de pesquisa que se deseja comprovar. A natureza do estudo vai definir como deve ser formulada a hipótese alternativa. Por exemplo, se o teste é do tipo paramétrico, onde o parâmetro a ser testado é representado por  $\theta$ , então a hipótese nula seria:  $H_0: \theta = \theta_0$  e as hipóteses alternativas seriam:

- $H_1: \theta = \theta_1$  (Hipótese alternativa simples); ou
- $H_1: \theta \neq \theta_0 ; \theta > \theta_0$  ou  $\theta < \theta_0$ . (Hipóteses alternativas compostas).

No primeiro caso,  $H_1: \theta \neq \theta_0$ , diz-se que o teste é bilateral (ou bicaudal); se  $H_1: \theta > \theta_0$ , diz-se que o teste é unilateral (ou unicaudal) à direita e se  $H_1: \theta < \theta_0$ , diz-se que o teste é unilateral (ou unicaudal) à esquerda.

Existem inúmeros testes estatísticos, tanto paramétricos (baseados em parâmetros da amostra, por exemplo, média e desvio padrão), quanto não paramétricos (os testes não paramétricos não estão condicionados por qualquer distribuição de probabilidades dos dados em análise). Alguns itens devem ser levados em conta na escolha da prova estatística para determinada situação, como a maneira que a amostra foi obtida, a natureza da população da qual se extraiu e o tamanho da amostra disponível.

Uma vez determinados a natureza da população e o método de amostragem, ficará estabelecido o modelo estatístico. Associado a cada teste estatístico tem-se um modelo estatístico e as condições de mensuração, onde o teste é válido sob as condições especificadas no modelo e pelo nível da escala de mensuração. Nem sempre é possível

verificar se todas as condições de modelo foram satisfeitas, e neste caso é necessário admitir que as condições foram insatisfatórias. Estas condições do modelo estatístico são denominadas suposições ou hipóteses do teste. Qualquer decisão tomada através de um teste estatístico somente terá validade se as condições do modelo forem válidas. É óbvio que, quanto mais fracas forem as suposições do modelo, mais gerais serão as conclusões. No entanto, as provas mais poderosas, isto é, as que apresentam maior probabilidade de rejeitar  $H_0$  quando for falsa, são as que exigem as suposições mais fortes ou mais amplas. A probabilidade de que uma variável assumira um valor do conjunto RC (região crítica) é denominada de nível de significância do teste.

O nível de significância do teste é, na realidade, a probabilidade de se rejeitar a hipótese nula quando esta é verdadeira, sendo então a probabilidade de se cometer um erro. Como este é apenas um dos dois tipos de erro possível de ser cometido num teste de hipóteses, ele é denominado de erro do tipo I. O outro tipo de erro possível é aceitar  $H_0$  quando ela é falsa, e é denominado de erro do tipo II. Em resumo, podem-se ter as seguintes situações em um teste de hipóteses, conforme informado na Tabela 2.

Tabela 2 – Tipos de erro e Decisão correta para Teste de Hipóteses

Realidade	Decisão	Aceitar $H_0$	Rejeitar $H_0$
$H_0$ é verdadeira	Decisão correta	$1 - \alpha = P(\text{Aceitar } H_0 / H_0 \text{ é V}) = P(H_0 / H_0)$	<b>Erro do Tipo I</b> $\alpha = P(\text{Erro do tipo I}) = P(\text{Rejeitar } H_0 / H_0 \text{ é V}) = \text{Nível de significância do teste} = P(H_1 / H_0)$
	$H_0$ é falsa	<b>Erro do Tipo II</b> $\beta = P(\text{Erro do tipo II}) = P(\text{Aceitar } H_0 / H_0 \text{ é falsa}) = P(\text{Aceitar } H_0 / H_1 \text{ é V}) = P(H_0 / H_1)$	<b>Decisão correta</b> $1 - \beta = P(\text{Rejeitar } H_0 / H_0 \text{ é falsa}) = P(H_1 / H_1) = \text{Poder do teste.}$

(BREYFOGLE, 2007).

Testar hipóteses envolve determinar a magnitude da diferença entre um valor observado de uma estatística como, por exemplo, a média  $X$  e o suposto valor do parâmetro ( $\mu$ ), e então decidir se a magnitude da diferença justifica a rejeição da hipótese. O processo segue o esquema conforme Figura 23.

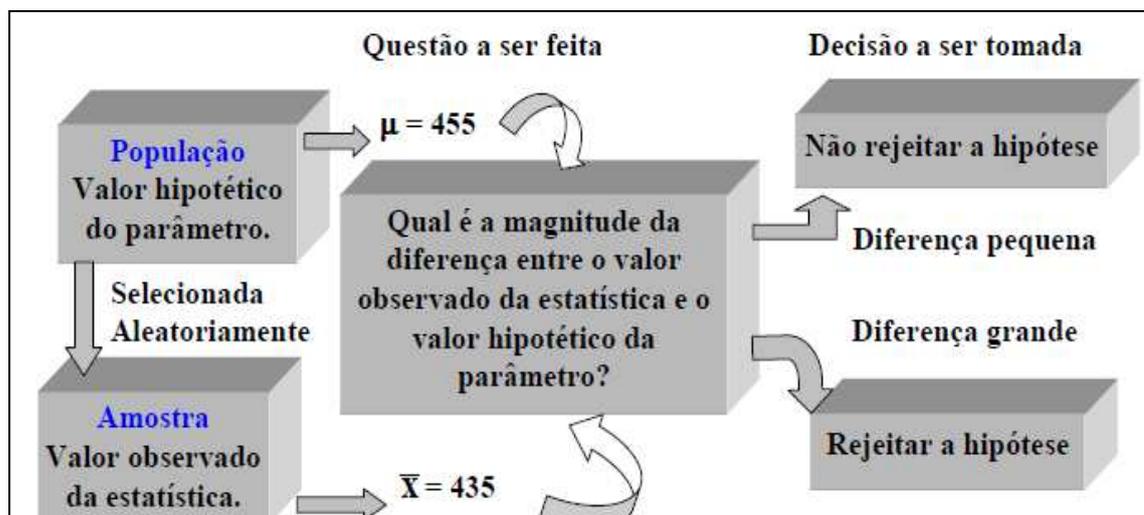


Figura 23 – A lógica dos Testes de Hipóteses  
(WERKEMA, 2002)

## Etapas do Teste de Hipóteses

### Etapa 1 – Formular as hipóteses.

Estabelecer as hipóteses nula e alternativa. A construção de um teste de hipóteses pode ser colocada, de forma geral, do seguinte modo: toma-se uma amostra da variável (ou das variáveis)  $X$  (no caso) de uma dada população, de onde se tem uma hipótese sobre um determinado parâmetro, por exemplo  $\theta$ . Esta é a hipótese nula ou hipótese de igualdade:  $H_0: \theta = \theta_0$ .

Tendo formulado a hipótese nula, é conveniente determinar qual será a hipótese aceita caso a hipótese nula seja rejeitada, isto é, convém explicitar a hipótese alternativa. A hipótese alternativa vai depender de cada situação, mas de forma geral tem-se:

$H_1: \theta = \theta_2$  (hipótese simples), ou o que é mais comum, hipóteses compostas:

$H_1: \theta > \theta_0$  (teste unilateral ou unicaudal à direita);

$H_1: \theta < \theta_0$  (teste unilateral ou unicaudal à esquerda);

$H_1: \theta \neq \theta_0$  (teste bilateral ou bicaudal) as hipóteses são do tipo composto.

### Etapa 2 – Estabelecer a estatística (estimador) a ser utilizado

Após fixar as hipóteses é necessário determinar se a diferença entre a estatística amostral e o suposto valor do parâmetro da população é suficiente para rejeitar a hipótese. A estatística utilizada deve ser definida e sua distribuição teórica determinada.

### **Etapa 3 – Fixar o nível de significância do teste.**

Fixar a probabilidade de ser cometer erro do tipo I, isto é, estabelecer o nível de significância do teste. Fixado o erro do tipo I, é possível determinar o valor crítico, que é um valor lido na distribuição amostral da estatística considerada (tabela). Este valor vai separar a região de crítica (de rejeição) da região de aceitação.

Calcular a estatística teste (a estimativa).

Através da amostra obtida, calcular a estimativa que servirá para aceitar ou rejeitar a hipótese nula. Dependendo do tipo de hipótese alternativa este valor servirá para aceitar ou rejeitar  $H_0$ . O procedimento é:

$$Teste\ estatístico = \frac{Estatística - Parâmetro}{Erro\ padrão\ da\ estatística}$$

**Equação 03**

### **Etapa 4 – Tomar a decisão.**

Se o valor da estatística estiver na região crítica, rejeitar  $H_0$ ; caso contrário, aceitar  $H_0$ .

### **Etapa 5 – Formular a conclusão.**

Com base na aceitação ou rejeição da hipótese nula, enunciar qual a decisão a ser tomada na situação do problema.

### **Tipos de Testes Paramétricos**

Os testes paramétricos podem ser divididos em testes para:

- Uma amostra com  $\sigma$  – desvio padrão – conhecido ou desconhecido;
- Duas amostras independentes;

- Duas amostras emparelhadas (dependentes);
- Várias amostras (Análise de Variância).

### Região Crítica

Segundo Kato (2003), é a região onde os valores da estatística dos testes levam à rejeição da hipótese nula. A sua área é igual ao nível de significância, e sua direção é a mesma da hipótese alternativa.

Unilateral à esquerda:  $H_0: \mu = \theta$  e  $H_1: \mu < \theta$  (onde  $\mu$  significa média populacional)



Figura 24 – Região crítica unilateral à esquerda.  
(KATO; 2003)

Unilateral à direita:  $H_0: \mu = \theta$  e  $H_1: \mu > \theta$



Figura 25 – Região crítica unilateral à direita.  
(KATO; 2003)

Bilateral:  $H_0: \mu = \theta$  e  $H_1: \mu \neq \theta$



Figura 26 – Região crítica bilateral.  
(KATO; 2003)

### 2.3.3.3. – Análise de Regressão

Segundo Montgomery e Runger (2003), a análise de regressão é uma técnica estatística para modelar e investigar a relação entre duas ou mais variáveis, também conhecida como regressão dos mínimos quadrados e mínimos quadrados ordinários.

A análise de regressão é uma coleção de ferramentas estatísticas para encontrar as estimativas dos parâmetros no modelo de regressão, sendo o objetivo principal prever o valor da variável dependente  $Y$  sendo conhecido o valor da variável independente  $X$ .

A equação de regressão é uma expressão algébrica pela qual se determina  $Y$ , e esta análise pode ser dividida em duas proporções. A Análise de Regressão Simples que diz respeito à predição de  $Y$  por uma única variável  $X$ . E a análise de Regressão Múltipla que diz respeito à predição de  $Y$  por mais de uma variável  $X$  ( $x_1, x_2, \dots$ ).

As hipóteses gerais básicas para realização de uma análise de regressão linear são:

1.  $Y$  é uma variável aleatória obtida de uma amostra;
2.  $Y$  e  $X$  estão associadas linearmente;
3. Homocedasticidade: as variâncias das distribuições condicionais de  $Y$ , dado  $X$ , são todas iguais.

Se, em conjunto com a análise de regressão, utiliza-se a estimação por intervalo, é necessária a hipótese de que as distribuições condicionais de Y dado X sejam todas distribuídas normalmente para os valores da população.

Pyzdek e Keller (2011) afirmam que o propósito é explicar a variação numa variável, isto é, como uma variável difere do seu valor médio usando a variação em uma ou mais variáveis. Suponha que se quer descrever, explicar, ou prever porque uma variável difere de sua média. Seja a i-ésima observação desta variável representada como  $Y_i$ , e seja n indicação do número de observações.

A variação nos  $Y_i$ 's (os quais se quer explicar) esta descrita na equação 03:

$$\text{Variação do Y} = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 = SS_{\text{Total}}$$

**Equação 04**

A ferramenta mais simples usada na análise de regressão é o gráfico/diagrama de dispersão, útil para avaliar as relações de causas e efeito (Pyzdek e Keller, 2011). A premissa é a de que a variável independente esteja causando uma alteração na variável dependente. Os gráficos de dispersão são usados, por exemplo, para responder perguntas como “O tempo de duração do treinamento tem alguma relação com a quantidade de sobras que um operador produz?”.

Os diagramas de dispersão exibem diferentes padrões que devem ser interpretados, conforme mostra a Figura 27.

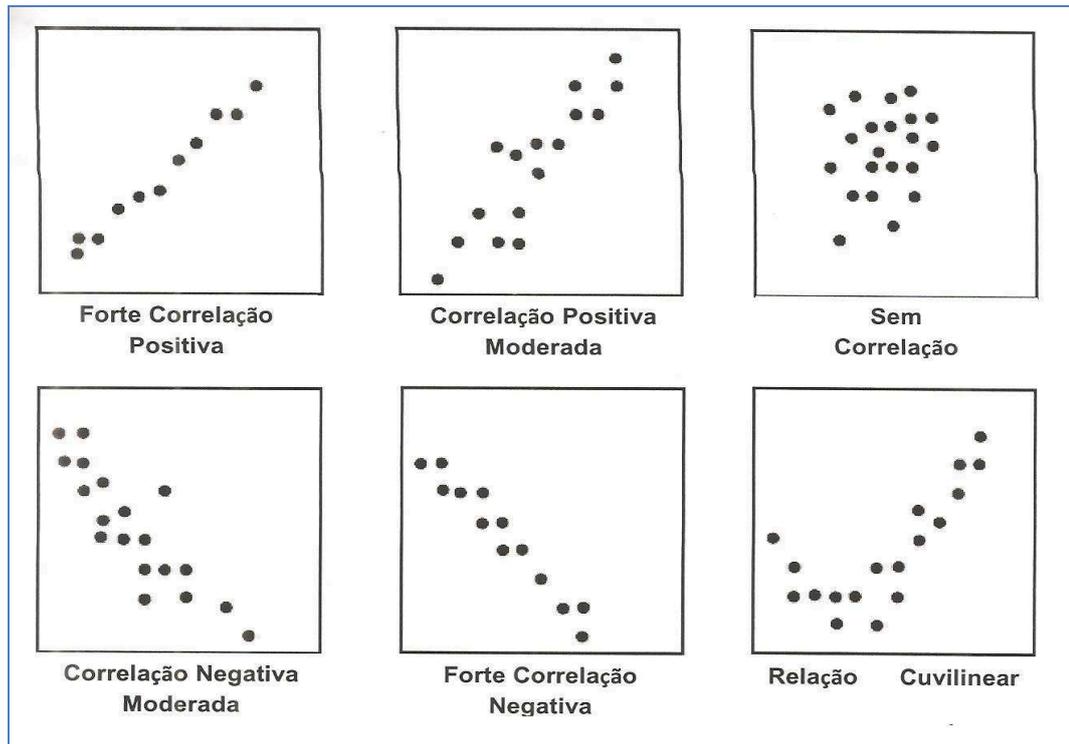


Figura27 – Guia de Interpretação do Diagrama de Dispersão  
(PYZDEK e KELLER, 2011)

Pyzdek e Keller (2011) ainda afirmam que se todos os dados caíssem em uma linha perfeitamente reta, seria fácil calcular a inclinação e a intersecção para dois pontos quaisquer. No entanto, a situação fica mais complicada quando se tem uma dispersão ao redor da linha. Isto é, para um dado valor de  $X$ , existirá mais que um valor de  $Y$ . Quando isto ocorre, tem-se um erro no modelo, conforme mostrado na Figura 28.

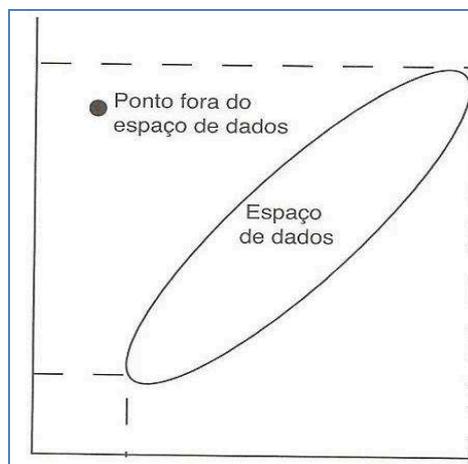


Figura28 – Erro no Modelo  
(PYZDEK e KELLER, 2011)

O modelo para uma regressão linear simples é:

$$y = a + bx + \varepsilon \quad \text{onde } \varepsilon \text{ representa o erro} \quad \text{Equação 05}$$

O desvio padrão dos erros é conhecido como erro padrão, e quando um erro ocorre, como acontece em quase todas as situações do “mundo real”, tem-se muitas possíveis linhas de modelagem dos dados. Deve-se encontrar um método que forneça, em algum sentido, uma equação que melhor se encaixe as situações do dia a dia.

O método mais usado em Seis Sigmas encontra a reta que minimiza a soma dos quadrados dos erros para todos os pontos de dados (Pyzdek e Keller, 2011). Tal metodologia é conhecida como método dos mínimos quadrados. Em outras palavras, a equação dos mínimos quadrados é descrita na Equação 06.

$$y = a + bx_i \quad \text{Equação 06}$$

Onde “a” e “b” são encontrados de forma a fazer com que a soma dos desvios ao quadrado da reta seja minimizada, conforme Equações 07 e 08:

$$b = \frac{\sum(x_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(x_i - \bar{X})^2} \quad \text{Equação 07}$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad \text{Equação 08}$$

Onde a soma é feita com todos os n valores.

#### 2.3.4. Fase de Melhoria

Melhorar é a quarta fase de um projeto Seis Sigmas. Nesta fase busca-se confirmar quais são as poucas entradas do processo (os X's) que causam impacto na sua saída (Y) (Eckes, 2003). Aqui também são desenvolvidas soluções para intervir no processo e reduzir significativamente os níveis de defeitos.

Segundo Stamatis (2004), a fase de melhoria é composta por cinco estágios:

1. Elaborar alternativas de melhorias a serem testadas;

2. Criar um mapa de processo ideal;
3. Conduzir a análise dos efeitos e modos de falha (FMEA);
4. Realizar uma análise de custo-benefício;
5. Conduzir um piloto com a melhoria proposta e validar a melhoria através de ferramentas estatísticas.

O objetivo principal desta etapa é o de implantar um novo sistema. Se alguns dos estágios acima requererem modificações em premissas anteriores, então as etapas devem ser repetidas para uma devida avaliação de uma nova proposta.

As ferramentas que podem ser utilizadas nessa etapa são:

- FMEA (Análise dos efeitos e modos de falhas);
- Análise de Árvore de Falhas (FTA);
- Análise de Segurança;
- 5S;
- Gerenciamento das restrições;
- *Level Loading*;
- Sistemas puxados;
- Processo flexível;
- Redução do tamanho do lote.

As ferramentas utilizadas neste estudo foram o FMEA, a análise de árvore de falhas (FTA), o gerenciamento das restrições, e a análise de robustez do processo (ferramenta desenvolvida pelo autor).

### 2.3.4.1. – FMEA – Análise de Efeitos e Modo de Falha

O FMEA é uma metodologia específica com foco na avaliação de sistemas, processos, *design* ou serviços com possibilidade de riscos (problemas, erros e outros) e falhas que possam ocorrer (Stamatis, 2004).

Para cada falha identificada (conhecida e com potencial), é realizada a cotação da ocorrência, severidade e detecção; verifica-se então a necessidade de ações com a criação de um plano ou ignorando o mesmo caso este não seja um item de relevância. A ênfase do FMEA é diminuir a probabilidade da ocorrência de uma falha ou a diminuição de uma falha já existente no processo, conforme pode ser observado no formulário padrão de FMEA elaborado pelo IQA (2003), no Anexo I.

Stamatis (2004) afirma que, por definição, o FMEA utiliza uma técnica baseada em sistemas utilizados na engenharia, trazendo confiança e desenvolvimento técnico organizacional. Em outras palavras, equipes para otimizar sistemas, *design*, processo, produto e/ou serviço.

A Complexidade de um problema depende não só da abordagem em si, mas também dos seguintes itens: segurança; efeitos de parada de produção, ou paradas repentinas; e planos de manutenção.

Conforme o IQA (2003), para criação de um bom FMEA e ter nele sua conclusão bem adequada, é necessário o conhecimento de quatro pré-requisitos a serem cumpridos e sempre seguidos:

- Nem todos os problemas são os mesmos dos anteriores, e nem todos tem a mesma importância;
- Conheça o Processo a ser estudado;
- Conheça o Funcionamento dos meios a serem estudados;
- Tenha sempre como estudo uma medida de prevenção.

De acordo com Pyzdek e Keller (2011), o FMEA pode ser dividido em:

1. DFMEA – DESIGN FMEA: ou FMEA de Projeto, tem como objetivo avaliar objetivamente requisitos e alternativas do Projeto, estabelecendo prioridades para ações de melhoria; documentar o raciocínio das mudanças de projeto; buscar soluções alternativas para o projeto, utilizando os conceitos de DFA (Design For Assembly) e DFM (Design For Manufacturing). Este deve ser iniciado antes da fase de concepção do projeto.
2. SFMEA – SYSTEM FMEA: No FMEA de sistema o foco são nas funções e relações que são únicas, incluem o modo de falha associados com interfaces e as interações, considerando também as falhas como única ponte, que é o foco prioritário do DFMEA.
3. PFMEA – PROCESS FMEA: O FMEA de processo tem como objetivo ajudar na análise de um novo processo, identificando, modos de falhas e seus efeitos no cliente, variáveis de processos nas quais serão focalizados controles, características especiais, estabelecendo, assim, prioridades para ações, documentando no final o raciocínio das mudanças de processo.

Luis Silva e De Toledo (2008) dizem que o PFMEA deve ser iniciado antes ou durante o estágio de execução, priorizando a construção do ferramental e levando em consideração toda a operação de manufatura, desde componentes individuais até a montagem.

### **2.3.5. Fase de Controle**

Eckes (2003) afirma que controlar é a quinta etapa do processo DMAIC em um projeto Seis Sigmas, servindo para que as melhorias realizadas sobre o processo ou produto sejam consolidadas e para checar o desempenho do processo ao longo do tempo.

Rotondaro (2002) fala que qualquer sistema fechado tende da ordem para a desordem, ou seja, se o processo não estiver sob controle, tende a ficar mais bagunçado no futuro e, portanto, a capacidade de voltar para o início do projeto é grande.

Para que a fase de Controle seja efetiva, é necessário identificar alguns fatores (Stamatis, 2004), como mais críticos a seguir:

- Elaboração de um sistema a prova de erros (Poka Yoke);
- Planejamento de análise do sistema de medição;
- Implementação do controle estatístico do processo;
- Elaboração de um plano de reação;
- Revisão do procedimento padrão operacional do processo.

É na fase de controle que a equipe deve definir como serão feitos os controles e passar estas informações para os donos do processo – aqueles que trabalham diariamente com o tema estudado.

### **3. SISTEMA DE FREIO DE MÃO**

Em se tratando de freio de mão, este é normalmente aplicado somente depois do motorista ter parado o automóvel, podendo também ser utilizado como freio de emergência para deter o automóvel, em caso de falha do sistema de freio de pé. Por lei e como item de regulamentação (motivo do artigo) é obrigatório utilizar o freio de mão quando o veículo estiver estacionado.

Segundo Costa (2002), um freio de mão mal regulado é muito perigoso pois faz correr o risco deste falhar e não conseguir travar um automóvel estacionado numa subida, por exemplo. O lento desprender do freio de mão e o suave afrouxar do pedal de embreagem enquanto se apoia o pé no acelerador constituem um ponto essencial na técnica de arranque numa subida. A alavanca do freio de mão pode atuar sobre um único cabo, ligado a uma peça articulada em forma de “T”, para transmitir o esforço com igual intensidade aos dois freios de trás, ou sobre dois cabos, cada um dos quais ligado ao freio de trás de cada roda, este último é o caso de estudo do presente artigo. Quando são utilizados freios de disco nas rodas traseiras existem, por vezes, dois pares de pastilhas sobre o disco, sendo um deles acionado hidraulicamente pelo pedal e o outro

mecanicamente por um excêntrico comandado pelos cabos do freio de mão, conforme pode ser observado na Figura 29.

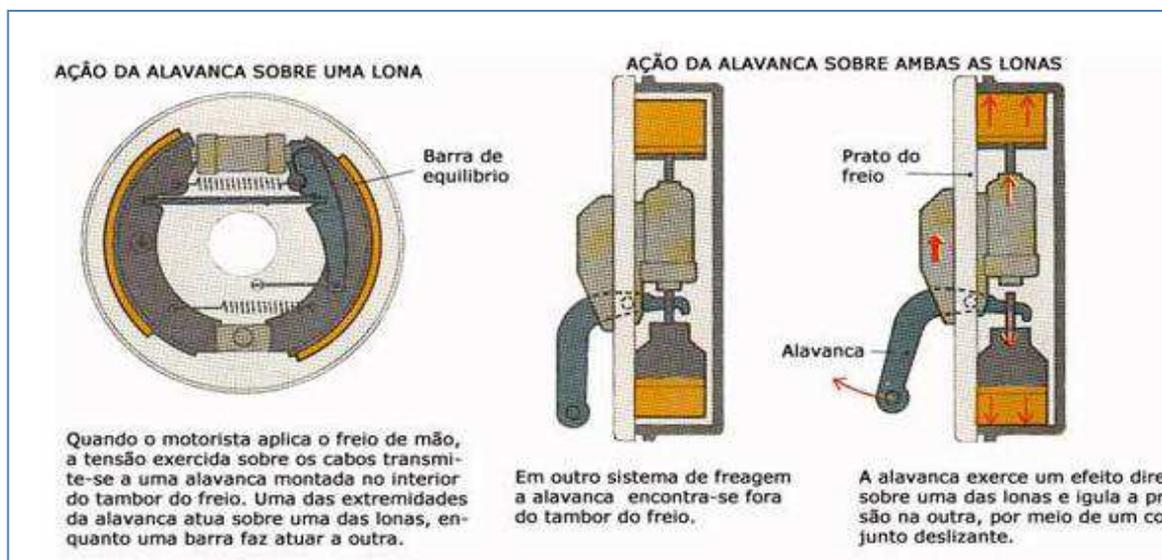


Figura 29 – Funcionamento do freio de Mão.

(COSTA, 2002)

Costa (2002) também afirma que um dos tipos de freios de disco de pinça oscilante pode ser adaptado para funcionar, como alternativa, acionado por meio da alavanca do freio de mão. Neste tipo de freio Girling (comumente chamado de Varão de Aço, com o surgimento datado de 1933) existe apenas um par de pastilhas que são acionadas por meio de uma alavanca movida por um pistão hidráulico quer ou um comando mecânico. Em outros casos, a alavanca do freio de mão atua sobre pequenos freios de tambor incorporados nos freios de discos traseiros, conforme Figura 30.

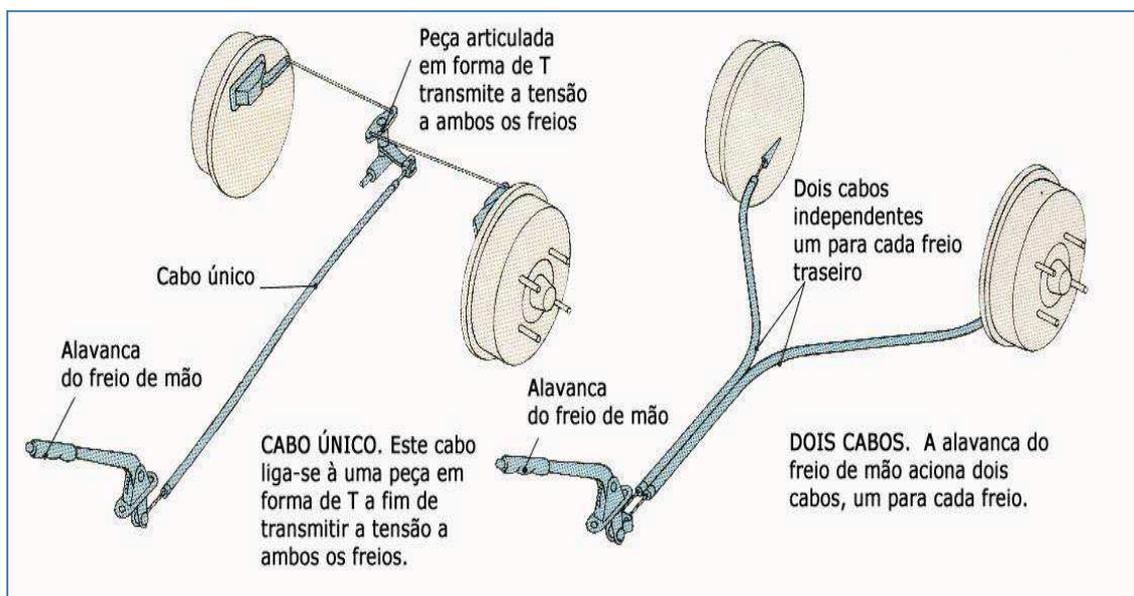


Figura 30 – Tipos de Sistema de Freio de Mão  
(COSTA, 2002)

A alavanca do freio de mão apresenta um dispositivo de serrilha e é acionada por meio de um botão sob tensão de uma mola permitindo ao motorista escolher a posição mais adequada da alavanca para obter o aperto necessário, conforme Figura 31 (Costa, 2002). A alavanca do freio encontra-se normalmente à direita do motorista, entre os dois bancos da frente. Como alternativa, pode se situar sob o painel e com mecanismo de disparo incorporado no punho; em outros projetos pode vir na forma de pedal, do lado esquerdo, com mecanismo de disparo numa pequena alavanca acima do pedal; e ainda há veículos em que o pedal se destrava automaticamente após o engate da transmissão automática, graças a um seletor de vácuo que encontrado na alavanca de engate da transmissão e uma válvula ativadora de vácuo que faz o destravamento dos dentes.

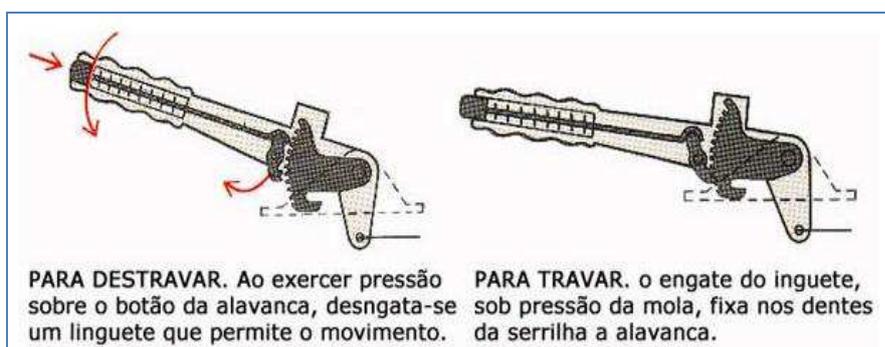


Figura31 – Princípio de Travamento e Destravamento do Freio de Mão.  
(COSTA, 2002)

#### 4. METODOLOGIA

O método utilizado para coletar e analisar os dados é o de abordagem quantitativo-qualitativo, conforme Richardson (1999), utilizando-se de conceitos estatísticos de tratamento quantitativo dos dados para avaliação e monitoramento do processo. Já o método qualitativo refere-se à avaliação de determinado fenômeno aos padrões e limites de variabilidade dentro das etapas de fabricação do produto, sendo estes dados coletados em estudo de campo e fornecidos pela própria Empresa.

De acordo com os critérios de classificação de uma pesquisa propostos por Vergara (2005), esta pesquisa caracteriza-se como explicativa, metodológica e, no que diz respeito aos fins e aos meios, é também classificada como documental, bibliográfica e estudo de caso. Para melhor exposição dos resultados obtidos, utilizaram-se ferramentas e técnicas que mostram caminhos e procedimentos necessários para identificar problemas.

Quanto aos meios, a pesquisa foi realizada em um posto de controle sob a forma de estudo de caso, acompanhando a produção no chão de fábrica, e utilizando o FMEA para monitorar as variáveis provenientes do mesmo. Adicionalmente, este estudo apresenta características de pesquisa documental, pois foram utilizados dados e relatórios sobre a produção no período de realização do estudo, além da pesquisa bibliográfica desenvolvida por meio de livros e artigos científicos.

O controle da regulagem do freio de mão é realizado na empresa por análises diárias feitas pelo operador, em intervalos fixos, em uma carta de controle denominada “batonagem”, onde se registra o controle a ser apresentado no capítulo de resultados.

A organização dos dados foi realizada de forma resumida, mostrando os dados de forma agrupada em intervalos de tempo e utilizando cálculos estatísticos para mostrar com maior clareza os resultados obtidos.

Para a realização da pesquisa, utilizou-se de planilhas eletrônicas para tabulação dos dados, e nos cálculos para a elaboração das cartas (ou gráficos) de controle utilizou-se também o software MINITAB®, afim de estudar toda parte estatística do processo.

## **5. ESTUDO DE CASO**

Este capítulo apresenta a implementação da metodologia Seis Sigmas em um processo de melhoria em um posto de uma indústria automotiva, utilizando para este o processo DMAIC, conforme apresentado no capítulo 2. Apresenta-se ainda a utilização das técnicas e ferramentas estatísticas em cada etapa do DMAIC.

O Estudo foi desenvolvido no posto de regulagem de freio de mão de uma empresa automotiva de veículos leves, sendo este um item de regulamentação conforme resolução do Departamento Nacional de Transito. Neste estudo, apresenta-se a realização de um projeto de melhoria com uma abordagem Seis Sigmas no equipamento de regulagem e controle (banco de rolos), devido aos resultados de defeitos num período inferior a um mês de produção ultrapassarem a quantidade defeitos do ano anterior inteiro.

A opção pela utilização da metodologia Seis Sigmas na busca da solução para o problema foi uma decisão estratégica da alta administração da organização com o objetivo de resolver este problema (crônico), já que outros programas de qualidade desenvolvidos na empresa não tiveram o mesmo sucesso em outros estudos de caso. A partir desta decisão, que se estendeu para os três turnos de produção da empresa, a diretoria elaborou o programa Seis Sigmas buscando dentro das equipes de processo e produto gestores que pudessem animar tais equipes, visando a diminuição dos defeitos.

A animação das equipes é realizada diariamente, num período máximo de uma hora, onde todos os envolvidos têm a oportunidade de expor ideias, analisá-las e verificar a melhor forma de aplicação. O estudo de caso do freio de mão foi o precursor de muitos outros estudos de caso de sucesso dentro da empresa através da aplicação do DMAIC.

### **5.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO REGULAGEM**

A regulagem do freio de mão é, atualmente, realizada por uma máquina automática, Figura 32, assim como nas demais plantas da empresa. Essa nova regulagem foi implantada na empresa logo após o aumento de cadência da mesma, em janeiro de 2012.

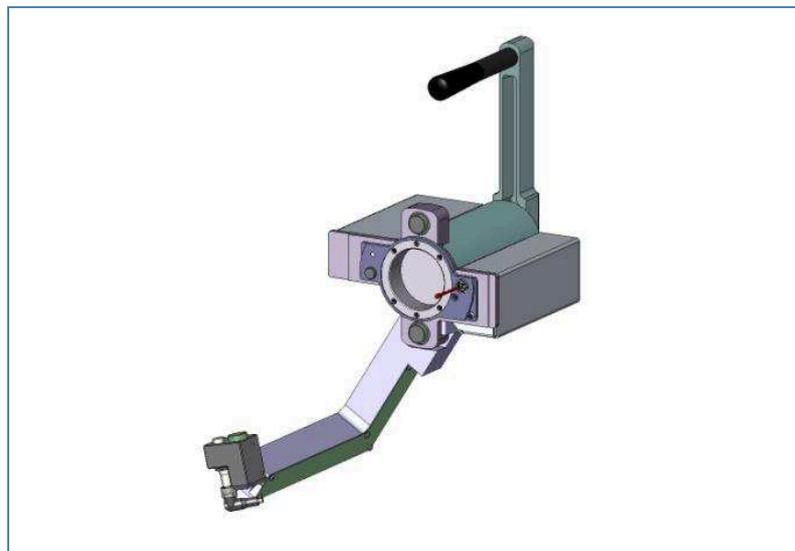


Figura 32 – Equipamento Utilizado para Regulagem do Freio de Mão

O objetivo deste novo processo é de realizar a regulagem através do próprio disco ou tambor de freio, sem necessidade de realizar esforço mecânico na alavanca; um avanço no estudo de freios, já que a empresa é a primeira no Brasil a possuir esta metodologia de regulagem.

O Estudo será realizado em um veículo que não possui freios ABS, com freio a tambor traseiro de oito polegadas. Essa simplificação é necessária devido a parametrização do equipamento, pois ela é específica para cada modelo de veículo, cada sistema de freio e cada tipo de roda, permitindo assim um valor de torque frenagem específico.

O esquema simplificado do processo de regulagem é apresentado na Figura 33.

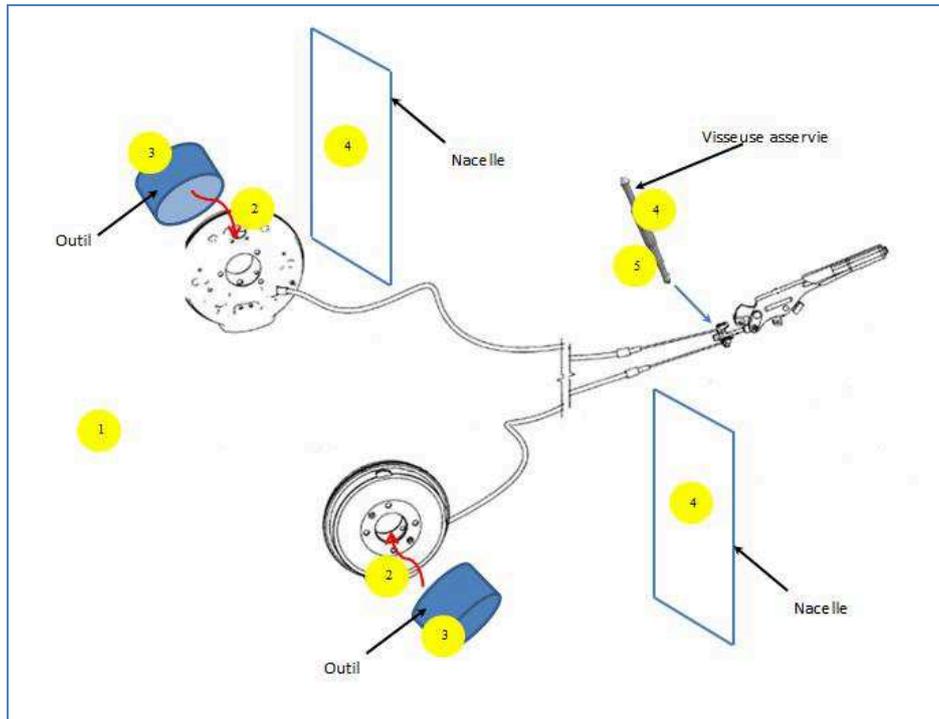


Figura 33 – Esquema de Regulagem do Freio de Mão

## 5.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO CONTROLE

O controle do freio de mão atualmente é realizado dentro do Banco de Rolos, que tem como objetivo avaliar vários testes dinâmicos, substituindo uma pista de teste por um equipamento que é capaz de simular as condições mais extremas dos veículos em um tempo menor que o da pista de teste, sendo um destes o teste de rampa (controle realizado anteriormente na pista). Este controle tinha como objetivo a análise sobre uma rampa ascendente em  $15^\circ$ , conforme regulamentação brasileira, e os esquemas de como era realizado o ensaio e de como é feito hoje são apresentados nas Figuras 34 e 35, respectivamente.



Figura 34 – Zona Aclave – Teste Pista.

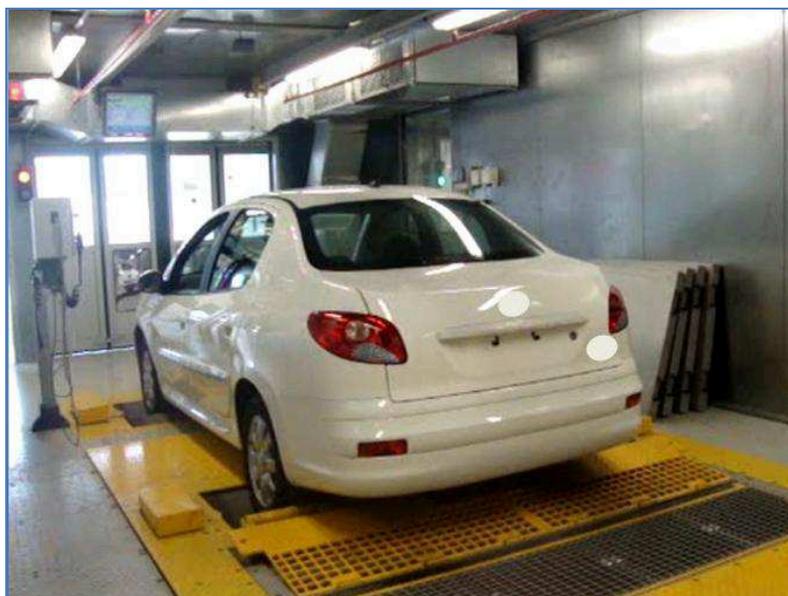


Figura35 – Banco de Rolos.

### 5.3. ANÁLISE DO PROBLEMA

Com a entrada da regulação do freio de mão automático e com a realização do controle através do banco de rolos, sucedeu-se uma série de eventualidades que precisaram ser estudadas. Um grande problema foi o aumento no número de DVT (defeito de veículos já terminados), cerca de 30% em um período de 10 dias, conforme Figura 36.

FAMILLE/SILHOUETTE :		Date début : 15/02/2012 01:00	Date fin : 25/02/2012 00:59	Pareto calculé le : 24/02/2012 15:48:01	
GROUPE DOM.REG.=VTB PRS=AVEC		Nbr RFS : 65	Nbr vh ACOM : 156	DVT : 0,417	
RFS	Libellé RFS	Nature	Libellé Nature	Nb RFS	% RFS
9ENK0	MECANISMO FREIO DE MAO	96300	CONTROLE BANC NOK	<u>20</u>	30,80 %

Figura 36 – DVT Controle Mecanismo Freio de Mão

Diante deste fato, foi criada uma equipe para estudar tal problema e verificar o porquê no ano de 2011 não existia o problema relacionado a freio de mão e em 2012 esse número espantosamente cresceu com o aumento de cadência de veículos, conforme Gráfico 01.

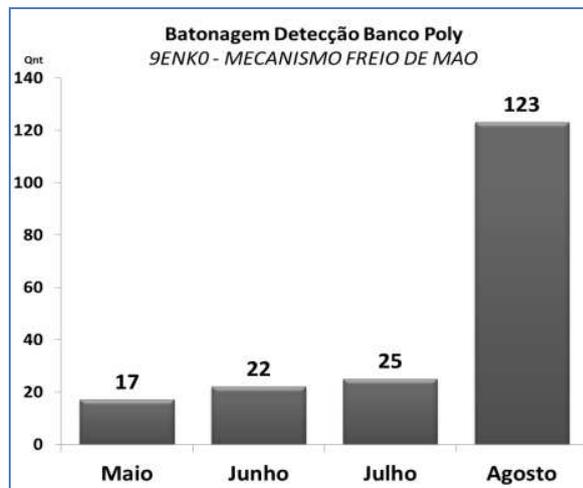


Gráfico 1 - Detecção Defeitos Freio de Mão

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Na condução deste trabalho, utilizou-se a metodologia Seis Sigmas junto a abordagem do DMAIC para identificar a causa raiz dos problemas de regulagem de freio de mão. Problemas gerados em algumas partes específicas do processo, posto de regulagem e controle. Neste tópico serão detalhados os resultados obtidos com a aplicação dos Seis Sigmas.

### **6.1. FASE DE DEFINIÇÃO**

Após a verificação em linha e o levantamento de dados nos postos de retoque, constatou-se que o número de veículos retrabalhados crescia de uma forma nunca vista na empresa: em apenas 1 mês foram retrabalhados cerca de 650 veículos, o que corresponde a uma produção de 2 dias.

O custo de um retrabalho desta magnitude é de, aproximadamente, cento e cinquenta reais, pouco pelo valor mas quando se trata de uma demanda muito grande pode ocasionar uma perda enorme para a empresa no final de um ano.

Neste retrabalho, são considerados como custo o tempo, a mão de obra, a regulagem, o controle e a troca de peças, caso necessário (sendo esta o pior caso, gerando um custo seis vezes maior). Tomando uma média de trezentos e cinquenta retrabalhos por mês e um custo médio de trezentos e cinquenta reais por retrabalho, estima-se uma perda de R\$ 1.470.000,00 por ano, equivalente ao preço de aproximadamente sessenta e quatro carros populares (valor base R\$ 23000,00 por veículo).

O Gráfico 02 mostra as quantidades de retrabalhos realizados durante o período de Outubro de 2011 a Maio 2012, e é interessante notar o crescimento dos retrabalhos ao longo dos meses.

Os dados coletados neste período serão utilizados como base no estudo, servindo para avaliar a melhoria do processo e a efetividade das ações de melhoria durante o projeto.

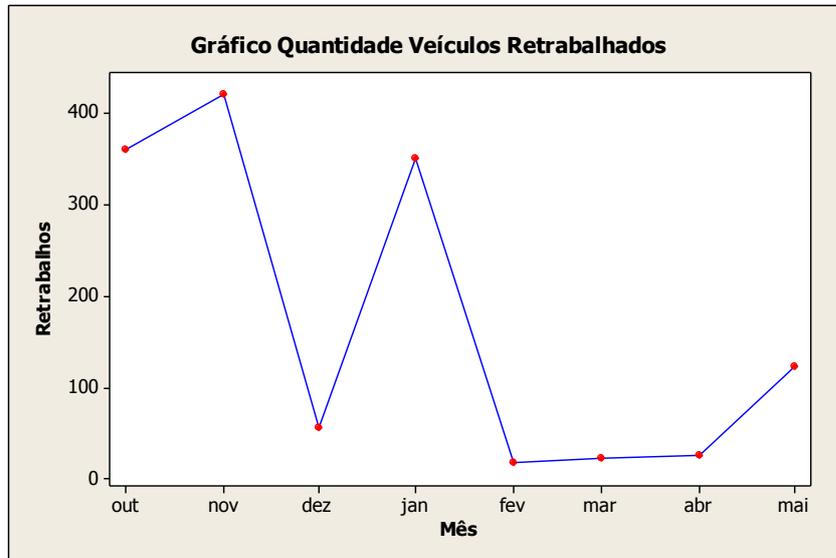


Gráfico 2 – Veículos retrabalhados entre out/2011 e mai/2012.

### 6.1.1. Mapa de Raciocínio

Logo no início do processo Seis Sigmas, foi apresentado o mapa de raciocínio à equipe envolvida, mostrando uma visão de como eliminar o problema de má regulagem do freio de mão. A Figura 37 ilustra este mapa.

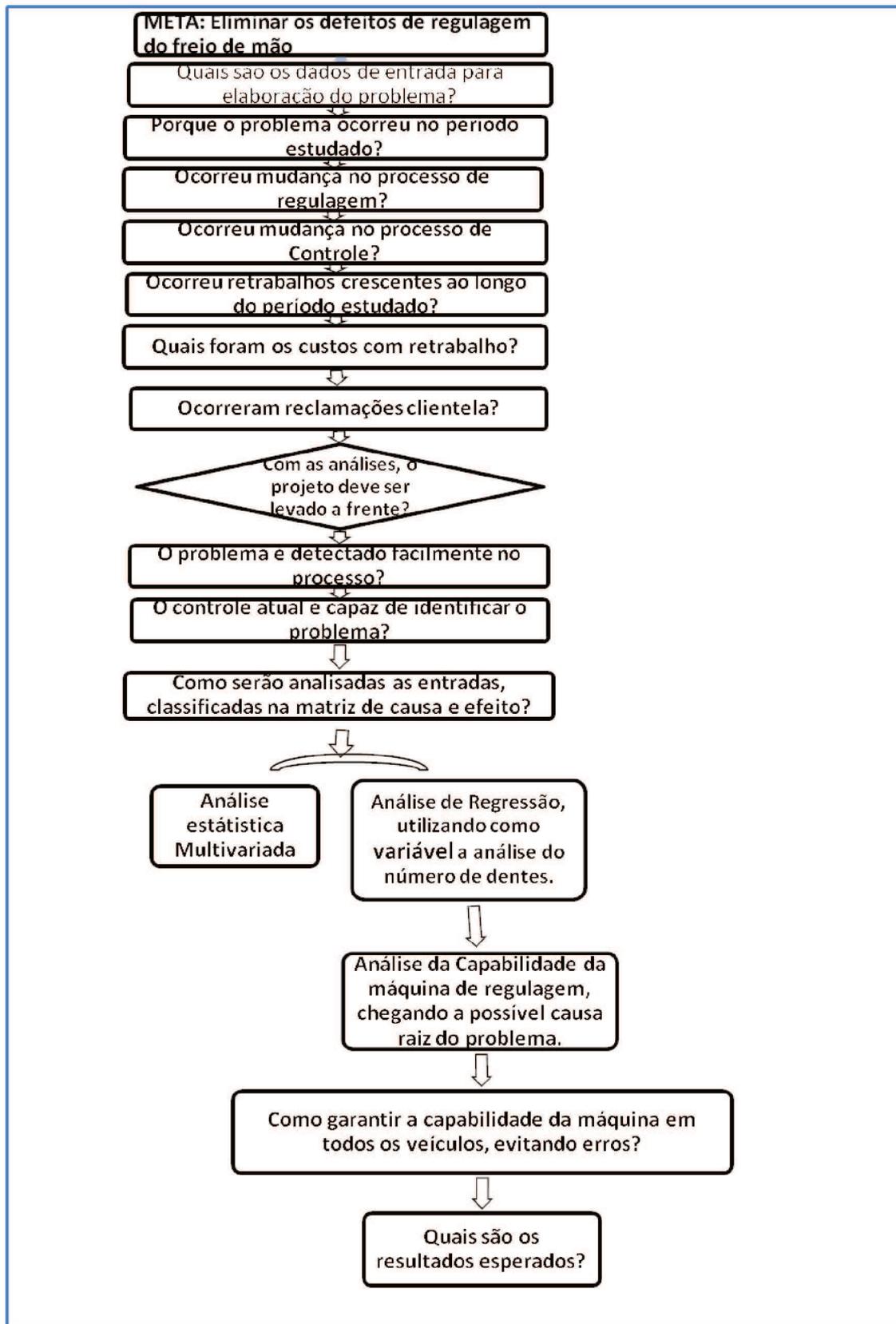


Figura 37 – Mapa de Raciocínio

### 6.1.2. Mapa de Processos

Como inicialmente o problema tratava-se da regulagem do freio de mão, a equipe deslocou-se ao posto onde se realiza a mesma atividade para elaborar um mapa de processo, verificando as entradas e saídas.

Durante a construção do mapa de processo, a equipe verificou a importância de uma correta avaliação dos problemas de má regulagem, como capacidade da máquina e estudo do novo processo, além da formação dos operadores do posto e da realização de reciclagem das operações com estes.

Esses operadores realizam também outras operações agregadas no posto, sendo a regulagem realizada como ordem primária no posto. A Figura 38 mostra a estrutura do posto estudado.

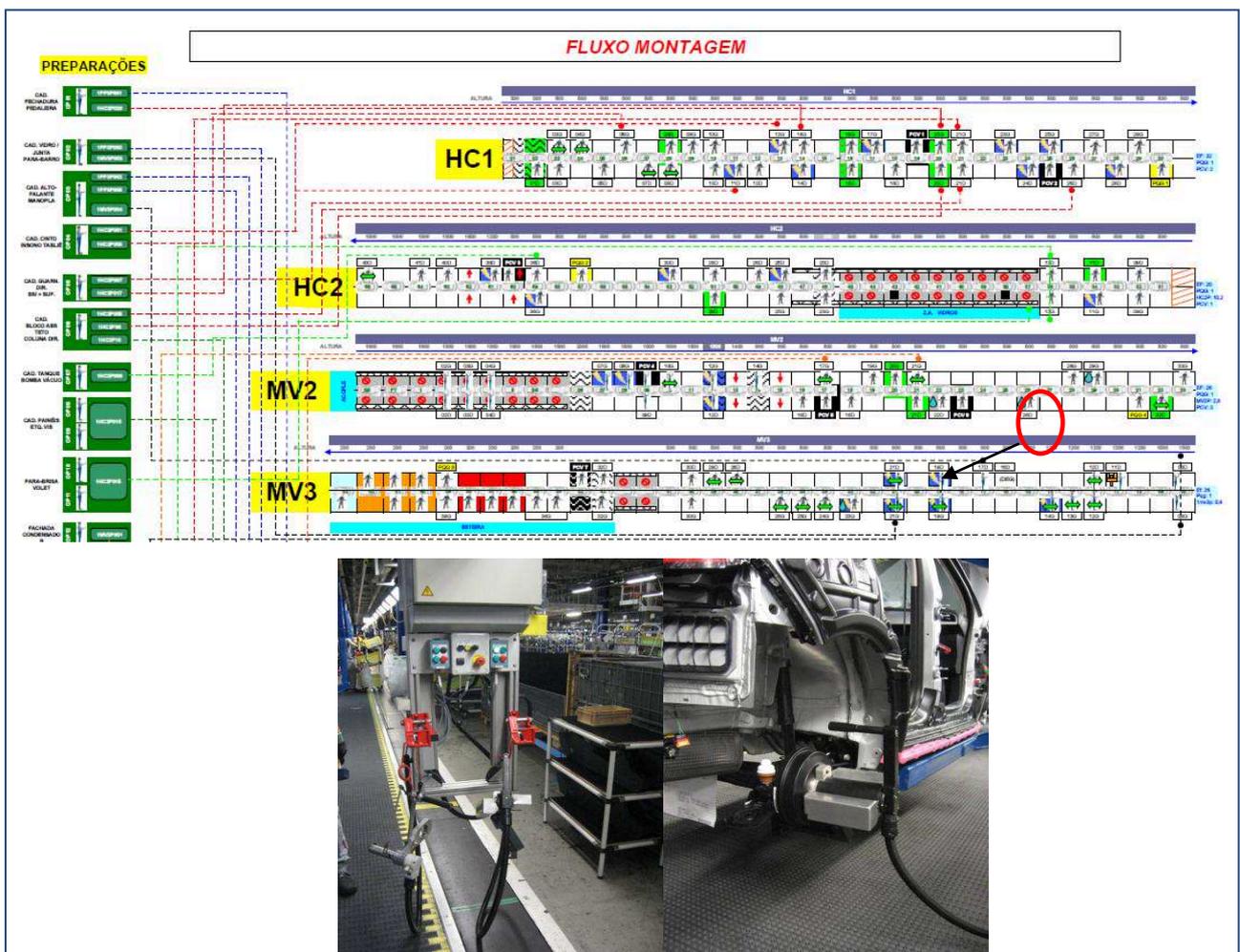


Figura 38 – Posto Regulagem Freio de Mão

O mapa de processos do posto analisado é mostrado na Figura 39.

DIAGRAMA DE FLUXO DE UM PROCESSO					
<b>Veículos</b>	T3 / A8 - N78	<b>Prédio:</b>	Montagem	<b>Data:</b>	23/06/2008
<b>Peça:</b>	Freio de mão T1 / T3 / A8 - N78				
<b>Piloto/Animador:</b>	Anderson				
Nº Operação	Tipo de Operação	Designação da Operação	Classe**	Meios	
10	●	Ligar e montar o contator do freio de mão	-	Operador	
20	●	Fixar freio de mão / assoalho	⊖ <sup>S</sup>	Operador	
30	●	Conexão cabos do freio de mão / embaixo da carroceria	-	Operador	
40	●	Colocar cabos freio de mão / Alavanca	-	Operador	
50	●	Regulagem freio de mão	⊖ <sup>S</sup> <sub>R</sub>	Operador	
Página 1					
<b>Legenda:</b>					
* Tipo de operação:	●	Operação de fabricação	**Classe:	⊖ <sup>S</sup>	Segurança
	■	Operação de controle		⊖ <sub>R</sub>	Regulamentação
	→	Movimento		⊖ <sup>S</sup> <sub>R</sub>	Segurança e Regulamentação
	▽	Estocagem no magazin			
	D	Estocagem temporária			

Figura 39 – Diagrama de Processo.

Com a criação do mapa de processo, a equipe conduziu algumas análises para medir o problema utilizando ferramentas essenciais dos Seis Sigmas.

## 6.2. FASE DE MEDIÇÃO

Esta etapa iniciou-se com a definição do processo, provindo do mapa de processo realizada na etapa anterior. A definição do processo foi elaborada através de um

*brainstorming*, listando as variáveis críticas do processo, que interferem nas características essenciais para uma boa regulagem do freio de mão; o diagrama de causa e efeito que surgiu do *brainstorming* é ilustrado na Figura 40.

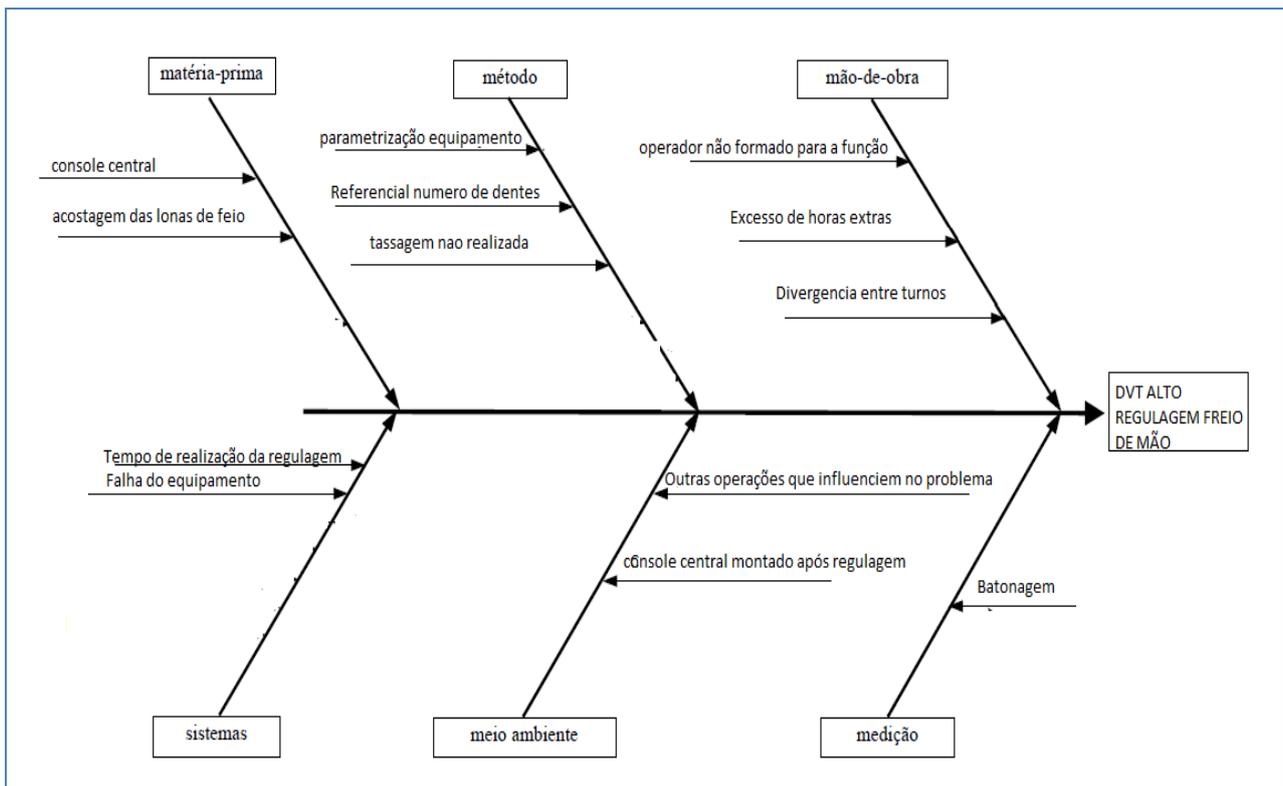


Figura 40 – Diagrama de Causa e Efeito

### 6.2.1. Diagrama de Pareto

Para verificação da importância das variáveis a serem estudadas e analisadas, elaborou-se um diagrama de Pareto baseado em uma análise anterior dos dados obtidos no diagrama de causa efeito. Estes dados foram compilados em uma matriz, e nesta fez-se uma análise de gravidade, tempo de reação (solução de problema) utilizando uma escala de 1 a 10, e logo após através de uma soma de quadrados chegou-se ao grau de importância de cada variável para obtenção das características de qualidade, conforme visto na Figura 41.

MATRIZ DE CAUSA E EFEITO					
ÍNDICE DE IMPORTANCIA AO CLIENTE		10	8		
		1	2	3	
		SAÍDA	Freio de Mão Mal regulado	Freio de Mão mal Montado	IMPACTO TOTAL
PROCESSO	ENTRADAS	PONTUAÇÃO DA ENTRADA			
1	MONTAGEM	Operador não Formado para Função	3	4	25
2	MONTAGEM	Excesso de Hora Extra	4	4	32
3	MONTAGEM	Divergência entre Turnos	4	4	32
4	Controle	Batonagem	7	7	98
5	CONTROLE	Console Central Montado após Regulagem	5	5	50
6	REGULAGEM	Tempo de Realização da Regulagem	6	6	72
7	REGULAGEM	Falha Máquina	9	9	162
8	REGULAGEM	Parametrização do Equipamento	8	9	145
9	CONTROLE	Referencial de controle de dentes de engrenagem Freio de Mão	8	9	145

Figura 41 – Matriz de Causa e Efeito.

As variáveis priorizadas foram transferidas para um FMEA (Anexo 2) dando sequencia ao estudo de identificação das variáveis mais influentes do processo, utilizando-se das tabelas de criticidade, gravidade (Anexo 3) e das tabelas de frequência e não detecção (Anexo 4), a fim de realizar a análise de quais são os problemas e quais os temas devem ser controlados e vigiados.

Após o preenchimento da matriz e o cálculo dos valores de importância, elaborou-se um diagrama de Pareto para ilustrar a situação. Nesta análise, foram escolhidas as variáveis com um alto teor de problemas de qualidade para abordagem imediata, as demais formas tratadas em estudo de FMEA.

Para uma melhor análise, a equipe adotou um procedimento de batonagem de veículos no posto de controle (banco de rolos), mostrando assim uma eficiência de junção de operações, conforme Figura 42.

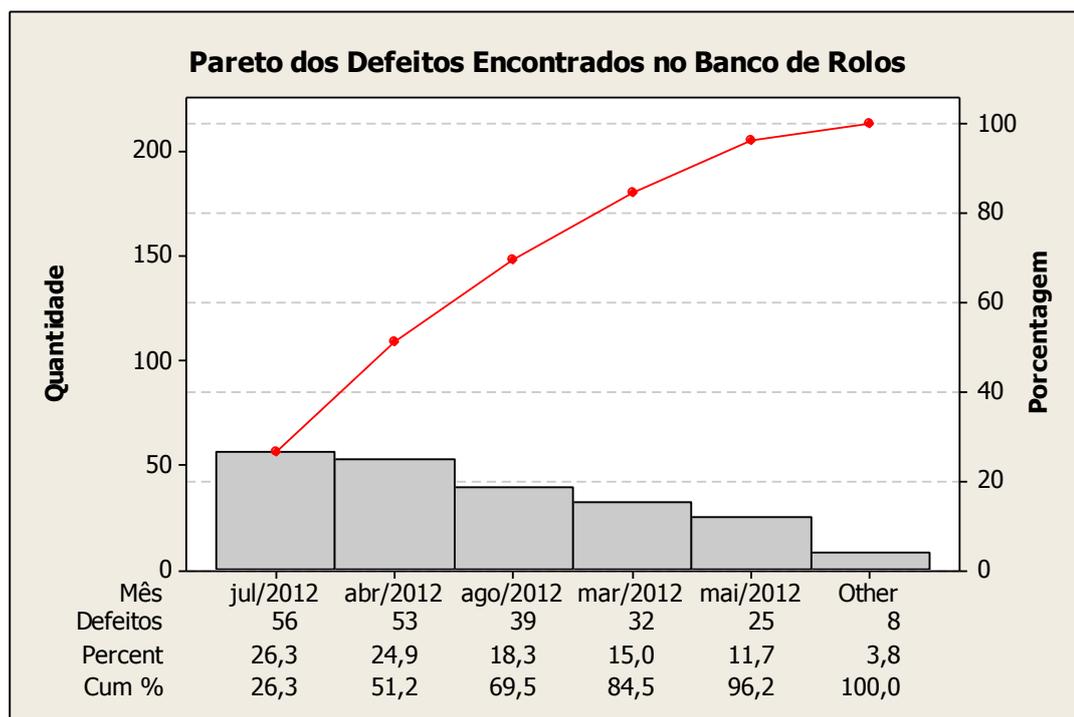


Figura 42 – Diagrama de Pareto da batonagem, veículo em banco de rolos.

Utilizando as variáveis priorizadas, iniciou-se a análise dos dados históricos de quantidade de dentes necessários para realizar a frenagem em uma rampa de 15°. O objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho da máquina de regulagem de freio de mão (novo processo), relacionado ao banco de rolos (novo controle). Se a regulagem da máquina atingir os parâmetros anteriores estabelecidos pela Engenharia de Produto, estará de acordo com a Engenharia de Processo e Qualidade.

### 6.2.2. Descrição do Processo

Após verificação do diagrama de causa e efeito, foi possível construir o processo através de um fluxograma, levando-se em conta somente o processo de regulagem de freio de mão, já que este é o estudado.

Considerando a análise do processo, a equipe dividiu-se em dois pequenos grupos, um atuando na definição processo de regulagem e outro atuando no processo de acostagem das lonas do freio dentro do campo fornecedor, gerando assim um fluxograma de processo interno, uma análise de produto (cabos, tambor de freio, carroceria e alavanca), e uma análise da máquina.

O Fluxograma apresentado na Figura 43 mostra como é realizada a regulagem do freio de mão, visto que a criticidade e representatividade perante os problemas de produto são bem maiores, pois os veículos em rampa de 15° estariam perdendo a funcionalidade de frenagem em aative, conforme especificação de produto, onde o veículo deveria permanecer parado entre uma solicitação na alavanca de freio de 3 a 6 dentes de engrenagem.

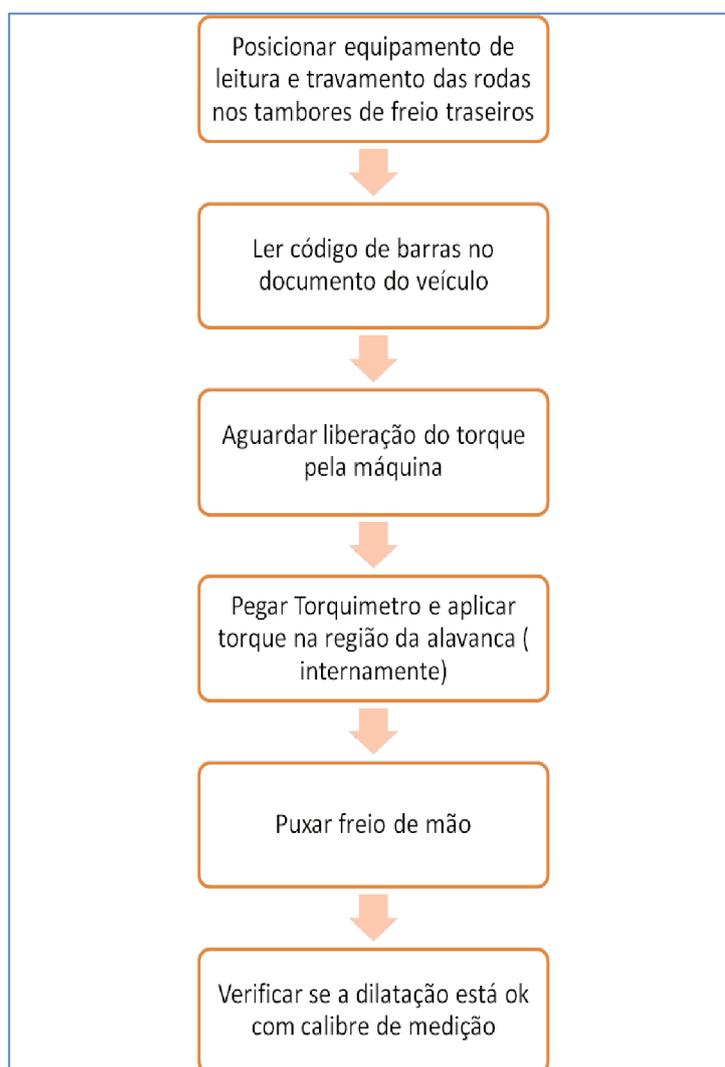


Figura 43 – Fluxograma do Processo de Regulagem do Freio de Mão

### 6.2.3. Análise do Sistema de Medição

Os dados para o MSA foram coletados através de três ensaios industriais contemplando dez veículos por ensaio, sendo cinco veículos preparados para reprovação e cinco veículos preparados para aceitação final, ou seja, veículos com intervalo de

frenagem em aclave de 15° entre 3 e 6 dentes de engrenagem, conforme ilustra a Figura 44.



Figura44 – Condição de Análise do Ensaio.

Com isso, procedeu-se a coleta de informações por duas equipes por turno, sendo uma com intenção de realizar o controle no banco de rolos e outra realizando controle em rampa. Cada equipe contemplava um auditor de qualidade, um integrante da área de processos e um1 piloto. Ao todo, foram realizadas dez leituras aleatórias por turno durante uma semana, mudando as equipes diariamente, totalizando no final de uma semana trezentas leituras, e a avaliação do sistema de medição foi feita através dos valores de repetitividade e reprodutibilidade, conforme Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Repetitividade do Sistema de Controle freio de Mão

Análise no Banco de Rolos			
OPERADOR	QUANTIDADE TOTAL DE VEICULOS ANAISADOS	QUANTIDADE DE LEITURAS COM REPETITIVIDADE	Nível de Concordância
AUDITOR	50	49	98%
PILOTO	50	45	90%
PROCESSISTA	50	38	76%
Análise no Rampa de 15°			
OPERADOR	QUANTIDADE TOTAL DE VEICULOS ANAISADOS	QUANTIDADE DE LEITURAS COM REPETITIVIDADE	Nível de Concordância
AUDITOR	50	35	70%
PILOTO	50	42	84%
PROCESSISTA	50	41	82%

Tabela 4 – Reprodutibilidade do Sistema de Controle freio de Mão

Análise no Banco de Rolos			
OPERADOR	QUANTIDADE TOTAL DE VEICULOS ANAISADOS	QUANTIDADE DE LEITURAS COM REPRODUTIBILIDADE	Nível de Concordância
AUDITOR	50	50	100%
PILOTO	50	38	76%
PROCESSISTA	50	50	100%
Análise no Rampa de 15°			
OPERADOR	QUANTIDADE TOTAL DE VEICULOS ANAISADOS	QUANTIDADE DE LEITURAS COM REPRODUTIBILIDADE	Nível de Concordância
AUDITOR	50	50	100%
PILOTO	50	50	100%
PROCESSISTA	50	41	82%

A partir dos resultados, pode-se dizer que o sistema de medição utilizado no estudo de caso é capaz de identificar os defeitos de regulagem de freio de mão, pois os níveis de reprodutibilidade e repetitividade são maiores que 70%.

Embora o mapa de processo tenha apontado inicialmente que poderiam existir erros operacionais, a equipe percebeu com a análise dos resultados que outros fatores poderiam influenciar, como capacidade do processo e capacidade do produto. Com isso, a equipe retornou a matriz de causa e efeito para realizar uma nova análise.

### 6.3. FASE DE ANÁLISE

#### 6.3.1. Diagrama de Causa e Efeito

A matriz de causa e efeito deve ser analisada cuidadosamente pela equipe, por ser uma ferramenta subjetiva e importante, que requer uma crítica confiável.

Neste estudo de caso, após a análise de medidas, observou-se que existem quatro variáveis a serem analisadas de perto, consideradas como variáveis de entrada de Valor de Impacto Total; e há outras duas selecionadas através da análise crítica da equipe. As Variáveis de Impacto total são:

- Capacidade do Meio de Regulagem Freio de Mão;
- Capacidade do Processo;
- Parâmetros de Controle;

- Parâmetros de Produto.

As variáveis de entrada selecionadas através da análise crítica da equipe de trabalho foram:

- Número de Dentes de engrenagem avaliados na rampa;
- Batonagem do Processo (Controle dos itens de processo realizado pelo operador sobre cada veículo, através de uma ficha onde se preenche os campos de defeito, operador, turno, retoque), Ok / NOK.

Com a matriz de causa e efeito concluída, a equipe definiu quatro diferentes estudos utilizando variáveis diferentes a fim de identificar a causa raiz dos defeitos de regulagem de freio de mão. Os estudos definidos foram:

- Análise estatística multivariada com as variáveis de entrada do meio de regulagem freio de mão sendo os parâmetros de produto e os de controle. O objetivo desta análise foi avaliar a existência de alguma tendência na quantidade de defeitos frente a variação do produto e forma de controle.
- Análise de regressão com a capacidade de processo e a da máquina, a fim de verificar a variabilidade da variável de saída relativa ao número de dentes, causada pela variabilidade nos processos e capacidade do meio.
- Análise de regressão com a capacidade de processo e os parâmetros de controle, identificando uma relação entre a metodologia da regulagem e o método de controle final de regulagem do freio de mão.

### **6.3.2. Análise Estatística Multivariada**

Neste estudo de caso, o objetivo foi avaliar se a variável de saída relativa à regulagem do freio de mão apresenta alguma relação, ou tendência, baseada na variação das variáveis de entrada.

As variáveis de entrada características do sistema de freio de mão, parâmetros de produto e controle, foram parametrizadas a seguir:

- Parâmetros do produto:
  - Cabos: 9670582180, 9670582280 e 9670582380.
    - Comprimento do cabo (mm): 1788,7; 1795,7; 1790,1.
    - Diâmetro do cabo (mm): 8,1; 9,5; 10.
- Parâmetros de Controle:
  - Número de dentes: 3, 4, 5 e 6.

Neste estudo, foram coletadas cem amostras de veículos, aleatoriamente, com os cabos citados anteriormente, e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 45.

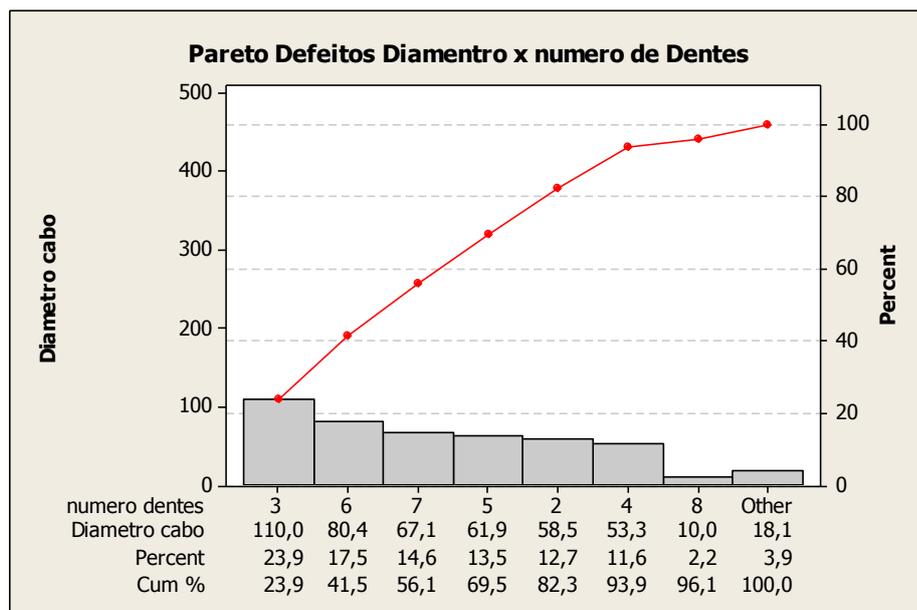


Figura 45 – Análise Pareto conforme Variáveis

Antes da análise estatística, os especialistas da engenharia de produto acreditavam que o maior problema estaria na máquina de regulação de freio de mão, relacionada ao parâmetro.

Através da análise do gráfico, percebe-se que não existe nenhuma tendência de variação da quantidade relativa ao diâmetro e comprimento dos cabos, ou seja, todos os valores ajustados estão parametrizados na máquina, e em nenhum dos parâmetros

estudados foi encontrada tendência significativa onde a variação da variável de saída poderia ser explicada pela variação da variável de entrada.

Sendo assim, o efeito mais construtivo deste estudo foi a quebra do paradigma de que os parâmetros de produto citados acima são os causadores dos defeitos de má regulagem do freio de mão.

### 6.3.3. Análise de Regressão com a Capabilidade de Processo e Capabilidade da Máquina

Para realização da análise de regressão linear, fez-se antes a capacidade do processo utilizando como análise a relação de 3 a 6 dentes de engrenagem como resultado favorável, como visto na Figura 46.

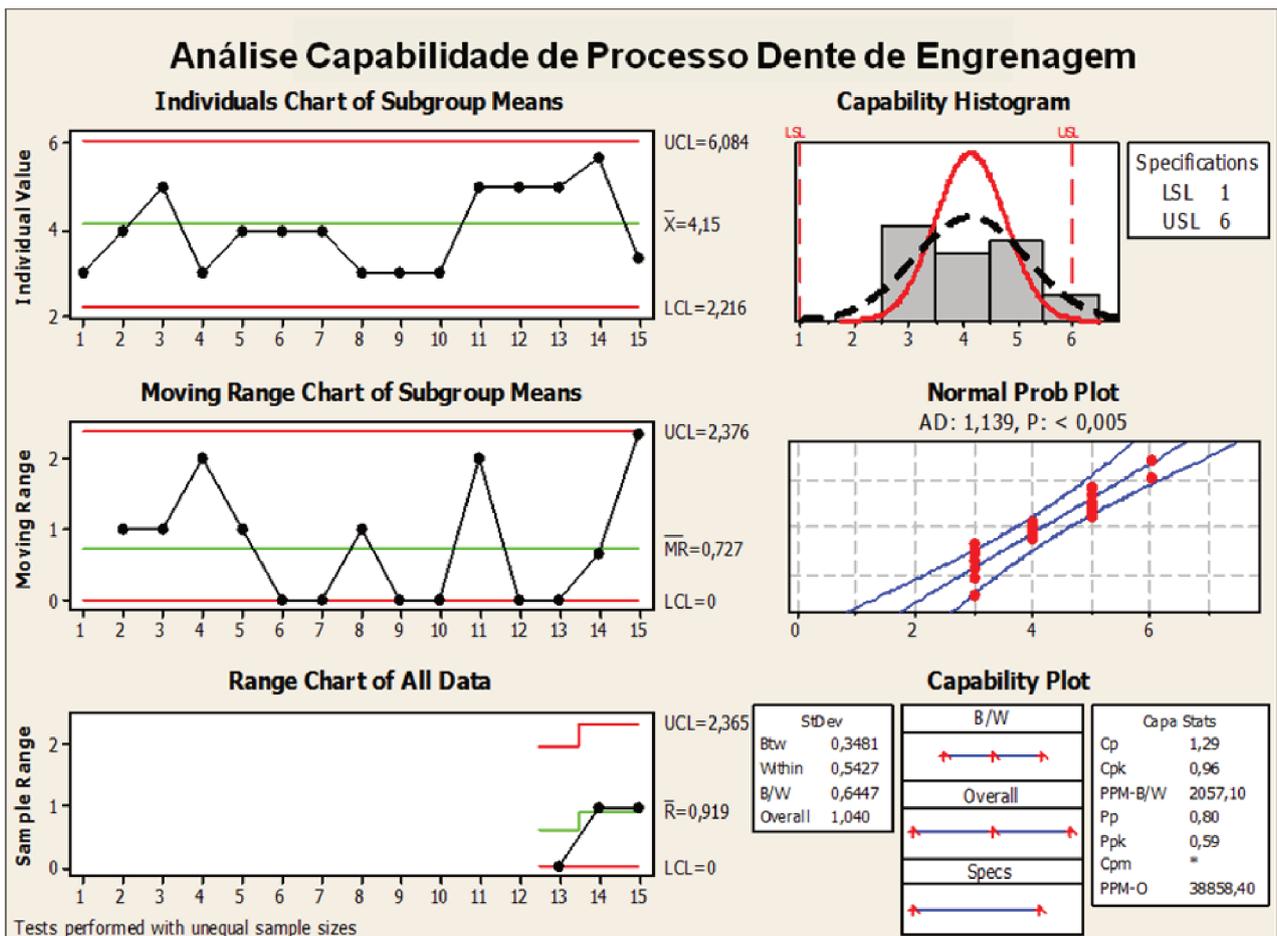


Figura 46 – Análise Capabilidade de Processo Dente de Engrenagem.

O mesmo foi realizado para a capacidade do meio, mostrado na Figura 47.

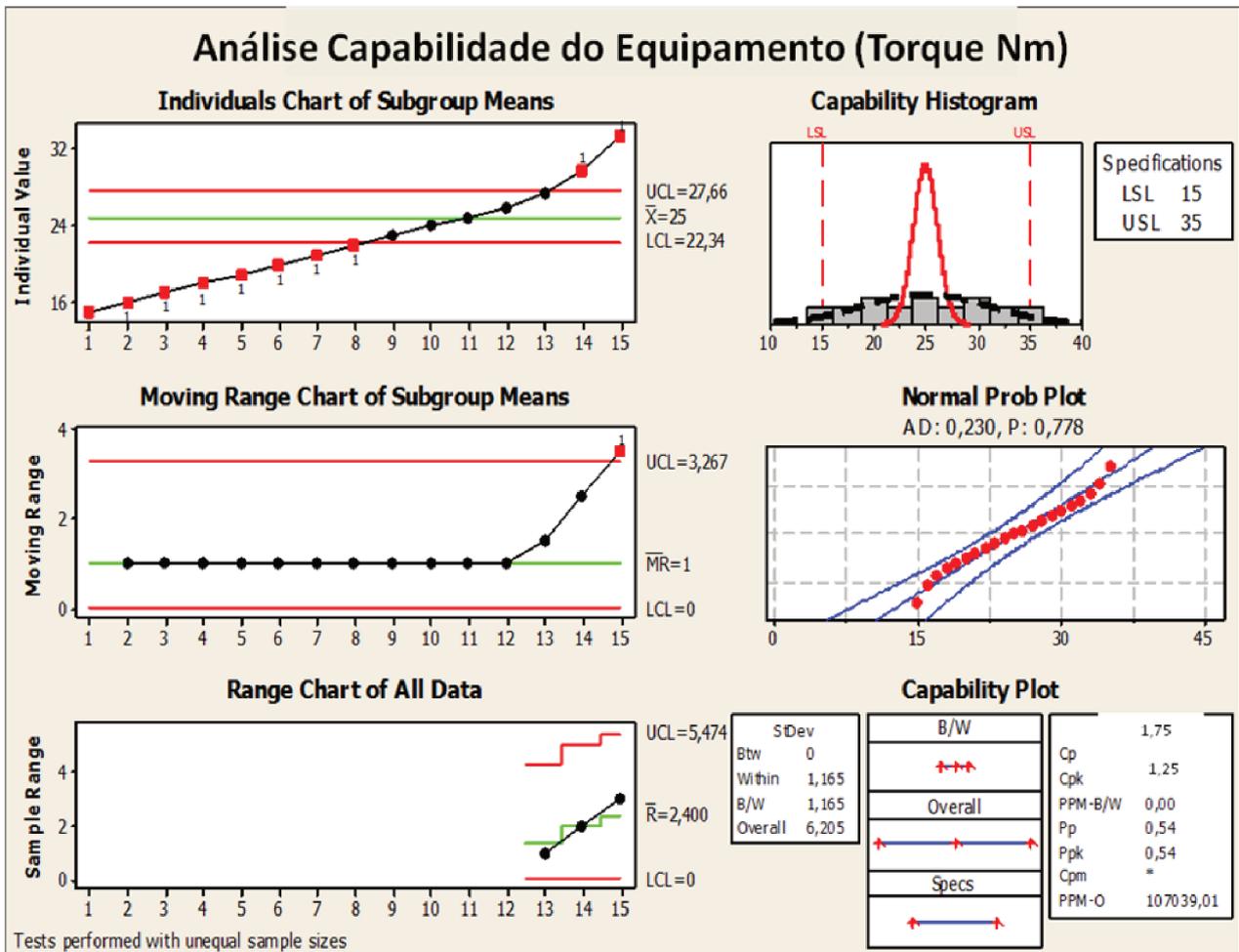


Figura 47 – Análise Capabilidade do Equipamento (Torque Nm)

A análise de regressão linear simples com os parâmetros de produto e capacidade da máquina foram realizadas para confirmar a análise estatística multivariada, que indicou que estes parâmetros não influenciam na geração dos defeitos finais.

Para realização desta análise foram definidos quinze valores diferentes para capacidade do meio e de acordo com a metodologia do processo. O mesmo foi analisado, onde para cada setup do equipamento foram realizadas cinquenta regulagens. A Tabela 5 mostra os valores coletados no experimento. Ao todo foram inspecionados 750 veículos.

Tabela 5 – Porcentagem de Defeitos no banco de Rolos e Rampa para Vários Torques

Torque (Nm)	% Defeitos no Banco de Rolos	% Defeitos na rampa 15°
24	10	5
54	45	35
32	35	45
12	23	65
15	5	32
10	12	80
35	75	70
65	43	55
30	55	45
19	25	35
20	60	20
25	80	65
23	20	10
31	54	15
44	35	15

A análise gráfica dos dados mostra que, para os valores da capacidade estudados, o coeficiente de determinação para a regulação e número de dentes são baixos, com os respectivos valores de 13% e 1%, conforme mostram as Figuras 48 e 49.

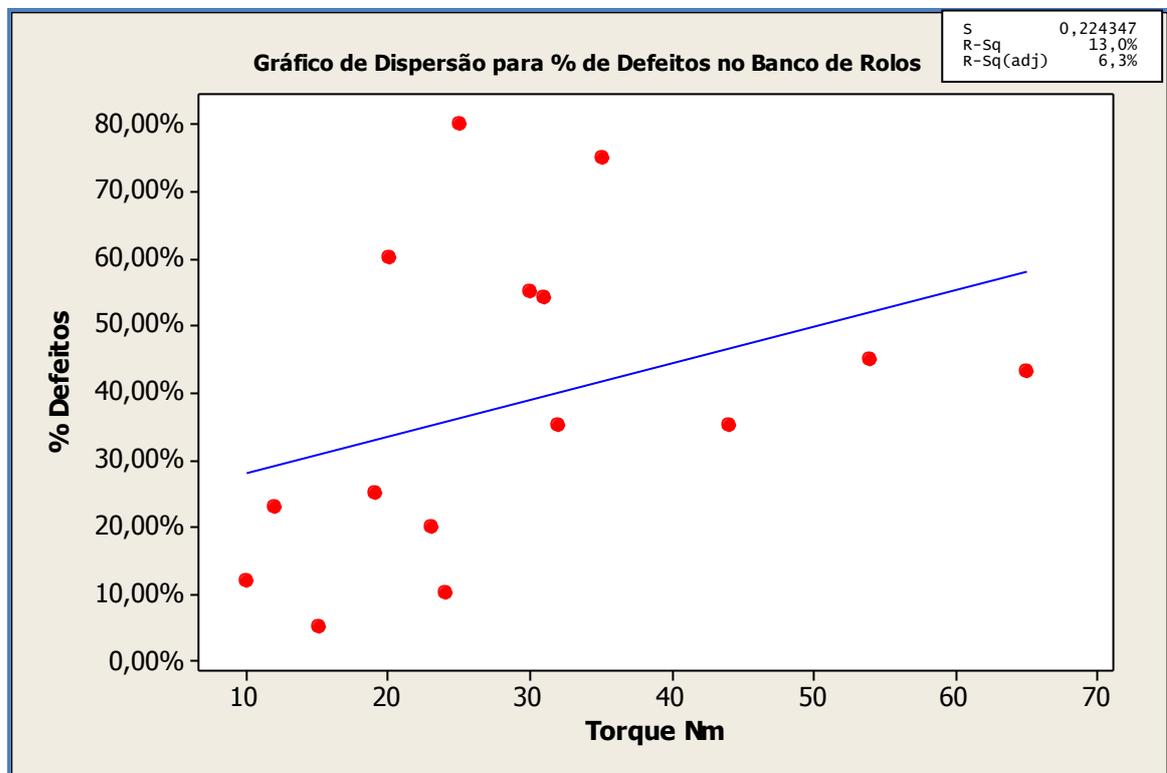


Figura 48 – Gráfico de dispersão para % de defeitos no banco de rolos.

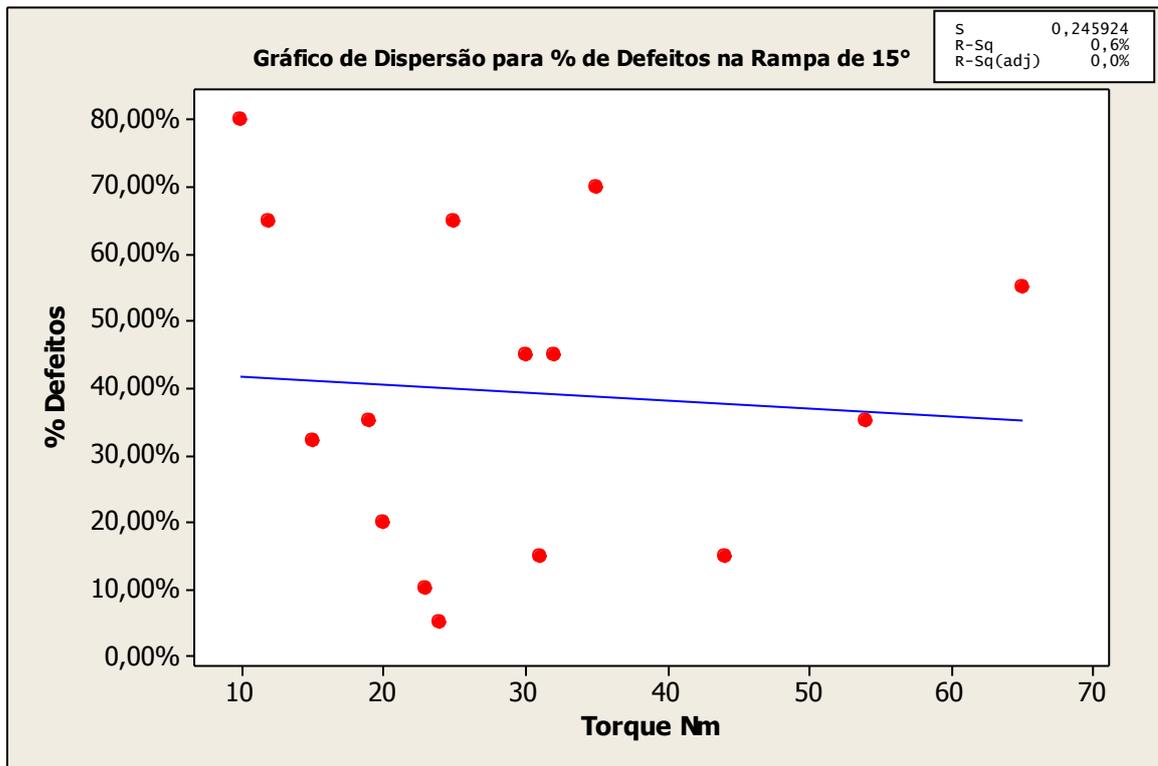


Figura 49 – Gráfico de dispersão para % de defeitos na rampa 15°.

Isto quer dizer que apenas 13% da variabilidade da porcentagem de regulação da máquina é explicada pela variabilidade do parâmetro relativo ao número de dentes, e quando é analisada a porcentagem do processo em relação a rampa de 15° (ok / nok), a variabilidade cai para 1%.

A análise em relação aos dentes foi feita conforme a Tabela 6, onde foram definidos quinze valores diferentes para capacidade do meio e, de acordo com a metodologia do processo, o mesmo foi analisado para cada setup do equipamento em cinquenta amostras de regulação.

Tabela 6 – Número de Dentes de Engrenagem x Torque equipamento no Banco de Rolos e Rampa

Torque (Nm)	Nº Dentesno Banco de Rolos	Nº Dentes na rampa 15°
24	3	4
54	4	2
32	4	3
12	5	4
15	8	5
10	2	6
35	3	4
65	9	5
30	6	6
19	2	2
20	3	3
25	1	5
23	5	6
31	7	8
44	8	9

A análise gráfica dos dados mostra que, para os valores da capacidade estudados, o coeficiente de determinação para a regulação e onúmero de dentes são baixos, respectivamente 21% e 0,5%, conforme mostram as Figuras 50 e 51.

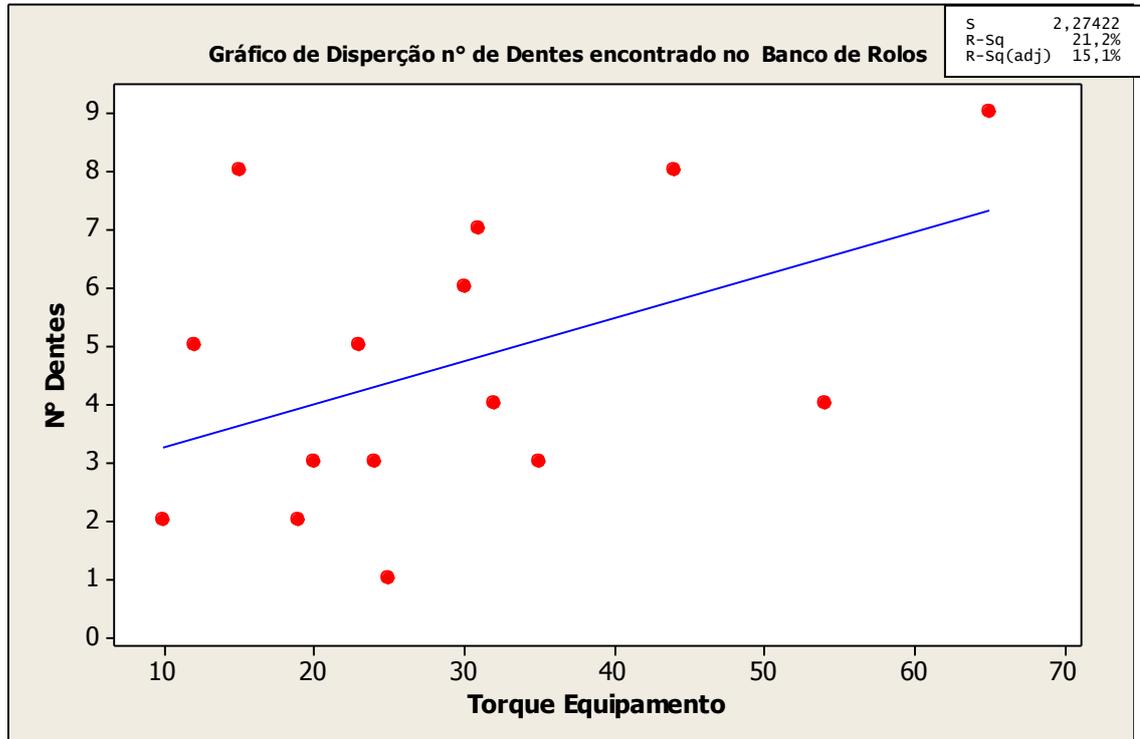


Figura 50 – Gráfico de dispersão n° de dentes encontrado no banco de rolos.

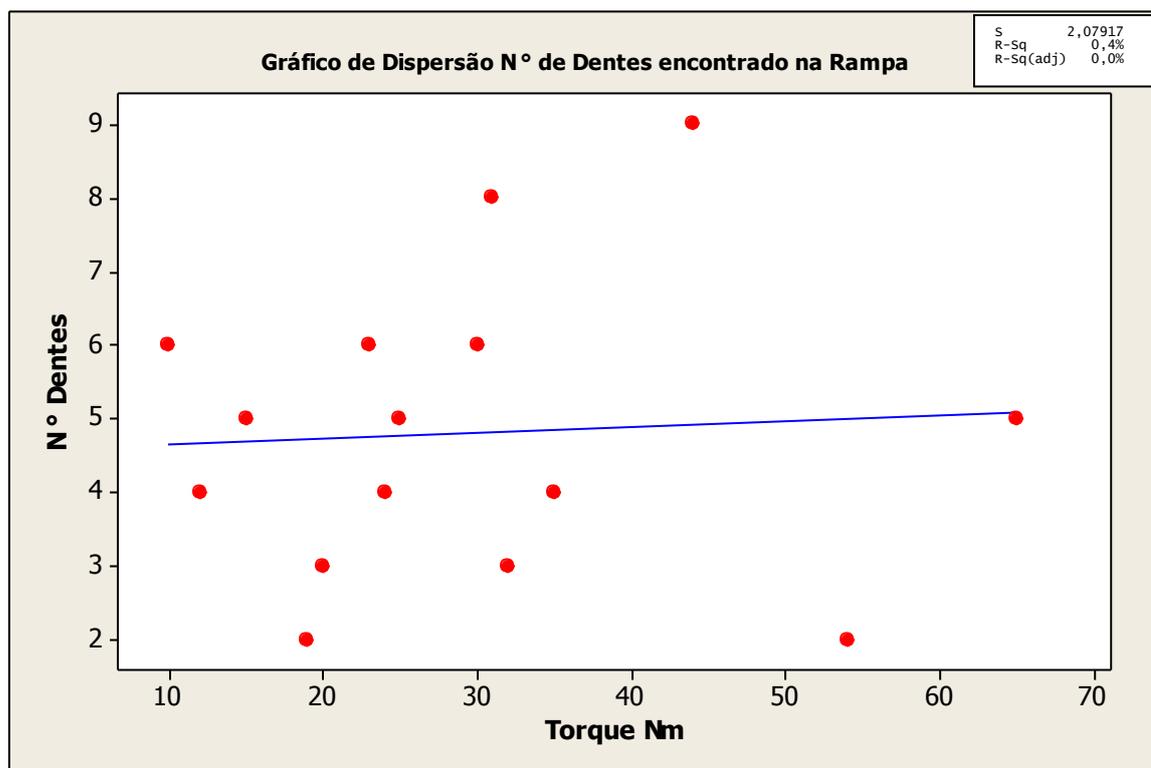


Figura51 – Gráfico de dispersão n° de dentes encontrados na rampa.

Analisando os gráficos acima, conclui-se que as capacidades da máquina e do processo explicam muito pouco os defeitos de regulagem freio de mão, confirmando a suspeita da análise multivariada de que a variação destes parâmetros não são a causa raiz dos defeitos em estudo.

#### 6.3.4. Análise de Regressão Simples com a Capabilidade do Processo e Parâmetros de Controle

Para a construção do mapeamento de processo, a equipe de trabalho passou horas acompanhando todo o processo desde a etapa de regulagem do freio de mão até a etapa de controle final. Foi observado que, após o processo de regulagem, existe um posto que realiza uma operação de montagem do console central, realizando um esforço contrário na alavanca de freio, caracterizando-a como uma etapa muito importante, visto que no momento que ele realiza este esforço contrário um estalo é realizado nos tambores de freio.

Para entender o processo, foi simulado fora da linha de produção o processo de regulagem seguido do processo de montagem de guarnição, como realizado em linha.

Após dez análises, verificou-se que o cabo dilatava a cada esforço contrário realizado e que a resistência de frenagem diminuía em função da dilatação dos cabos.

Voltando um pouco no passado, verificou-se com a engenharia de processos da época que era aplicada a chamada tassagem – operação manual de regulagem do freio de mão, onde o operador era responsável por manter o cabo de aço estirado, a fim de realizar, posteriormente, o torque especificado pela engenharia – do sistema de freio de mão, que tinha como objetivo realizar dez esforços contrários antes da regulagem do freio de mão, com o objetivo de anular as forças contrárias encontradas no sistema de freio de mão, uma vez que o mesmo é montado sobre altas tensões no fornecedor. A relação torque e número de dentes é mostrada na Tabela 7.

Tabela 7 – Número de dentes de engrenagem x torque equipamento após tassagem

Torque (Nm)	Nº Dentes na Rampa após Tassagem
40	2
35	3
30	4
25	5
20	6
15	7
10	8

O gráfico de dispersão da capacidade do processo em relação ao controle apresenta um coeficiente de determinação de 85%. Isto quer dizer que 85% da variabilidade do controle da regulagem do freio de mão é explicada pela capacidade do processo de tassagem, conforme mostrado na Figura 52.

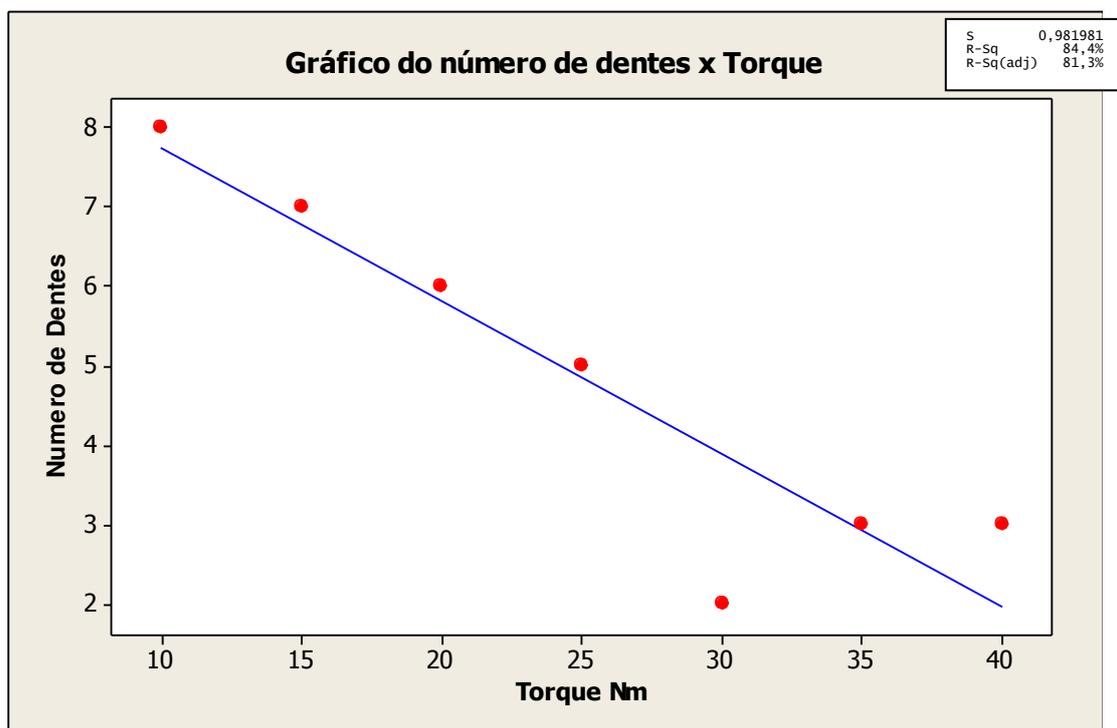


Figura 52 – Gráfico de Dispersão N ° de Dentes x Torque após Tassagem

Em outras palavras, pode-se concluir com este estudo que, quando é realizada qualquer solicitação contrária após a regulagem do freio de mão, o mesmo influi no controle determinado pelo número de dentes, em rampa de 15°.

Com esta análise de regressão foi possível identificar a causa raiz do problema, a regulagem do freio de mão é influenciada devido ao posto posterior que realiza uma tassagem para montagem do console central.

## 6.4. FASE DE MELHORIA

As ações de melhoria propostas, com base no estudo de análise de regressão já implementada ou em fase de estudo, são apresentadas a seguir.

### 6.4.1. Elaboração do FMEA de processo

Após a realização das análises de regressão, elaborou-se o PFMEA do estudo de caso, disponível no Anexo 5.

A equipe analisou o sistema de como realizar os controles de forma a garantir e melhorar o processo. A aplicação do FMEA tem como base um análise profunda do

processo, levando em consideração a criticidade, a frequência do acontecimento e a gravidade.

No caso estudado, ilustram-se como causas a controlar as CS (Características de vigilância) e CSE (características de vigilância que necessitam de atenção), ou seja, aplicação posterior em um plano de vigilância.

#### 6.4.2. Delineamento de experimento com a variável batonagem do processo de controle

Com o intuito de avaliar como a regulagem do freio de mão gerava defeitos dentro do banco de rolos e na rampa de 15°, foi realizado um experimento com as variáveis de entrada provindas de batonagens.

O objetivo deste experimento foi avaliar o impacto dos tipos de controle frente à regulagem do freio de mão, e os dados coletados são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados coletados no delineamento de experimento.

Ordem do experimento	Ordem de realização	Quantidade de veículos	Número de veículos com mais de 6 dentes	% Defeito Banco Rolos	% Defeitos Rampa 15°
4	1	15	7	55	45
2	2	15	5	45	55
3	3	15	4	67	33
7	4	15	7	25	75
8	5	15	8	30	70
1	6	15	9	22	78
5	7	15	10	45	55
6	8	15	9	45	55

Os resultados do delineamento de experimento são mostrados nas Tabelas de ANOVA 9 e 10 e no gráfico de Pareto da Figura 53, dos controles realizados no banco de Rolos e na Rampa de 15°.

Tabela 9 – Tabela ANOVA para a percentagem de defeitos encontrados no Banco de Rolos.

Causas da variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	Valor de P
Efeitos Principais	2	19,312	9,656	1,12	0,41
Interação	1	7,031	7,031	1,12	0,788
Erro Residual	4	34,375	8,094		
Erro Puro	4	34,375	8,094		
Total	7	53,719			

Tabela 10 – Tabela ANOVA para a percentagem de defeitos encontrados na Rampa de 15°

Causas da variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	Valor de P
Efeitos Principais	2	3,132	1,656	0,15	0,864
Interação	1	2,531	2,531	0,02	0,887
Erro Residual	4	43,875	10,969		
Erro Puro	4	43,875	10,969		
Total	7	47,819			

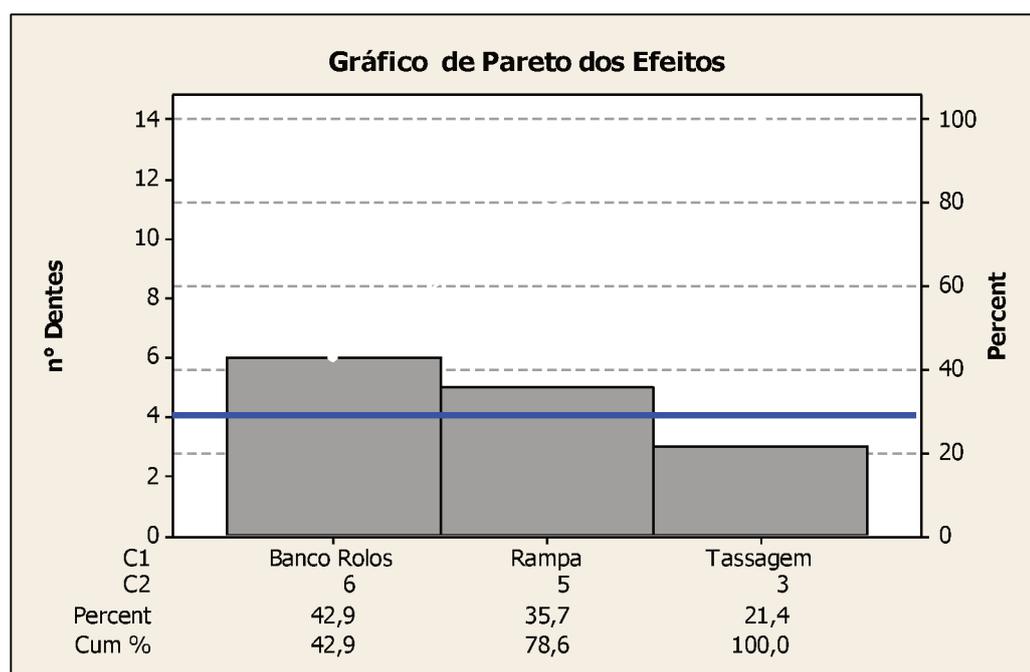


Figura 53 – Gráfico de pareto dos efeitos para a % de defeitos de regulagem nos diversos controles.

Analisando os dados, constata-se que os valores de  $p$  são maiores que 0,05. Isto quer dizer que se aceita a hipótese nula  $H_0$  de que as entradas estudadas não impactam a saída.

$H_0$ : Entrada (x) não impacta a saída (Y) – ( $\rho > 0,05$ )

$H_A$ : Entrada (x) impacta a saída (Y) – ( $\rho \leq 0,05$ )

Em outras palavras, pode-se afirmar que, independente do tipo de controle, os defeitos de regulação do freio de mão acontecerão.

A análise dos gráficos de Pareto deve ser feita levando em consideração a linha base de número de dentes igual a quatro. Os fatores principais e suas interações serão significativos se cruzarem a linha base.

A interação dos fatores acontece quando a variação da resposta depende da mudança dos níveis de dois ou mais fatores simultâneos. Os gráficos devem ser analisados através da intersecção de duas retas. Nota-se nos gráficos das Figuras 54 e 55 que os fatores não interagem para os níveis estudados.

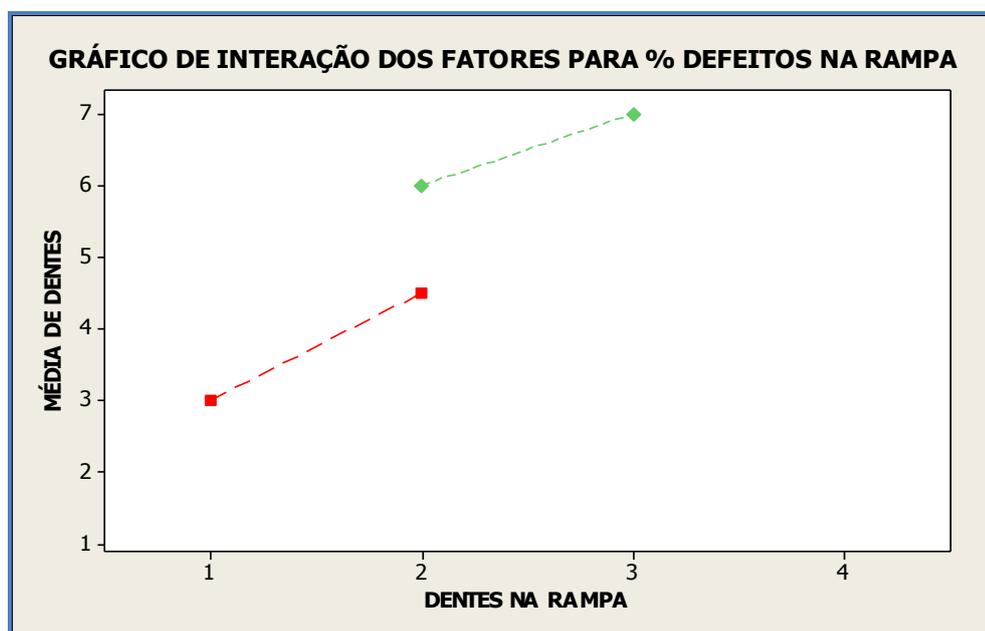


Figura 54 – Gráfico de interação dos fatores para % de defeitos na rampa.

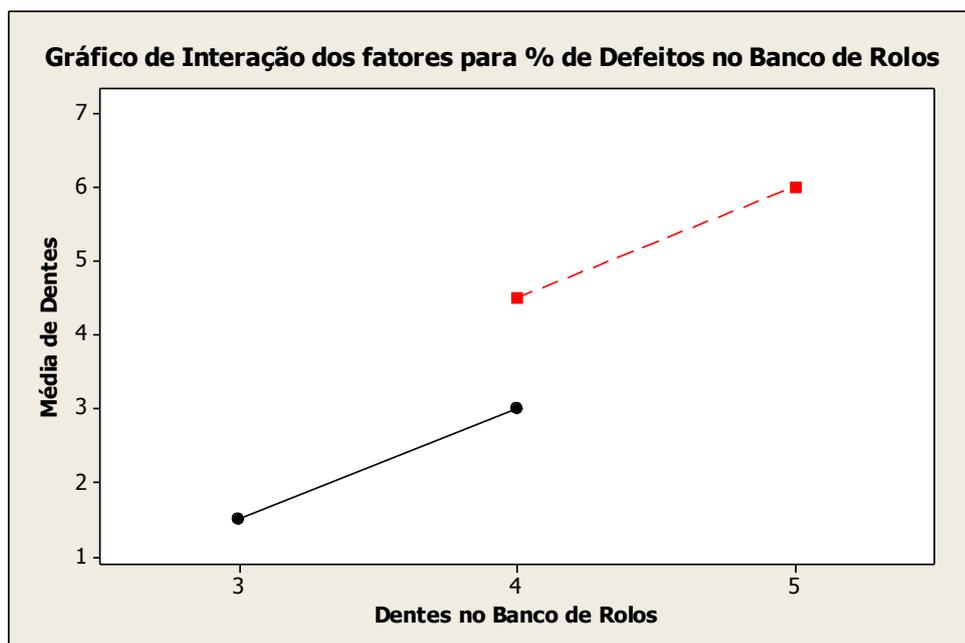


Figura 55 – Gráfico de interação dos fatores para % de defeitos no banco de rolos.

Os gráficos mostram que, mesmo nas condições do experimento, os níveis de defeitos de regulagem do freio de mão foram superiores a 65%.

Este delineamento foi realizado para verificar se os tipos de controle diferem na quantidade de dentes pedidos na regulagem, visto que o defeito acontece a partir de uma má capabilização do equipamento, podendo este ter uma variação de rotação maior que a permitida. Entretanto, notou-se que não importa o tipo de controle, o defeito existe, conforme ilustra a Figura 56.



Figura 56 – Análise de Pareto.

O efeito deste acontecimento levou a equipe a analisar o sistema de capacitação do meio, visto que é um efeito mostrado na matriz de causa e efeito.

#### 6.4.3. Análise de robustez da capacitação do meio

O objetivo desta foi avaliar o impacto da capacitação do meio, onde foram coletadas nove amostras durante vinte dias. Os resultados obtidos a partir destas vinte

amostras da capabilização do equipamento são mostrados na Tabela 11. Na coluna das amostras, estas são enumeradas sequencialmente e em cada unidade desta está incluso um determinado valor de capabilização. Em seguida, na coluna da média  $\bar{x}$  apresentam-se as médias de cada amostra coletada, ao final encontra-se sua respectiva média ( $\bar{\bar{x}}$ ). A coluna R (Amplitude) representa a diferença entre o maior e o menor valor que compõe a amostra, e no final desta coluna a média da somatória das amplitudes ( $\bar{R}$ ).

Tabela 11 – Análise capabilização do Meio

Amostra	Capabilização	Média	R - Amplitude
1	25	22	10
2	15	12	5
3	16	13	7
4	35	32	12
5	40	44	11
6	45	34	5
7	54	55	4
8	55	53	6
9	63	43	7
10	23	21	3
11	12	15	3
12	10	13	5
13	45	42	4
14	32	33	6
15	23	21	7
16	21	22	8
17	23	22	9
18	25	14	12
19	22	16	13
20	15	11	5
Média das Amostras		26,9	7,1

Com os dados obtidos, calculou-se os limites superior (LCSX) e inferior (LCIX) de controle, representados nas Figura 57 e 58.

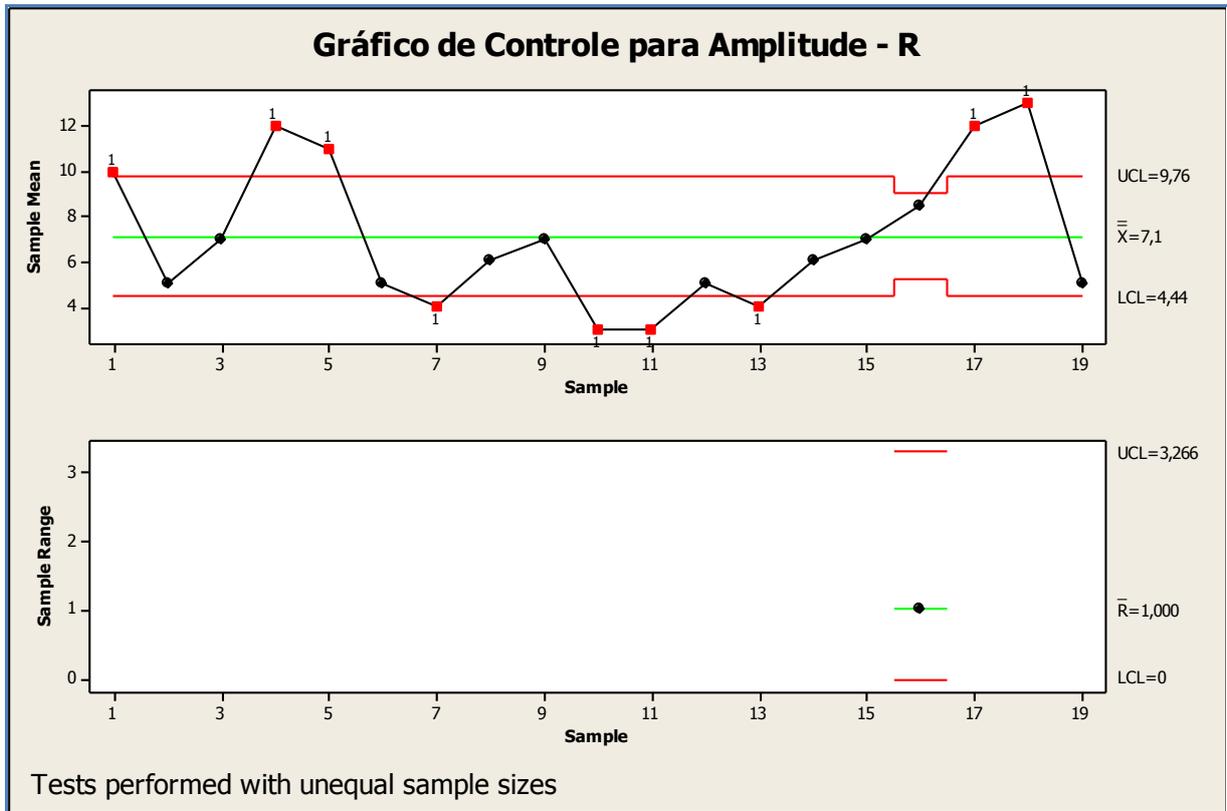


Figura 57 – Carta de controle para amplitude

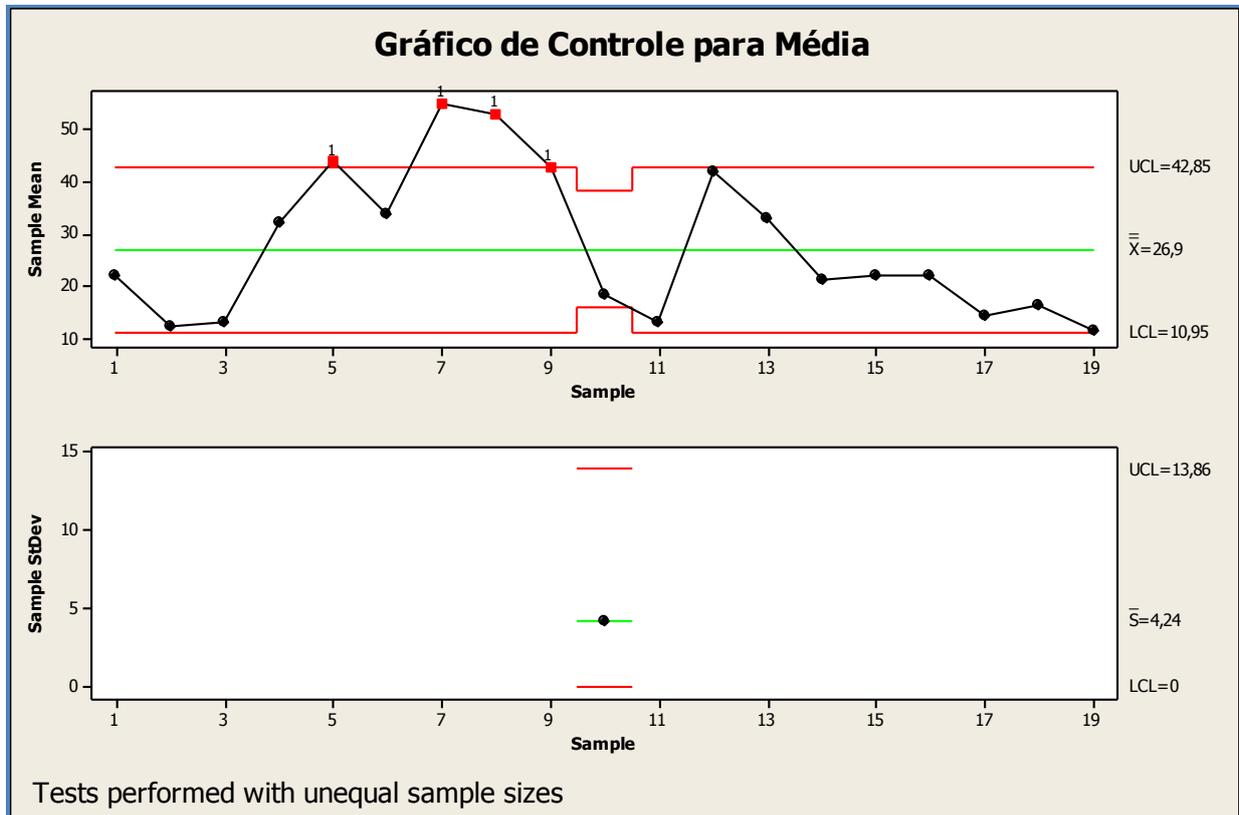


Figura 58 – Carta de controle para média

Direcionada pelos dados coletados no ensaio, a equipe decidiu criar um plano de vigilância semanal (Anexo 6) e uma análise de robustez do processo, através de uma ferramenta criada pela própria equipe, com o intuito de verificar, através de perguntas e observação do posto, se o mesmo é apto à repetibilidade ou não, mostrando que o problema maior estava na capacidade, o que justifica a criação de uma carta de controle.

Com esta análise, a equipe resolveu aplicar um controle após a regulagem do freio de mão, posto seguinte, onde o controle teria como objetivo analisar antes do controle final a robustez do processo, verificando se as rodas travam com 3, 4 ou 5 dentes, com um controle 100%, durante 3 meses. Isto leva a análise à melhoria de capacidade do equipamento diariamente, e mostra a análise de melhoria da capacidade em relação ao controle após a regulagem.

As médias da porcentagem dos defeitos de regulagem caíram de 93,9% para 4,5%. Conclui-se que o maior responsável pelos defeitos de regulagem do freio de mão era a ineficiência da capacidade do meio de regulagem.

## **6.5. FASE DE CONTROLE**

### **6.5.1. Plano de vigilância**

Para garantir o processo de regulagem do freio de mão, foram revisados os documentos de processo e planos de capacidade do equipamento.

O documento de análise dos modos de falha (FMEA) também foi revisado e inserido no posto de controle após a zona de regulagem do freio de mão. Alguns outros itens também foram inseridos:

- Checagem do processo de capacidade no início de cada turno: esta é uma atividade preventiva e tem por objetivo verificar se o equipamento está funcionando adequadamente, garantindo a não má regulagem do freio de mão;
- Realização da inspeção da regulagem do freio de mão em um posto posterior, em 100% dos veículos, e verificação da batonagem uma vez por turno, garantindo assim que a saída (regulagem do freio de mão) esteja ok.

Após a identificação da causa raiz dos defeitos de má regulagem do freio de mão gerados no equipamento, e após a implementação da melhoria no processo, a quantidade de veículos retrabalhados devido aos defeitos foram acompanhados durante 3 meses.

Como pode-se notar, houve a redução significativa no custo de retoques após a conclusão do trabalho, conforme mostra a Figura 59. Os dados no início do projeto mostravam que existiria a possibilidade de se ter um número de 350 retoques semanais, mantendo-se até o mês de Agosto.

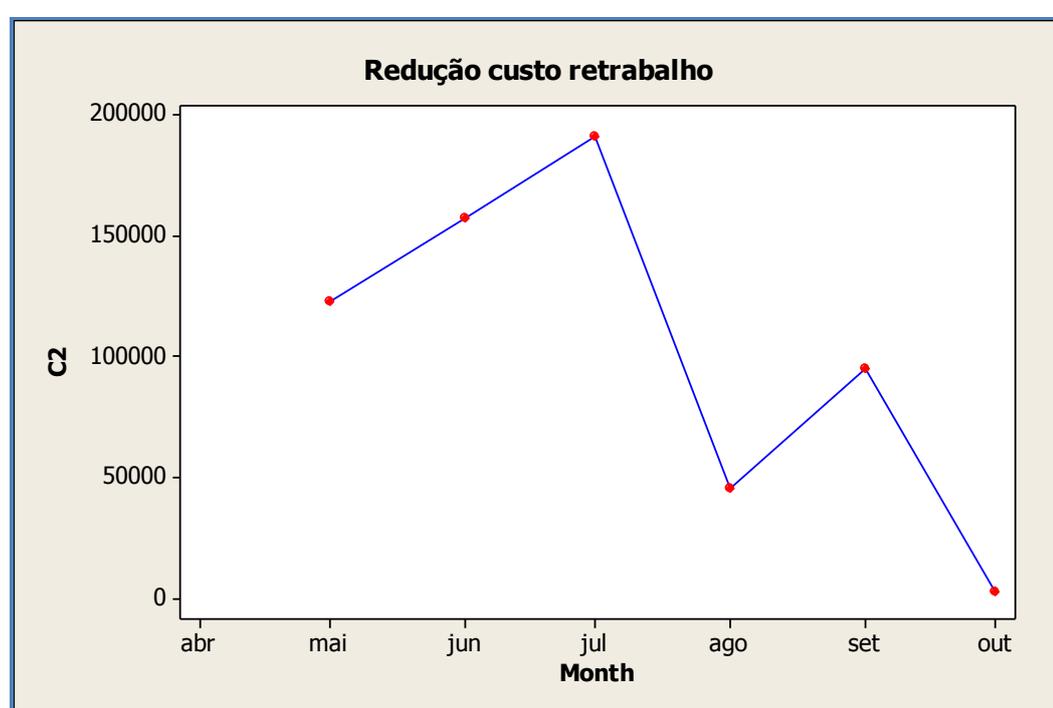


Figura59 – Custo de Retrabalho

A metodologia Seis Sigmas trabalha com dados para que a tomada de decisão seja assertiva e os riscos do fracasso sejam reduzidos. Contudo, as ferramentas que direcionam os testes e estudos são subjetivas, ou seja, a elaboração do mapa de raciocínio, mapa de processo e matriz de causa e efeito dependem na sua totalidade da experiência, comprometimento e disposição da equipe de trabalho.

Sendo assim, pode-se dizer que para o sucesso de qualquer projeto Seis Sigmas é fundamental a seleção de um time experiente, comprometido e que esteja disposto a quebrar os paradigmas adquiridos ao longo do tempo.

### 6.5.2. Capabilidade do meio/processo

Com os dados passados pela equipe de Produto, Tabela 12, calculou-se os limites superior (LCSX) e inferior (LCIX) de controle, encontrando os valores “c” e “d”, respectivamente. O tamanho da amostra utilizada foi de nove, conforme o número de elementos que compõem as amostras (X1 a X9). Após obter os limites de controle, elaborou-se a carta de controle da Figura 60. A carta é composta por uma linha central ( $\bar{X} = 24,33\text{Nm}$ ) representando a média do processo, e as duas linhas nas extremidades que representam os limites superior e inferior de controle ( $LCLx = 9,91 \text{ Nm}$  e  $UCLx = 58,58 \text{ Nm}$ ). Os limites de especificação impostos pela empresa para o monitoramento desta variável são  $LEIX = 15\text{Nm}$  e  $LESX = 35 \text{ Nm}$ , utilizados na elaboração dos índices de capabilidade.

Tabela 12 – Medidas Engenharia de Produto

Amostra	Empresa
1	15
2	18
3	20
4	22
5	25
6	27
7	29
8	30
9	35

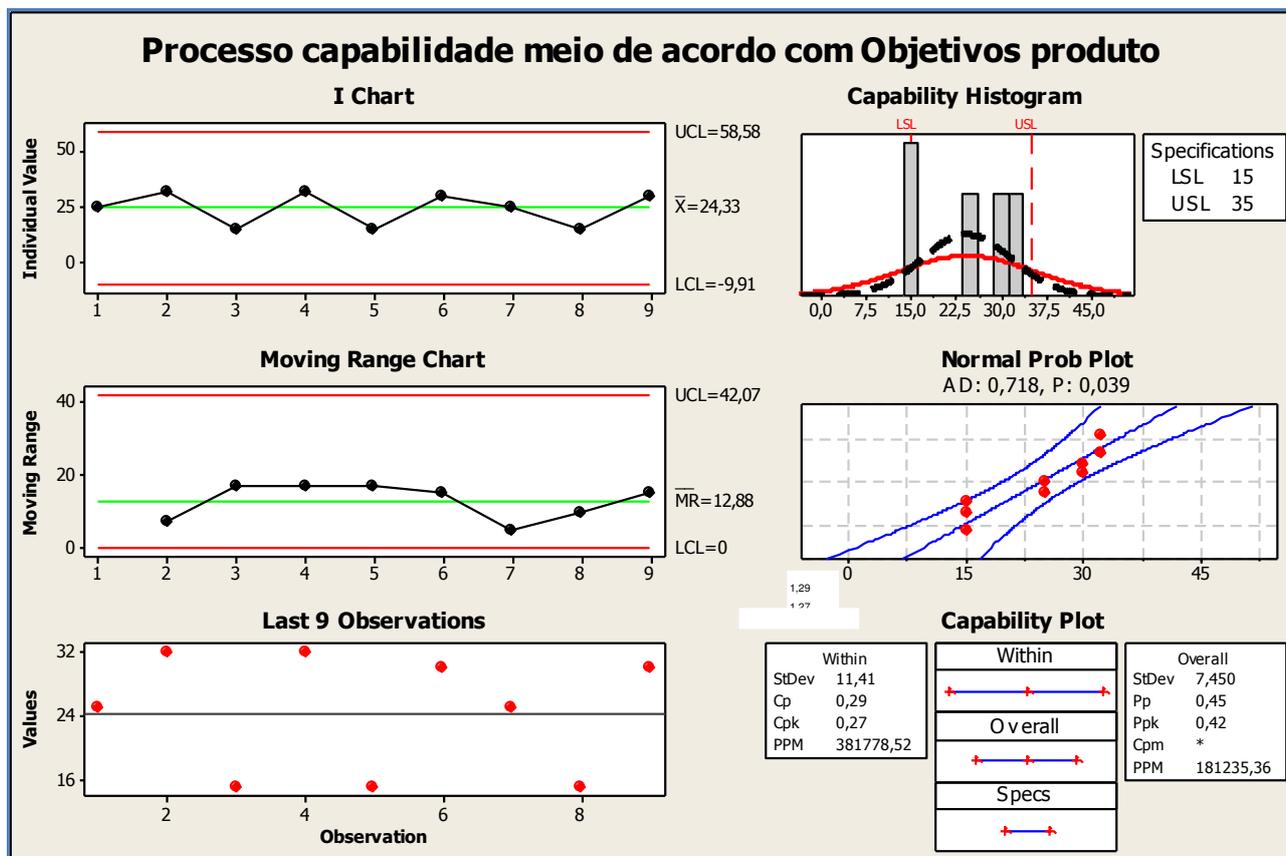


Figura 60 – Carta de controle meios.

Em seguida, calculou-se o desvio padrão – 11,41 – para, posteriormente, efetuar os cálculos dos índices de capacidade potencial e índices de capacidade do atual para avaliar se o processo está centrado. Estes valores calculados são  $C_p = 1,29$  e  $C_{pk} = 1,27$ .

Após obtenção dos limites de controle, elaborou-se a carta de controle R, mostrada na Figura 61, para o processo de número de dentes, a qual é composta por uma linha central que representa a média das amplitudes ( $R = 4,11$ ) e duas linhas que representam os limites superior e inferior de controle ( $LCSR = 6,106$  e  $LCIR = 2,116$ ). O objetivo desta carta é facilitar a visualização da amplitude das amostras, além de auxiliar na identificação de causas especiais.

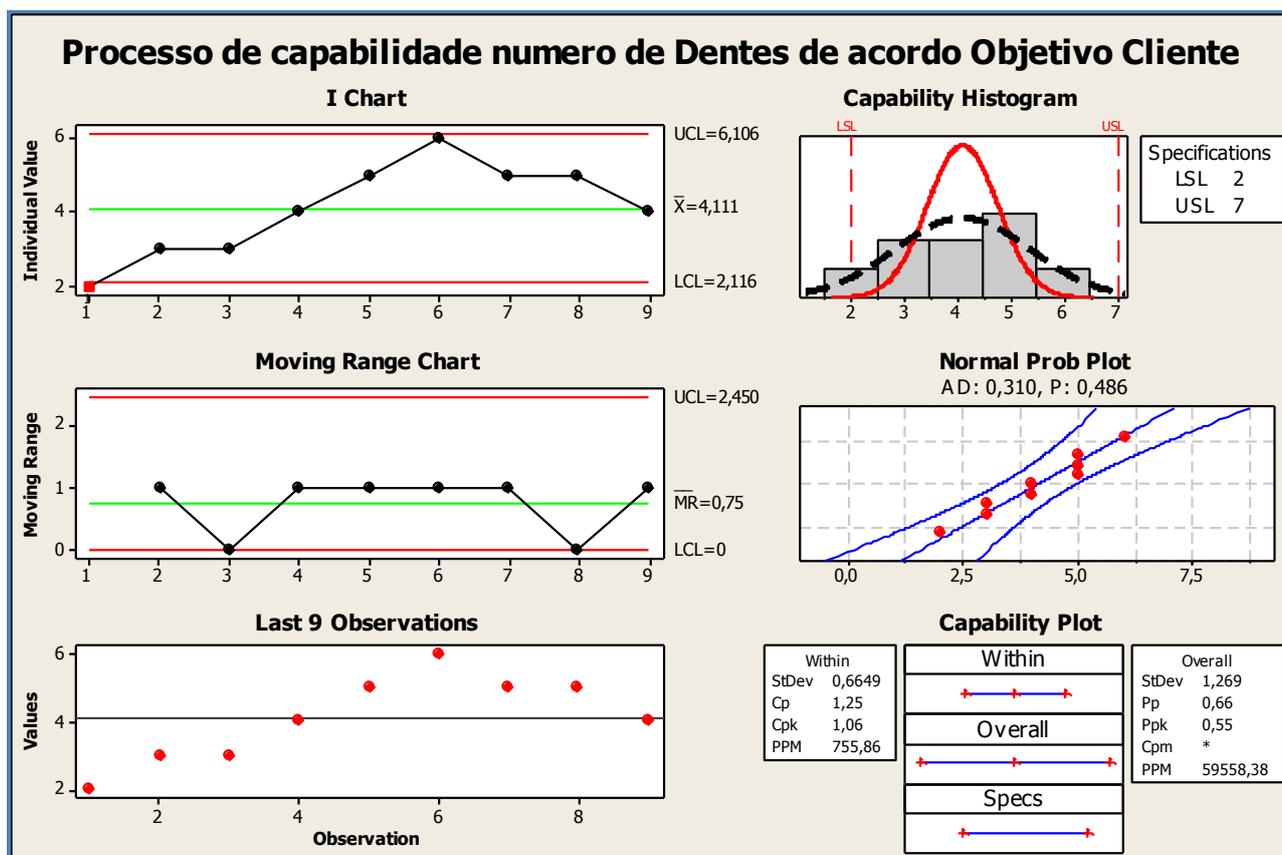


Figura 61 – Carta de Controle Processos

Os gráficos de controle foram monitorados utilizando o método de visualização de uma sequência não aleatória e, através da observação dos gráficos, os padrões não aleatórios foram identificados. Estas regras são simplesmente métodos de avaliação da forma como a variação dos gráficos pode ser interpretada.

O processo é dito potencialmente capaz de realizar regulagens dentro da faixa de especificação se  $C_p > 1$ . Caso contrário, existem causas comuns que impedem que o processo trabalhe dentro dos limites de especificação. No entanto, o índice de capacidade potencial deve ser analisado juntamente com o índice de capacidade atual ( $C_{pk}$ ), que mede diretamente a qualidade do processo produtivo, ou seja, se  $C_{pk} > 1$ , significa que a fração de amostras de controle analisadas que ultrapassam nove limites de especificação é menor que 1%.

Após a análise comparativa da eficiência da aplicação do CEP, pode-se observar os resultados financeiros obtidos com a recuperação dos veículos que a Empresa obteve.

A quantidade de veículos retrabalhados foi reduzida de trezentos e cinquenta para quinze por mês, significando uma redução de 96% nos retrabalhos e uma economia média de R\$117.250,00 por mês, tendo também redução significativa no número de reclamações da clientela, conforme Figura 62.

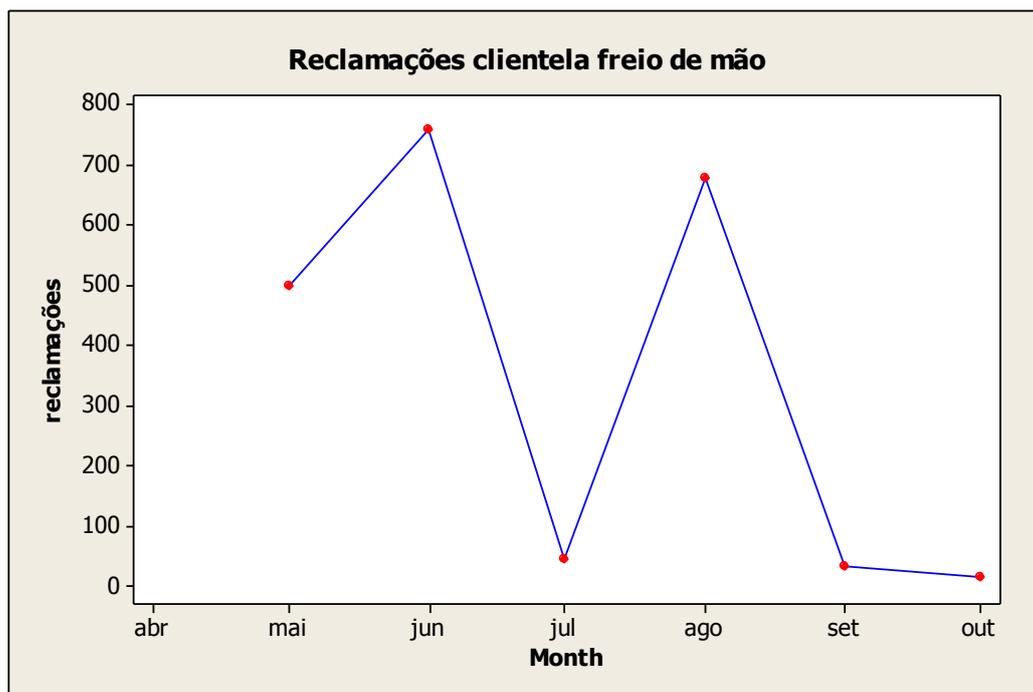


Figura 62 – Reclamação Clientela

## 7. CONCLUSÕES

Neste estudo de caso foi possível constatar que, através da metodologia Seis Sigmas, é possível solucionar problemas e melhorar processos, mesmo que estes já tenham passado previamente por outros estudos e tentativas de melhoria.

Vários problemas ligados ao processo foram estudados, analisados e debatidos, e constatou-se através de testes, a ineficiência da capacidade do equipamento de regulagem do freio de mão como principal responsável pelos defeitos relatados pela clientela, relativo à falta de frenagem em uma rampa de 15°, onde a solução foi colocar um controle de capacidade da máquina em 100% dos veículos no posto seguinte a regulagem do freio de mão com o intuito de não passar nenhum problema de processo por este ponto de qualidade.

É importante ressaltar que, mesmo com a solução, os defeitos ainda continuam e que não existem referências bibliográficas sobre o tema, como a questão da análise da qualidade dos cabos de aço e as tensões aplicadas neste.

A quantidade de veículos retrabalhados foi reduzido de trezentos e cinquenta para apenas quinze por mês, significando uma redução de 96% nos retrabalhos e uma economia média de R\$117.250,00 mensais.

Esta análise levou em conta um mês de produção, com média de 950 veículos por dia.

Em fim, pode-se afirmar que foram alcançados os objetivos iniciais do projeto.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma informação importante e relevante neste trabalho foi o envolvimento da alta direção no estudo, pois se a mesma somente delega e realiza a cobrança dos resultados ao piloto da equipe, sem o real entendimento das necessidades e implicações, as chances de insucesso aumentam.

Um coordenador de equipe com conhecimento, organizado, planejador e pró-ativo, com iniciativa e influente, é fundamental para o sucesso da implementação, conquistando os resultados esperados através da equipe.

Este trabalho mostrou exatamente esta interação dentro da equipe e o mesmo pode ser abrangido para diversas áreas no setor automotivo. Assim, seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- A implementação do DMAIC na linha de processo como um todo e não especificamente em um posto de trabalho ou em uma parte do processo específico e estudado.
- Comparar a implementação de um posto de trabalho com o DMAIC realizado em outros postos e empresas de setores diversos afim de comparação; e mostrar que os Seis Sigmas podem ser utilizados em todas as empresas e setores.
- Aplicar com maior profundidade o DMAIC no setor da qualidade, com o intuito de mostrar que o processo de qualidade pode ser controlado e vigiado pela ferramenta.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Breyfogle, F. W. (2007). *Going Beyond Lean Six Sigma and the Balanced Scorecard*. London: Smart Solutions.

Campos, V. F. (1999). *Controle da Qualidade Total* (8° Ed. ). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil: INDG.

Costa, P. G. (2002). *Oficina e Cia - Bíblia do Carro*. Acesso em 15 de Setembro de 2012, disponível em Freio de estacionamento - Funcionamento e Dúvidas: <http://www.oficinaecia.com.br/bibliadocarro/biblia.asp?status=visualizar&cod=108>

Crosby, P. B. (1990). *Qualidade Falada a Sério*. São Paulo: McGraw - Hill.

Deming, W. E. (1982). *Quality, Productivity and Competitive Position*. Cambridge: MIT Press.

Eckes, G. (2003). *Six Sigma for Everyone*. Harvard: John Wiley & Sons.

Fonseca, A. (2008). Uma Análise Sobre o Ciclo PDCA Como Um Método para Solução de Problemas da Qualidade. *XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Abepro.

Garvin, D. (1992). *Gerenciando a Qualidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark.

Hild C., Sanders D. (2000). *A Discussion of Strategies for Six Sigma Implementation*. New York: Taylor & Francis.

IQA (2003). *Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial FMEA: Manual de Referência*. 3ª Edição. São Paulo: [s.n.], 2003.

Ishikawa, K. (1993). *Total Quality Control in Japanese Manner*. Rio de Janeiro: Campus.

ISO TS 16949:2009. (15 de JUNHO de 2009). *Sistemas de Gestão da Qualidade Requisitos particulares para aplicação da ISO 9001: 2008 para organizações automotivas de peças de produção e peças de assistência relevantes.* Disponível em: [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

Juran J. M., Gryna F. M. (1992). *Controle da Qualidade Handbook*. São Paulo: Makron Books.

Kato, J. (2003). Avaliação de Desempenho de Sistemas Logísticos Atraves do Seis Sigmas. *Revista FAE*.

Luis Silva S., De Toledo J. C. (2008). Práticas de Gestão no Desenvolvimento de Produtos em Empresas de Autopeças. *SCIELO Brasil*.

Lynch D. P., Bertolino S., Cloutier E. T. (2003). *How To Scope DMAIC Projects*. England: Quality Progress.

Montgomery D. C., Runger. G. C. (2003). *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. Rio de Janeiro: LTC.

Oakland, J. (1994). *Gerenciamento da Qualidade Total*. São Paulo: Nobel.

Oliveira O., Palmisano A., Manas A. (2004). *Gestão da Qualidade Total - Tópicos Avançados*. São Paulo: Cengage Learning Editores.

Paladini, E. P. (1997). *Qualidade Total na Prática*. São Paulo: Atlas.

Perez-Wilson, M. (1999). *Seis Sigmas: Compreendendo o Conceito, as Implicações e os Desafios*. Rio de Janeiro: Qualitymark.

Pinho A., Leal F., Montevechi J., Almeida D. (2007). Combinação entre as Técnicas de Fluxograma e Mapa de Processo no Mapeamento de um Processo Produtivo. *XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Abepro.

Pyzdek T., Keller P. (2011). *Seis Sigmas, Guia do Profissional*. Rio de Janeiro: Alta Books.

QS-9000 (2010). *Requisitos do Sistema de Qualidade*. Acesso em 20 de Setembro de 2012, disponível em Instituto de Qualidade Automotiva: [www.iqa.org.br](http://www.iqa.org.br)

Rampasso, C. (2006). Diagnóstico e Proposição da Implantação de um Sistema de Gestão da Qualidade Total em uma Pequena Empresa. Campinas, São Paulo: Dissertação submetida a Universidade de Campinas.

Reed C. A., Sanders D. (2005). *Six Sigma Seen as a Methodology for Total Quality Management*. London: Measuring Business.

Richardson, R. J. (1999). *Pesquisa Social: Métodos e Técnicas*. São Paulo: Atlas.

Rodrigues, M. (1995). Uma Investigação da Qualidade Total nas Organizações Brasileiras. *Revista Brasileira de Administração Contemporânea, ANPAD* , 9-15.

Rotondaro, R. G. (2002). *Seis Sigmas - Estratégia Gerencial para Melhoria de Processos, Produtos e Serviços*. São Paulo: Atlas.

Sheehy, P. (2002). *The Black Belt Memory Jogger*. Salem: Goal/QPC.

Silva C.E.S, Fernandes T., Prata R. F., Turrioni J. B. (Novembro 2010). Fundamentos do Design pra Six Sigma. *XI SIMPEP*. Bauru - SP.

Silva, R. F. (2007). *Qualypro*. Acesso em 10 de Setembro de 2012, disponível em A Importância dos Estudos de MAS nas Organizações: [www.qualypro.com.br/estudos](http://www.qualypro.com.br/estudos)

Slack N., Chambers S., Johnston R. (2007). *Operations Management*. England: Prentice Hall.

Soliman, F. (1999). Optimum Level of Process Mapping and Least Cost Business Process Re-engineering. *International Journal of Operations Production Management* , 810 - 816.

Sousa, M. D. (2006). Metodologia Seis Sigmas: Um estudo preliminar de sua aplicação a um programa de Higiene Industrial. São Paulo: Dissertação Mestrado - centro universitario SENAC.

Stamatis, D. H. (2004). *Six Sigma Fundamentals: A Complete Guide to the System Methods and Tools*. New York: Productivity Press.

Vergara, S. C. (2005). *Métodos de Pesquisa em Administração*. São Paulo: Atlas.

Webster, M. (2001). Um Modelo de Melhoria Continua Aplicado a Redução de Riscos no Ambiente de Trabalho. Florianopolis, Santa Catarina: Dissertação de Mestrado submetida a Universidade Federal de Santa Catarina.

Werkema, C. (2002). *Criando a Cultura Seis Sigmas*. Rio de Janeiro: Qualitymark.

Zacharias, O. (2001). *ISO 9000:2000 Conhecendo e Implementando*. São Paulo: O.J. Zacharias.

## ANEXO I

- Exemplo de FMEA e seu preenchimento.

Constituída basicamente por uma única tabela, o roteiro para seu desenvolvimento pode ser conhecido pela observação direta do formulário utilizado para seu registro. Há vários formatos e versões de formulário no mercado, na Figura 63 mostra o formulário padrão proposto pelo IQA – Instituto da Qualidade Automotiva.

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA																				
Item: _____		Responsável pelo Projeto: _____				FMEA Número: _____														
_____		Equipe: _____				Pág.: ____ de ____														
_____		_____				Preparado por: _____														
_____		_____				Data Inicial: _____														
_____		_____				Data Revisão: _____														
Item Função	Modo da Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Se v e r.	Causa(s) Potencial(is) da Falha	O c o r r.	Controles Atuais		D e t e c. N. P. R.	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Resultados da Ação									
						Prevenção	Deteção				Ações Tomadas	S e v e r.	D e t e c.	N. P. R.						

Figura 63 – Exemplo de formulário de FMEA.

Para facilitar o entendimento da metodologia de FMEA e a sua execução, cada elemento do formulário será detalhado nos próximos tópicos:

**Cabeçalho** – Descreve, como mencionado anteriormente, o FMEA ser um diário e poder ser desenvolvido para todos os projetos, processos ou serviços. por isso é uma parte importante.

Segundo o formulário padrão de FMEA (IQA, 2003) o cabeçalho deve conter as seguintes informações:

- Item: são todas as informações necessárias para identificar e monitorar o assunto do FMEA. É importante que a descrição dessas informações esteja de acordo com o sistema utilizado pela organização.
- Responsável pelo Projeto: é o gerente de projeto, fabricante ou fornecedor dos produtos ou serviços, quando estes são adquiridos de terceiros.
- Equipe: são os membros da equipe do projeto que tem autoridade para identificar e realizar tarefas para a solução de problemas futuros.
- Número: é a identificação do FMEA. O seu objetivo é facilitar a rastreabilidade do documento.
- Responsável pelo FMEA: é a pessoa responsável pela elaboração e revisão da mesma.
- Data: são as datas inicial e da sua última revisão.



### ANEXO 3

- Tabelas de Criticidade / Gravidade

Tabela de Criticidade ( C ) X Gravidade ( G ) - AMDEC Processo

Gravidade ( G )	Criticidade ( C )
1	80
2	
3	
4	70
5	
6	
7	60
8	
9	
10	50
	36

Tabela de Gravidade ( G ) - AMDEC Processo

Feito	G	Cr�terios para o cliente final	Cr�terios para o cliente interno
Nenhum	1	Efeito m�nimo. O cliente n�o percebe.	Nenhuma influ�ncia sobre as opera�es de fabrica�o seguintes.
Muito menor	2	Efeito que o cliente ( 25% ) pode perceber mas que n�o h� nenhuma degrada�o importante sobre a performance. Ex.: tens de ajuste: Acabamento/Chiado e barulho n�o-conforme.	Efeito que o operador da opera�o seguinte percebe, mas que n�o causa nenhuma perturba�o no fluxo de produ�o.
Menor	3	Efeito que o cliente ( 50% ) pode perceber mas que n�o h� nenhuma degrada�o importante sobre a performance. Ex.: tens de ajuste: Acabamento/Chiado e barulho n�o-conforme.	Efeito que o operador da opera�o seguinte percebe e que causa uma pequena perturba�o no fluxo de produ�o.
Muito baixo	4	Efeito que o cliente ( > 75% ) pode perceber mas que n�o h� nenhuma degrada�o importante sobre a performance. Ex.: tens de ajuste: Acabamento/Chiado e barulho n�o-conforme.	Efeito que gera uma perturba�o moderada no fluxo de produ�o. Pode provocar retoques/ reparos sobre o produto. Custo moderado para retomar o processo � situa�o inicial.
Baixo	5	V�culo/Item oper�vel, mas com item(s) de Conforto/ Conveni�ncia oper�vel(is) com n�vel de desempenho reduzido. Cliente um tanto insatisfeito.	
Moderado	6	V�culo/Item oper�vel, mas com item(s) de Conforto/ Conveni�ncia inoper�vel(is). Cliente insatisfeito.	Efeito que gera uma perturba�o importante no fluxo de produ�o. Provoca retoques/reparos importantes sobre o produto. Custo elevado para retomar o processo � situa�o inicial.
Alto	7	V�culo/Item oper�vel, mas com n�vel de desempenho reduzido. Cliente bastante insatisfeito.	
Muito alto	8	V�culo/Item inoper�vel (perda da fun�o prim�ria).	Efeito que implica em problemas de seguran�a para o operador seguinte e que causa parada de produ�o.
Perigoso com aviso pr�vio	9	�ndice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a seguran�a na opera�o do v�culo e/ou envolve n�o-conformidade com a legisla�o governamental com aviso pr�vio.	
Perigoso sem aviso pr�vio	10	�ndice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a seguran�a na opera�o do v�culo e/ou envolve n�o-conformidade com a legisla�o governamental sem aviso pr�vio.	

Onde a sigla AMDEC   equivalente a FMEA, em francês.

## ANEXO 4

- Tabelas de Frequência / Não Detecção

Tabela de Frequência ( F ) - AMDEC Processo

Classificação	F	Crítérios	Taxa de falha possível
Probabilidade muito fraca	1	Defeito praticamente inexistente sobre processos semelhantes	≤ 0,001 %
	2		0,01 %
Probabilidade fraca	3	Defeito que raramente ocorre em processos semelhantes	0,05 %
	4		0,10 %
Probabilidade moderada	5	Defeito que ocorre ocasionalmente em processos semelhantes	0,20 %
	6		0,50 %
Probabilidade elevada	7	Defeito que ocorre com frequência sobre processos semelhantes	1,00 %
	8		2,00 %
Probabilidade muito elevada	9	É certo que o defeito ocorrerá com frequência	5,00 %
	10		≥ 10,00 %

Tabela de Não-deteção ( D ) - AMDEC Processo

Classificação	D	Crítérios	Risco de não-deteção	v / mês (330v/dia)
Probabilidade muito fraca	1	Probabilidade muito pequena de não se detectar a causa do defeito ou de não perceber o defeito antes que o produto siga para a operação seguinte Ex.: vigilância automática e permanente dos parâmetros de processo	≤ 0,001 %	0,07436
	2		0,01 %	0,7436
Probabilidade fraca	3	Probabilidade pequena de não se detectar a causa do defeito ou de não perceber o defeito antes que o produto siga para a operação seguinte Ex.: O defeito é evidente, nenhum defeito deixará de ser detectado (controle unitário pelo operador)	0,05 %	3,718
	4		0,10 %	7,436
Probabilidade moderada	5	Probabilidade moderada de não se detectar a causa do defeito ou de não perceber o defeito antes que o produto siga para a operação seguinte Ex.: Controle manual/ visual difícil	0,20 %	14,872
	6		0,50 %	37,18
Probabilidade elevada	7	Probabilidade elevada de não se detectar a causa do defeito ou de não perceber o defeito antes que o produto siga para a operação seguinte Ex.: O controle é subjetivo	1,00 %	74,36
	8		2,00 %	148,72
Probabilidade muito elevada	9	Probabilidade muito elevada de não se detectar a causa do defeito ou de não perceber o defeito antes que o produto siga para a operação seguinte Ex.: O ponto não é controlado ou controlável. O defeito e suas causas não são revelados	5,00 %	371,8
	10		≥ 10,00 %	743,6

## ANEXO 5

- PFMEA da Empresa Estudada – Banco de Rolos.

AMDEC - Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade Aplicável para PROCESSO																	
Processo:	CONTROLE FREIO DE MÃO	Nº Projeto:					Elaborado por:	Magnun de Jesus		Página							
Veículo/Linha:	TODOS	Nº REFUNIC:	MITY_MTPP12_2043				Data de criação:	15/10/2012									
Peça:	.	Responsável:	Magnun de Jesus				Data de revisão:	.									
Equipe:																	
Nº	Etapa do Processo	Potencial Modo de Falha (Defeito)	Potencial Efeito de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo de Falhas	Frequência	Controle Atual do Processo		Criticidade	Criticidade limite	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo		Ações Tomadas	Nova Gravidade	Nova Frequência	Nova Criticidade	
						Prevenção	Deteção				Resp.	Prazo					
200	PUXAR FREIO DE MÃO	MÃO PUXAR FREIO DE MÃO	FALHA CONTROLE	MÃO CUMPRIMENTO DO STD	7	X	LANÇAMENTO VEICULO DIVT / SOIP	2	140	36	CS/CSF	FLIPE FONSECA / MAGNUM DE JESUS	S44/2012	10	5	2	100
210	SOLTAR FREIO DE MÃO E VERIFICAR SE ESTA TOTALMENTE ABAIXADO.	MÃO SOLTAR FREIO DE MÃO ATÉ O TOP	FALHA CONTROLE	MÃO CUMPRIMENTO DO STD	2	X	LANÇAMENTO VEICULO DIVT / SOIP	2	20	60		FLIPE FONSECA	S44/2012				

