

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO**

HUMBERTO RODRIGO ARDUINO

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA ESTRUTURADA PELO
MODELO DMAIC EM UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA
AUTOMOBILÍSTICA**

Botucatu - SP

Junho – 2013

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO**

HUMBERTO RODRIGO ARDUINO

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA ESTRUTURADA PELO
MODELO DMAIC EM UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA
AUTOMOBILÍSTICA**

Orientador: Prof. Ms. André Delecrodi Neves.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à FATEC – Faculdade de
Tecnologia de Botucatu, para obtenção do
título de Tecnólogo no Curso Superior de
Produção Industrial.

Botucatu - SP

Junho – 2013

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha família, em especial a minha esposa Ana Claudia, meus filhos Pedro Henrique e Miguel Henrique (In memoriam) pelo apoio e dedicação que tiveram comigo no decorrer da faculdade e pela compreensão nos momentos de ausência, a meus pais Antônio Carlos e Eli Durante que sempre foram exemplos para mim e também a todas as pessoas que acreditaram em mim e contribuíram para o término desse curso.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar eu agradeço à Deus, a quem devo tudo o que sou e por me dar forças todos os dias.

A minha esposa Ana Cláudia que sempre entendeu os fins de semana que me abstinha de estar com ela para desenvolver este trabalho.

Ao meu orientador Prof. Ms. André Delecrodi Neves pela paciência, pelas sugestões, por ter acreditado na realização deste trabalho e confiado em meus ideais.

Agradeço também a todos os professores da FATEC Botucatu que sempre se disponibilizaram a ajudar, por tudo que aprendi neste período de três anos juntos nesta instituição, pelo respeito e pela paciência.

Aos colegas e amigos da 5ª turma de produção pela convivência e compartilhamento de experiências.

Aos funcionários da FATEC Botucatu, que sempre prestam seus serviços de maneira competente e gentil.

A toda minha família que sempre me apoiou e acreditou em mim.

Aos funcionários da montadora que estiveram envolvidos neste estudo de caso que apesar de não estarem expostos contribuíram muito para meu desenvolvimento profissional e acadêmico.

“Não conheço nenhuma fórmula infalível para obter o sucesso, mas conheço uma forma infalível de fracassar: tentar agradar a todos”
(John F. Kennedy – 35º Presidente dos EUA)

“Nada existe de tão difícil que não seja vencível”.
(Júlio Cesar - Imperador Romano)

RESUMO

Este presente trabalho relata a aplicação da metodologia Seis Sigma estruturada por meio das etapas *Define* (definir), *Measure* (medir), *Analyze* (analisar), *Improve* (melhorar) e *Control* (controlar) do método DMAIC em um estudo de caso aplicado na indústria automobilística cujo foco foi abordar problemas encontrados pelos clientes ainda no período de garantia dos produtos, em alguns casos logo após o término desta, mas que acabaram gerando certos níveis de insatisfação e que poderiam ter sido evitados ainda na fase de projeto, fabricação e montagem dos veículos. O Seis Sigma vem ganhando, cada vez mais, espaço nas empresas como uma metodologia bastante eficaz na solução de problemas por meio da diminuição da variabilidade dos processos e fornecimento de produtos e serviços de acordo com o nível de exigência ou necessidades dos clientes, atualmente um dos grandes desafios das organizações em um mundo altamente globalizado e competitivo é manter estes processos e produtos padronizados visando atingir maior índice de qualidade e produtividade. O estudo de caso para um determinado tipo específico de defeito foi realizado sob a estrutura de um projeto, com abordagem científica estruturada pelo DMAIC, até ser confirmado sua robustez possibilitando o atingimento dos resultados esperados de forma organizada, econômica e com uma equipe multidisciplinar.

PALAVRAS-CHAVE: DMAIC. Indústria Automobilística. Seis Sigma.

ABSTRACT

This present work reports the application of Six Sigma methodology structured through the stages Sets (set), Measure (measure), Analyze (analyze), Improve (improve) and Control (control) of the DMAIC method in a case study applied in industry automobile whose focus was to address problems encountered by customers still in the warranty period of the product, in some cases right after this, but that ended up generating certain levels of dissatisfaction and that could have been avoided at the stage of design, manufacture and assembly of vehicles. Six Sigma is gaining more and more space in business as a very efficient tool in solving problems by decreasing the variability of processes and delivery of products and services according to the level of demand and customer needs, now a of the great challenges of organizations in a highly globalized and competitive is to keep these processes and products in order to reach highest standard of quality and productivity. The case study for a certain specific type of defect was conducted under the framework of a project with the DMAIC structured scientific approach, to be confirmed its robustness enabling the achievement of expected results in an organized, economically and with a multidisciplinary team.

KEYWORDS: Automobile Industry. DMAIC. Six Sigma.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação Gráfica de um Processo Seis Sigma	16
Figura 2 - Estrutura dos Especialistas em Seis Sigma	17
Figura 3 - Etapas do DMAIC	19
Figura 4 – Histograma.....	26
Figura 5 - Diagrama de Pareto.....	27
Figura 6 - Matriz de Impacto/Facilidade.....	28
Figura 7 - Diagrama de Causa e Efeito	29
Figura 8 - Exemplos de Gráfico de Controle	30
Figura 9 – Diagrama de Pareto da Quantidade de Defeitos por Sistemas	39
Figura 10 – Distribuição do Tipo de Defeito do Sistema Elétrico	40
Figura 11 – Distribuição do Período de Detecção dos Defeitos.....	40
Figura 12 – Diagrama de Pareto para os Defeitos por Tipo de Componente.....	41
Figura 13 - Modelos de Sensores dos Veículos.....	42
Figura 14 - Diagrama de Causa e Efeito dos Sensores	43
Figura 15 - Modelos de Módulos de Comando (ECU).....	44
Figura 16 - Diagrama de Causa e Efeito dos Módulos (ECU).....	44
Figura 17 - <i>Software Infinity QS</i>	46
Figura 18 - Conjunto de Equipamento Kaptor	48
Figura 19 - Tensão do Motor em Regime de Funcionamento.....	50
Figura 20 - Tensão de Alimentação no Módulo (ECU).....	50
Figura 21 - Matriz de Impacto/Facilidade das Ideias.....	51
Figura 22 - Instalação do Cabo de Aterramento.....	54
Figura 23 - Protocolo de Informação da Rede CAN (<i>Controller Area Network</i>)	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Interpretação do Índice de Cpk	33
Quadro 2 - Plano de Ação 5W2H	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de Sigma e a Quantidade de Defeitos por Milhão	17
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABS – *Antilock Braking System* (Sistema Antitravamento dos Freios)
- AM – Amplitude Móvel
- CAN - *Controller Area Network* (Áreas e Sistemas Controlados por Rede)
- CP – Capabilidade do Processo
- CPK – Capabilidade e Centralização do Processo
- CTQ – *Critical To Quality* (Crítico para a Qualidade)
- DMAIC – *Define, Measure, Analyse, Improve e Control* (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar)
- DPBO – Defeitos Por Bilhão de Oportunidades
- DPMO – Defeitos Por Milhão de Oportunidades
- ECU – *Electronic Control Unit* (Unidade de Controle Eletrônico)
- EUA – Estados Unidos da América
- GE – General Electric
- LIC – Limite Inferior de Controle
- LIE – Limite Inferior de Especificação
- LM – Linha Média
- LSC – Limite Superior de Controle
- LSE – Limite Superior de Especificação
- MSE – *Measurement Systems Evaluation* (Avaliação de Sistemas de Medição)
- OJT – *On the Job Training* (Treinamento no Local de Trabalho)
- POP – Procedimento Operacional Padrão
- SAC – Serviço de Atendimento ao Consumidor
- VOC – *Voice of Customer* (Voz do Cliente)
- 6σ – Seis Sigma

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo	12
1.2 Justificativa	13
2 REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 Seis Sigma	14
2.2 O modelo DMAIC	18
2.2.1 Etapa <i>Define</i> (D)	20
2.2.2 Etapa <i>Measure</i> (M).....	21
2.2.3 Etapa <i>Analyze</i> (A)	22
2.2.4 Etapa <i>Improve</i> (I)	23
2.2.5 Etapa <i>Control</i> (C).....	24
2.3 Ferramentas Utilizadas no Seis Sigma	25
2.3.1 Estratificação.....	25
2.3.2 Histograma.....	26
2.3.3 Gráfico de Pareto.....	26
2.3.4 Coeficiente de Correlação.....	27
2.3.5 Matriz de Impacto/Facilidade	28
2.3.6 Diagrama de Causa e Efeito.....	29
2.3.7 Gráficos de Controle	29
2.3.8 Índices de Capacidade do Processo.....	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 Material.....	34
3.2 Método.....	35
3.3 Estudo de Caso.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 <i>Define</i> (Definição).....	37
4.2 <i>Measure</i> (Medir)	38
4.3 <i>Analyze</i> (Analisar).....	42
4.4 <i>Improve</i> (Melhorar).....	52
4.5 <i>Control</i> (Controlar)	55
4.6 Finalização do Estudo de Caso	56
5 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a indústria automobilística situa-se em um ambiente cada vez mais competitivo e no atual cenário do mundo globalizado, estão procurando sempre uma maneira de sair à frente da concorrência buscando novas ideias, novos métodos, novas ferramentas, investindo em tecnologias de ponta e sempre focadas no cliente quanto a suas necessidades, expectativas e satisfação. A capacidade de oferecer respostas rápidas, custos adequados e atendimento às necessidades de clientes são fatores primordiais para determinar o insucesso ou sucesso de uma organização. Para isto, elas estão buscando soluções que permitam o aumento da produtividade, garantia da qualidade e redução dos custos nos seus processos produtivos.

Neste contexto de busca por uma maior qualidade nas empresas, o modelo Seis Sigma têm se mostrado uma ferramenta importante na condução de negócios, pois possui uma forma particular, uma metodologia própria de tornar uma empresa extremamente diferenciada naquilo que faz, destacando-se pelo atingimento de ótimos níveis de qualidade.

A metodologia Seis Sigma vai de encontro com as necessidades impostas pelo mercado. É uma metodologia focada na melhoria de processos existentes por meio de análises estatísticas e seu objetivo final é proporcionar ganhos financeiros para empresas, seja ele por meio de custos evitados ou do próprio aumento de sua eficiência produtiva.

A busca pelas certificações de qualidade também induz a uma falsa sensação de classe mundial, isto é, a produção com baixos custos, com níveis de falhas mínimos e a competitividade nos mercados internos e externos, essa busca tem atraído as organizações para o sistema Seis Sigma.

Esta metodologia foi empregada na implantação dos projetos Seis Sigma, muito utilizado por diversas empresas ao longo dos anos, onde os casos mais notáveis de sucesso foram a empresa Motorola e a empresa General Electric, com melhorias que lhes renderam milhares de dólares em economia.

Para atingir o objetivo mencionado, não se aplica apenas ferramentas de controle de qualidade por si só, mas sim todo um método de gestão de qualidade conhecido como ciclo DMAIC. A sigla que define essa metodologia vem do inglês e significa: *Define* (definir), *Measure* (medir), *Analyse* (analisar), *Improve* (melhorar) e *Control* (controlar). O DMAIC é um ciclo de desenvolvimento de projetos de melhoria, originalmente utilizado na estratégia Seis Sigma. Inicialmente, foi concebido para projetos relacionados a qualidade, porém, não é efetivo somente na redução de defeitos, abrange também projetos de aumento de produtividade, redução de custos, melhoria em processos administrativos, entre outras oportunidades de aplicação.

Na fabricação de peças, componentes e conjuntos automobilísticos a previsibilidade é fundamental uma vez que a qualidade do serviço é muito influenciada pelo alto volume de produção e baixa variabilidade no processo, falta inesperada de recursos, influências externas indesejadas na produção entre outros. Porém, existem os problemas rotineiros que causam desvios de produção, sendo estes possíveis de serem solucionados a partir do momento em que são identificados. O objetivo das empresas nos próximos anos é alcançar o topo da eficiência operacional, para que isso seja possível, é necessário estudar e atuar sobre o oposto, ou seja, na sua ineficiência operacional.

O DMAIC tem também como característica marcante o enfoque em medir as informações, ou seja, a obtenção de dados quantitativos durante as etapas do projeto, conceituando todo seu ciclo de uma forma mais técnica, ele se baseia na precisa identificação, análise, melhoria e controle dos fatores de influência que contribuem para a variabilidade de um processo.

1.1 Objetivo

O objetivo geral foi apresentar e adaptar a metodologia de aplicação do Seis Sigma e desenvolver um estudo aplicando-a e avaliando resultados que podem ser obtidos a partir do seu uso de forma qualitativa e quantitativa, assim como os resultados que contribuiriam para alavancar os indicadores de qualidade no nível de sigma.

O objetivo deste trabalho foi demonstrar o estudo sobre a viabilidade de aplicação da metodologia Seis Sigma estruturada pela ferramenta DMAIC em uma empresa do setor automobilístico instalada no Brasil, a qual oferece estrutura para conduzir projetos de melhoria de qualidade, produtividade e redução de custos, porém sem divulgação de nome e marca.

O estudo teve por objetivo específico reduzir os custos com problemas de qualidade para a montadora aplicando uma ferramenta de alto desempenho e de forma estruturada, além de manter a confiabilidade e imagem da marca perante os clientes.

1.2 Justificativa

Para acompanhar o atual ambiente empresarial em constante transformação, torna-se essencial ter pensamentos e ações voltados para a melhoria contínua, enfim, desenvolver uma cultura com base nela. Nesse cenário, o conhecimento da metodologia Seis Sigma é de suma importância para todos os membros da organização, que estarão em constante contato com esse ambiente dinâmico de trabalho e com a necessidade de realizar melhorias em um curto espaço de tempo, onde os envolvidos na produção devem se adaptar focando na eliminação de desperdícios, aumento da produtividade, mas com elevado nível de qualidade.

A motivação inicial para a escolha do tema foi o interesse em aprofundar o conhecimento sobre o assunto e aplicação da ferramenta DMAIC por meio de um estudo de caso.

Na era globalizada não é mais possível garantir a sobrevivência da empresa apenas exigindo que as pessoas façam o melhor que puderem ou cobrando apenas resultados, é necessário buscar outros métodos, novas formas de fazer cada vez melhor, com maior qualidade e no menor tempo possível. Deve-se aplicar hoje para ser suficientemente competitivo no dia de amanhã.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Seis Sigma

O método Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar expressivamente a performance e lucratividade das empresas, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processo e do aumento da satisfação de clientes e consumidores. Ele nasceu na Motorola em 1987, com o objetivo de tornar a empresa capaz de enfrentar seus concorrentes, que fabricavam produtos de qualidade superior a preços menores. A partir de 1988, quando a Motorola foi agraciada com o Prêmio Nacional da Qualidade Malcolm Baldrige, o Seis Sigma tornou-se conhecido como o programa responsável pelo sucesso desta organização. Com isso, outras empresas passaram a utilizar o programa e a divulgar os enormes ganhos alcançados por elas gerando um crescente interesse pelo Seis Sigma (WERKEMA, 2006).

Segundo Pande et al. (2001), Seis Sigma é definido como um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial, onde ele é singularmente impulsionado por uma estreita compreensão das necessidades dos clientes, pelo uso disciplinado de fatos, dados e análise estatística e a atenção diligente à gestão, melhoria e reinvenção dos processos de negócios. Esta definição fornece a base de todos os esforços para se descerrar o potencial do Seis Sigma para uma organização. Os tipos de sucesso empresarial são proporcionais aos inúmeros benefícios comprovados que se pode alcançar com o Seis Sigma, tais como:

- Redução de custos;
- Melhoria na produtividade;

- Crescimento da fatia de mercado;
- Retenção de clientes;
- Redução de tempo de ciclo dos processos;
- Redução de defeitos;
- Mudança cultural dos funcionários na condução das atividades e operações;
- Desenvolvimento de produto/serviço.

Um dos elementos mais marcantes deste programa é a utilização da estatística e do pensamento estatístico. O uso intensivo de ferramentas estatísticas e a sistemática análise da variabilidade são as marcas registradas deste programa (CARVALHO e PALADINI, 2005).

Segundo Barney (2002), o Seis Sigma na sua origem estava relacionado a uma medida de qualidade e uma abordagem para solução de problemas de qualidade. Na sequência, evoluiu para uma metodologia de melhoria geral do negócio.

A abordagem Seis Sigma foi desenvolvida pela MOTOROLA na década de 80, com o objetivo de reduzir a taxa de falhas em seus produtos. Inicialmente consistia na contagem de defeitos nos produtos e na gestão da variação e a melhoria sistemática de todos os processos (CORONADO, 2002).

A popularização do Seis Sigma ocorreu na década de 90 e teve como líder John F. Welch, então presidente da empresa General Electric (GE). A (GE) percebeu que no início estava trabalhando na mudança da média dos indicadores de qualidade, enquanto o que o cliente sente é o efeito da variação da qualidade. Por muitos anos a GE trabalhou na redução de causas especiais de variação, ou seja, aquelas que acontecem inesperadamente e faz o nível de qualidade do processo se deslocar. No Seis Sigma, a GE atacou aquilo que Deming reconhecia como o trabalho da gerência, a redução das causas comuns da variação, ou seja, aquelas que resultam variabilidade natural do processo (ainda que exista padronização no processo) (WATSON, 2001).

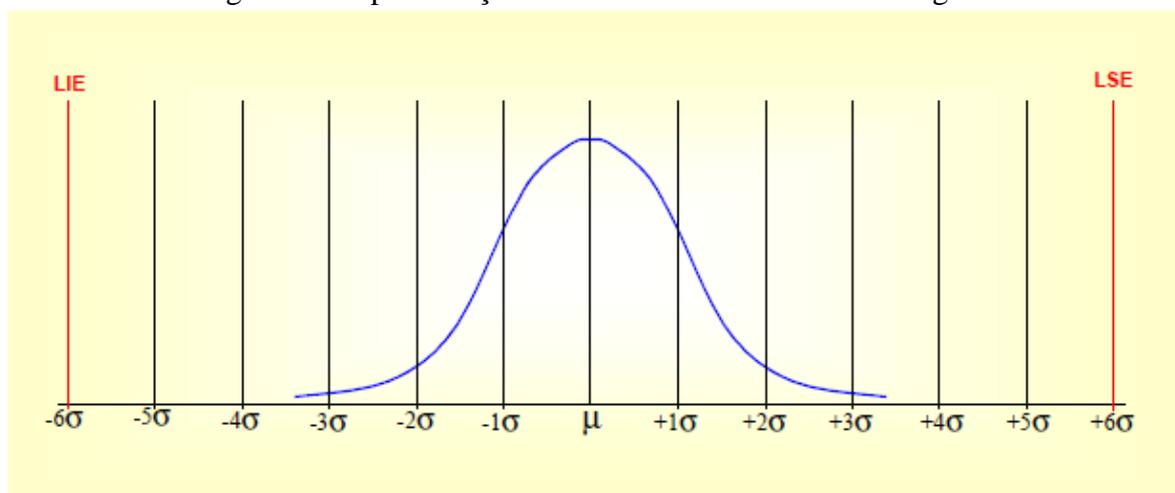
A GE é considerada uma empresa modelo, quando começou a utilizar a metodologia Seis Sigma e obteve excelentes resultados, este fato chamou a atenção do mercado, pois outras empresas também se interessaram em obter o mesmo desempenho perante o mercado competitivo, a partir daí, o Seis Sigma disseminou-se rapidamente.

“O Seis Sigma mudou para sempre a G.E. Todos, desde os fanáticos pelo Seis Sigma surgindo de seus tours como Faixas-pretas, aos engenheiros, os auditores e cientistas, à alta gerência, que levará esta empresa ao novo milênio, acreditam realmente no Seis Sigma, que é a maneira pela qual esta empresa funciona agora” – John F. Welch, Presidente da G.E. (PANDE et al., 2001, p.76).

Harry (1998), define em seu artigo que o Seis Sigma é um processo de negócio que permite às organizações incrementar seus lucros por meio da otimização das operações, melhoria da qualidade e eliminação de defeitos, falhas e erros. A meta do Seis Sigma não é alcançar níveis Seis Sigma de qualidade, está relacionado à melhoria da lucratividade. Organizações que implementam esta filosofia, fazem isso com o objetivo de melhorar seus lucros.

Estatisticamente definindo-se, a terminologia Seis Sigma (6σ) significa a ocorrência de 6 desvios-padrão (σ) entre a média (μ) e os limites de especificação inferior (LIE) e superior (LSE), ou seja, quando 6 desvios-padrão podem ser encontrados entre a média de uma distribuição e o limite estabelecido pelo cliente (limite que o cliente especifica) tem-se um processo Seis Sigma. Isto equivale a um processo que irá apresentar somente 1,2 erros ou defeitos por 1 bilhão de oportunidades (DPBO), sendo que se pode definir *oportunidade* como sendo um evento que pode vir ou não a apresentar um erro ou defeito (Figura 1) (BEHARA et. al, 1995).

Figura 1 - Representação Gráfica de um Processo Seis Sigma



Fonte: Behara, (1995).

Segundo Werkema (2004), um processo pode ser considerado como sendo Seis Sigma quando este atingir 4,5 desvios-padrão no longo prazo, o que significará que o processo, em curto prazo, estará apresentando 6 desvios-padrão. É este valor de 4,5 desvios-padrão em longo prazo que representam os 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) utilizados nas definições para o Seis Sigma.

Na literatura relacionada a este assunto encontra-se tabelas que convertem o número de DPMOs (Defeitos por Milhão de Oportunidades) diretamente no valor do desvio-padrão do

processo, como pode ser visto na Tabela 1, o qual apresenta valores para cada nível de sigma do processo, tanto em curto prazo quanto para longo prazo (WERKEMA, 2004).

Tabela 1 - Nível de Sigma e a Quantidade de Defeitos por Milhão

Nível da Qualidade (sigma em curto prazo)	Defeitos por milhão (ppm)	Custo da não qualidade (percentual do faturamento da empresa)	ZPL (Sigma em longo prazo)
1 Sigma	690.000	Não se aplica	0,2
2 Sigma	308.537	Não se aplica	0,5
3 Sigma	66.807	25 a 40%	1,5
4 Sigma	6.210	15 a 25%	2,5
5 Sigma	233	5 a 15%	3,5
6 Sigma	3,4	< 1 %	4,5

6 níveis de Sigma

Fonte: Werkema, (2004).

Um processo é definido como tendo desempenho Seis Sigma quando estiver com a média da população centrada no valor nominal da especificação e os limites de especificação estiverem distantes seis desvios-padrão da média da população (HILSDORF, 2002).

Um defeito é uma característica mensurável de um processo ou de um resultado que não é aceito pelo cliente, ou seja, não atendeu as expectativas e/ou necessidades do cliente, não conformidade com as especificações. Estatisticamente, em um processo classificado como 6σ , lida-se então com uma parcela de apenas duas partes por bilhão fora da especificação, ou seja, a cada bilhão de operações executadas, duas dariam errado (USEVINICIUS, 2004).

Harry e Schroeder (2000) citam como principais figuras do Seis Sigma os *Champions*, os *Black Belts*, os *Green Belts* e ainda os *Master Black Belts* conforme Figura 2.

Figura 2 - Estrutura dos Especialistas em Seis Sigma



Fonte: Werkema, (2004).

- *Champions*: Líderes de nível executivo, selecionados para garantir que o Seis Sigma esteja integrado à organização. Trata-se de um elemento dedicado à gestão do Seis Sigma no dia-a-dia, também chamado de Líder do Seis Sigma (*Six Sigma Leader*).

- *Black Belts*: Colaboradores que trabalham aplicando os conceitos e as ferramentas do Seis Sigma em projetos. Sua formação depende de um treinamento intensivo em estatística e em técnicas para solução de problemas. Eles normalmente atuam identificando em diferentes processos, oportunidades a serem exploradas por meio de projetos.

- *Green Belts*: Colaboradores em diferentes partes da organização que aplicam o Seis Sigma no seu dia-a-dia. Sua formação envolve um treinamento menos intensivo que o dos *Black Belts*. Os *Green Belts* são líderes de projetos.

- *Master Black Belts*: Indivíduos selecionados pela empresa para atuarem como experts nos conceitos e ferramentas do Seis Sigma. Coordenam seleção de projetos e treinamento. Desempenham o papel de *coach* (treinador) ou de consultor interno.

É possível identificar cinco vantagens competitivas básicas que as empresas alcançam com a conclusão de projetos Seis Sigma.

A qualidade como vantagem competitiva demonstra que a organização é capaz de fazer as coisas certas no tempo adequado, evitando perdas e retrabalho. A velocidade como vantagem competitiva permite à empresa produzir mais rapidamente seu produto/serviço. A vantagem competitiva da confiabilidade gera a fidelização de clientes. A vantagem competitiva da flexibilidade permite alterações rápidas e eficazes, mantendo seus padrões de qualidade e prazo. A vantagem competitiva do custo traduz a capacidade que a empresa possui de tornar as coisas mais baratas (MENEZES, 2003, p.156).

2.2 O modelo DMAIC

Como uma metodologia disciplinada, o Seis Sigma, utiliza ferramentas estatísticas clássicas organizadas em um método de solução de problemas e seguindo um rigoroso modelo, o DMAIC, que conforme Figura 3 garante uma sequência ordenada, lógica e eficaz no gerenciamento dos projetos.

Figura 3 - Etapas do DMAIC

ETAPA	Objetivos	Ferramentas
DEFINE	Definir o escopo do projeto: importância, equipe, cronograma...	<i>Project Charter</i> ; Gráficos de Controle; Análise de séries temporais; Voz do Cliente (VOC); Análises econômicas
MEASURE	Determinar o foco do problema, verificar a confiabilidade dos dados; coletar dados	Coleta de Dados; Estratificação; Amostragem; Folha de verificação; Diagrama de Pareto; Histograma; Índice de capacidade
ANALIZE	Analisar o processo para determinar as causas potenciais do problema	Fluxograma; Mapa do processo/ produto; FMEA; <i>Brainstorming</i> ; Diagrama de Causa e Efeito; Planejamento de Experimentos
IMPROVE	Identificar e avaliar as soluções prioritárias e implementá-las	<i>Brainstorming</i> ; Diagrama de Causa e Efeito; FMEA; Teste de mercado; <i>Stakeholder Analysis</i> ; Simulação; 5W2H; PERT/CPM
CONTROL	Garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo e padronizar as alterações	Cartas de controle; Histograma; Índice de capacidade; Manuais; Procedimento padrão; Relatório de Anomalias; Reuniões

Fonte: Santos; Martins, (2003).

O DMAIC é um modelo formado de cinco fases que guiam as atividades necessárias a serem empregadas na metodologia Seis Sigma para a melhoria dos processos e que tem por objetivo estruturado, a definição dos problemas e situações que serão melhoradas, a medição para obtenção das informações e dados, a análise da informação coletada, a obtenção de melhorias nos processos e o controle dos mesmos.

Cada letra desta sigla tem um significado bem definido objetivando o que deve ser feito: (**D** - *Define*) definir, (**M** - *Measure*) medir, (**A** - *Analyze*) analisar, (**I** - *Improve*) melhorar e (**C** - *Control*) controlar, assim como cada fase pode utilizar várias ferramentas conhecidas no seu desenvolvimento conforme ilustrado na Figura 3 (SANTOS e MARTINS, 2003). O modelo serve como um apoio para manter o foco nas atividades seguindo uma direção estruturada, onde cada etapa deve ter o mesmo grau de importância do que as demais e todo o ciclo deve ser realimentado por meio de nova coleta de dados após implementação das ações a fim de repeti-lo até o atingimento do nível de sigma 6.

Segundo Carvalho e Paladini (2005), com uma metodologia disciplinada, o Seis Sigma utiliza ferramentas estatísticas clássicas, organizadas em um método de solução de problemas, denominado DMAIC e que passa por cinco fases: Definir (*Define* - D), Medir (*Measure* - M), Análise (*Analyze* - A), Melhoria (*Improve* - I) e Controle (*Control* - C).

A definição de Rasis et al. (2002) resume de forma clara a definição da metodologia Seis Sigma e a ferramenta DMAIC:

Seis Sigma é a inflexível e rigorosa busca da redução da variação em todos os processos críticos para alcançar melhorias contínuas e quânticas que impactam os índices de uma organização e aumentam a satisfação e lealdade dos clientes. É uma iniciativa organizacional projetada para criar processos de manufatura, serviço ou administrativo que gerem no máximo 3,4 defeitos por milhão de oportunidade (DPMO). A ferramenta de melhoria empregada na implantação dos projetos Seis Sigma é o DMAIC: acróstico que representa: Definir-Medir-Analisar-Melhorar-Controlar. (RASIS, 2002, p 128).

2.2.1 Etapa *Define* (D)

A primeira etapa do DMAIC (D: *define*) consiste na definição do problema, devendo esta ser a mais específica possível. Werkema (2004) define os passos dessa etapa, onde são identificados os projetos Seis Sigma que serão desenvolvidos na empresa com o objetivo primeiro de satisfazer as expectativas dos clientes em termo de qualidade, preço e prazo de entrega.

Os clientes de uma organização são todos aqueles que são afetados pela baixa qualidade de um produto ou serviço entregue, podem ser considerados como clientes os departamentos internos, os funcionários e principalmente os clientes finais. A habilidade da organização em atender a essa expectativa está intimamente ligada à variação de seus processos. A identificação de projetos Seis Sigma permite à organização reconhecer como os seus processos afetam sua lucratividade e permite definir quais desses processos são críticos para o negócio da empresa.

Segundo Moreira et al. (2004) na etapa *Define* os problemas prioritários devem ser selecionados para trabalhar, de acordo com a formulação estratégica da empresa (onde se considera ambiente interno e externo da organização, ameaças e oportunidades) e os problemas crônicos provenientes da rotina da empresa. Deve-se fazer uma avaliação histórica do problema, como meio de justificar se o processo deve ou não ser realizado e o quanto ele deve ser melhorado.

Todo projeto deve ter metas estabelecidas. As metas serão os objetivos estratégicos da organização, tais como maior participação no mercado, retornos sobre investimentos mais elevados, redução do nível de defeitos, aumento de produção, melhoria da qualidade, aumento do giro de estoque, melhor previsão de demanda, dentre outros.

A meta geral é definida por meio do objetivo gerencial, da definição de valor e de prazo. Assim, para que a meta geral esteja correta, esta deve possuir objetivo, valor e prazo.

Moreira et al. (2004) afirma que o valor pode ser definido por meio da comparação do comportamento histórico e de valores encontrados em outras empresas ou setores afins; e o prazo deve ser definido a partir da estratégia da alta direção corporativa e da complexidade do problema envolvido.

Outro fator muito importante neste momento é a correta formação da equipe de trabalho, bem como a clareza das informações sobre as metas individuais e do projeto final para esta equipe.

No início desta etapa é elaborada o Contrato do Projeto (“*Project Charter*”), que é o contrato entre a equipe de liderança da empresa e a equipe Seis Sigma. Este contrato contém a proposta do projeto com as principais informações deste, descritas abaixo:

1. Nome do projeto;
2. Responsável ou líder do projeto (“*Green Belt*” ou “*Black Belt*”);
3. Equipe do projeto;
4. Impacto dos benefícios;
5. Métricas primária, secundárias e contramedidas;
6. Cronograma: datas previstas de início e fim de cada passo;
7. Identificação do processo a ser melhorado;
8. Descrição do problema / projeto;
9. Escopo ou Limites do projeto;
10. Suporte requerido – recursos necessários, entre outros.

O ponto de vista do cliente e suas expectativas são premissas básicas para a análise e direcionamento de todas as atividades que a equipe de trabalho executará na fase de definição. A Voz do Cliente (*Voice of the Customers - VOC*) é o conjunto de dados que representa os requisitos do cliente, ou seja, suas necessidades e expectativas quanto ao projeto, bem como suas percepções em relação aos produtos da empresa. Essas informações são fundamentais, uma vez que são traduzidas nas Características Críticas para a Qualidade (*Critical to Quality: CTQs*), as quais devem estar em concordância com o problema do projeto e auxiliam na definição do principal processo envolvido no projeto (WERKEMA, 2004).

2.2.2 Etapa *Measure* (M)

Nessa etapa (M: *measure*) é determinado o foco do problema. Moreira et al. (2004) afirma que o objetivo dessa fase é desdobrar o problema em problemas menores, caso ainda não esteja, de forma a se identificar, o foco dos problemas críticos a serem atacados.

Inicialmente, deve-se decidir pela utilização dos dados já fornecidos pela empresa ou pela realização de uma nova coleta de dados, uma vez que não constatada a confiabilidade dos dados já existentes. Uma técnica para Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção deve ser utilizada para verificar quão confiáveis são os dados a serem utilizados na obtenção de conhecimento do problema em questão (AGUIAR, 2006).

Posteriormente, para essa fase, há necessidade de estratificar o problema geral, em critérios como tempo, local, tipo e outros de acordo com o objeto em questão. Após essa estratificação, os problemas devem ser priorizados e devem ser identificados quais os mais críticos que serão trabalhados nas futuras análises. Quanto mais estratificado estiver o problema, maior a facilidade em solucioná-lo.

No caso de não serem utilizados os dados já existentes na empresa, um plano de coleta de dados deve ser realizado para a obtenção dos dados que serão utilizados na análise.

Werkema (2004) afirma que, anteriormente à coleta de dados, os sistemas de medição e inspeção devem ser preparados e testados, utilizando as ferramentas para Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção (MSE).

Após os dados coletados e validados, o problema deve ser desdobrado em problemas menores, de menor complexidade. Os focos do problema devem ser definidos de maneira que seja mais fácil a obtenção das soluções e em seguida faz-se uma priorização dos problemas que serão solucionados.

Identificados os problemas prioritários, suas variações devem ser estudadas. Utiliza-se a análise de dados exploratória e descritiva para avaliar e entender os dados. A avaliação tem a função de acompanhar e medir o andamento dos processos, permitindo que melhorias possam ser implementadas em conformidade com os resultados obtidos.

A partir desta análise, deve-se desdobrar a meta estabelecida para o problema inicial em metas específicas para os focos definidos. Essas metas específicas podem ou não ser delegáveis, sendo delegável no caso de o tratamento não pertencer à área a qual o projeto está atrelado, devendo, portanto, ser tomada como meta inicial de um novo projeto, atribuído à área responsável (WERKEMA, 2004).

2.2.3 Etapa *Analyze* (A)

Esta etapa (A: *Analyze*) é direcionada ao entendimento da ocorrência do problema prioritário, ou seja, à descoberta de suas causas fundamentais e sua quantificação (WERKEMA, 2004). A análise dos dados coletados anteriormente é feita nesta etapa

utilizando-se de ferramentas da qualidade e ferramentas estatísticas. As causas óbvias e não óbvias que influenciam no resultado do processo devem ser determinadas, e devem ser descobertas as fontes de variações nos processos (ROTONDARO, 2008).

Primeiramente deve-se realizar a observação do processo ao qual o problema prioritário está relacionado, para um melhor atendimento o fluxo e identificar as oportunidades de melhoria existentes. Deve-se então, por meio do uso intenso de ferramentas estatísticas, analisar os dados do problema prioritário e de seu processo gerador, com o intuito de identificar os fatores que produzem variações nos resultados relacionados ao problema e como se dá a manifestação dessas variações (WERKEMA, 2004).

Van der Pol (2011) afirma que realizadas essas atividades, inicia-se a identificação das prováveis causas do problema. O levantamento dessas causas pode ser realizado por meio de um *Brainstorming* (tempestade de ideias) e os resultados podem ser organizados em um diagrama de causa/efeito, diagrama de afinidades ou diagrama de relações, com a finalidade de permitir melhor visualização e entendimento.

Para Aguiar (2006) as causas potenciais do problema prioritário identificadas devem ser priorizadas e, posteriormente, realizada a coleta de dados para a verificação das causas que contribuem significativamente para o problema, pois o tratamento de um número menor de causas é mais simples e pode levar ao alcance de todas as metas específicas. Por fim, a relação entre as causas identificadas e as características de interesse no problema é mensurada, de forma a priorizar as causas com maior grau de influência sobre a ocorrência do problema.

2.2.4 Etapa *Improve* (I)

O objetivo desta fase é gerar ideias, desenhar programas de melhorias, realizar projetos pilotos de ajustes em processos e implementá-los. É por meio da análise dos resultados obtidos nas fases de Definição, Medição e Análise que a fase de Melhoria possui subsídios para propor mudanças e estar constantemente pensando em melhorias. A coleta de informações da satisfação dos clientes em conjunto com dados de desempenho de processos, auxilia a equipe de trabalho a propor mudanças e, em alguns casos, realizar ajustes (STAMATIS, 2004).

Segundo Werkema (2004, p.108), “Inicialmente deve-se realizar um *Brainstorming* para a geração de ideias de soluções potenciais com a finalidade de eliminar as causas fundamentais dos problemas identificados anteriormente, e eliminar as causas de variação

destes problemas.”, as ideias listadas devem ser refinadas e combinadas para darem origem às soluções potenciais para o alcance da meta prioritária.

Em seguida, de acordo com Aguiar (2006), as medidas propostas para as metas específicas devem ser priorizadas de forma que a meta inicial possa ser alcançada como parte das ações, dado que uma medida definida pode estar relacionada a mais de uma meta específica.

Rotondaro (2008) complementa que nesta fase, pretende-se confirmar quais são as poucas entradas do processo que impactam em sua saída, ou seja, quais são as poucas entradas vitais. Priorizadas as soluções, faz-se necessária, de acordo com Werkema (2004), uma análise dos riscos associados a essas soluções, buscando minimizá-los.

Toda proposta de melhoria deve estar apoiada em uma implementação de um piloto inicial, que é um projeto em menor escala que visa validar com um grupo menor se os benefícios propostos realmente foram atingidos. A comprovação dos benefícios em projetos pilotos são um forte indicativo de que o resultado pode ser propagado e implementado na área ou em um processo como um todo (STAMATIS, 2004).

Finalmente, deve ser elaborado e executado um plano para execução das soluções em larga escala, sendo necessário também avaliar se o alcance da meta é possível a partir das soluções selecionadas.

2.2.5 Etapa *Control* (C)

O objetivo desta fase é controlar os processos existentes, aplicar medições com o intuito de monitorar o andamento dos processos e antecipar ações corretivas e de prevenção de desvios. É necessário institucionalizar melhorias por meio de modificações em sistemas, estruturas e processos, tudo isto acompanhado por um plano de controle onde ficam registrados os responsáveis, o que está sendo mensurado, parâmetros de desempenho e medidas corretivas aplicadas (STAMATIS, 2004).

Para Werkema (2004), o início da etapa ocorre pela avaliação dos resultados obtidos com a implementação das soluções, por meio da comparação com os resultados apresentados anteriormente e certificando-se do alcance da meta em larga escala. Posteriormente, o estabelecimento de novos Procedimentos Operacionais Padrão (POP) ou revisão dos já existentes, devem ser realizadas, com a finalidade de padronizar as modificações implementadas no processo.

As pessoas envolvidas no processo devem estar cientes dos novos procedimentos, o que pode ser feito por meio de manuais de treinamento, reuniões, palestras e treinamentos no trabalho (OJT) que significa *On The Job Training* (Treinamento no Local de Trabalho).

Para que os problemas não voltem a ocorrer, é necessário estabelecer um plano de monitoramento de desempenho do processo e do alcance da meta, além de ser necessária a utilização de diversas ferramentas de controle.

Deve-se também definir e implementar um plano para tomada de ações corretivas caso surjam problemas no processo, pois, a agilidade na detecção de mudanças no comportamento do processo é importante para que ações corretivas apropriadas sejam tomadas e o processo seja corrigido sem causar grandes transtornos (WERKEMA, 2004).

Por fim, Werkema (2004) afirma que é necessário sumarizar tudo que foi aprendido e recapitular todas as atividades desenvolvidas com o intuito de avaliar o modo como foram conduzidas. É de extrema importância que algumas questões que não foram tratadas no trabalho sejam recomendadas para projetos posteriores.

2.3 Ferramentas Utilizadas no Seis Sigma

Durante as fases do DMAIC, a utilização de algumas ferramentas são de extrema importância para análise de possíveis ações de melhorias e para auxiliar na formulação de métodos e processos para implementação da metodologia e planos de ação. Ferramentas para o gerenciamento da qualidade são fundamentais para o planejamento e controle das variáveis internas e externas ligadas a uma empresa.

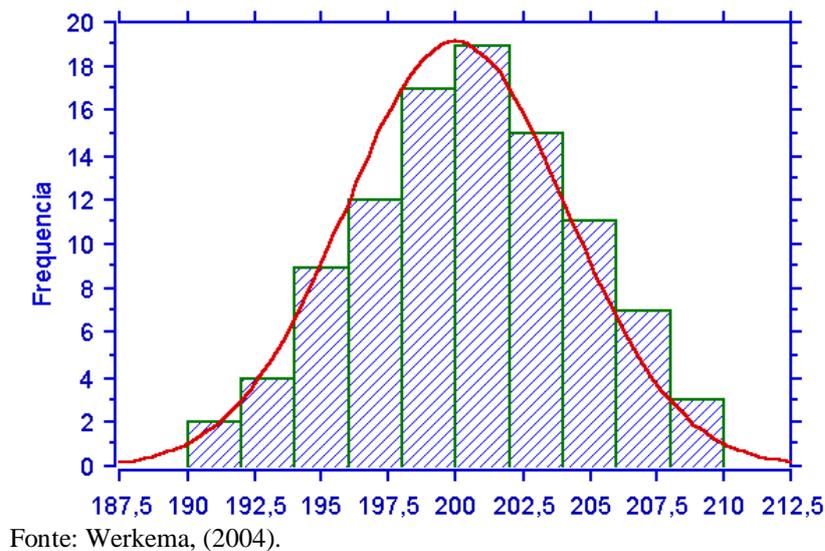
2.3.1 Estratificação

A estratificação é uma ferramenta utilizada para o desdobramento dos dados, ou seja consiste em dividir um grupo de dados em diversos subgrupos com base em características que as diferenciam das demais. Seu principal objetivo é auxiliar na análise e na pesquisa para o desenvolvimento de oportunidades de melhoria, pois, possibilita a visualização da real composição dos dados estratificados (AGUIAR, 2006).

2.3.2 Histograma

O histograma (Figura 4) é um gráfico de barras onde os dados são distribuídos por classes (ou categorias). A grande vantagem do histograma é que ele mostra uma fotografia da variável em um determinado instante (JUNIOR et al., 2006). As barras de cada classe são caracterizadas pela frequência distribuída em cada uma.

Figura 4 – Histograma



2.3.3 Gráfico de Pareto

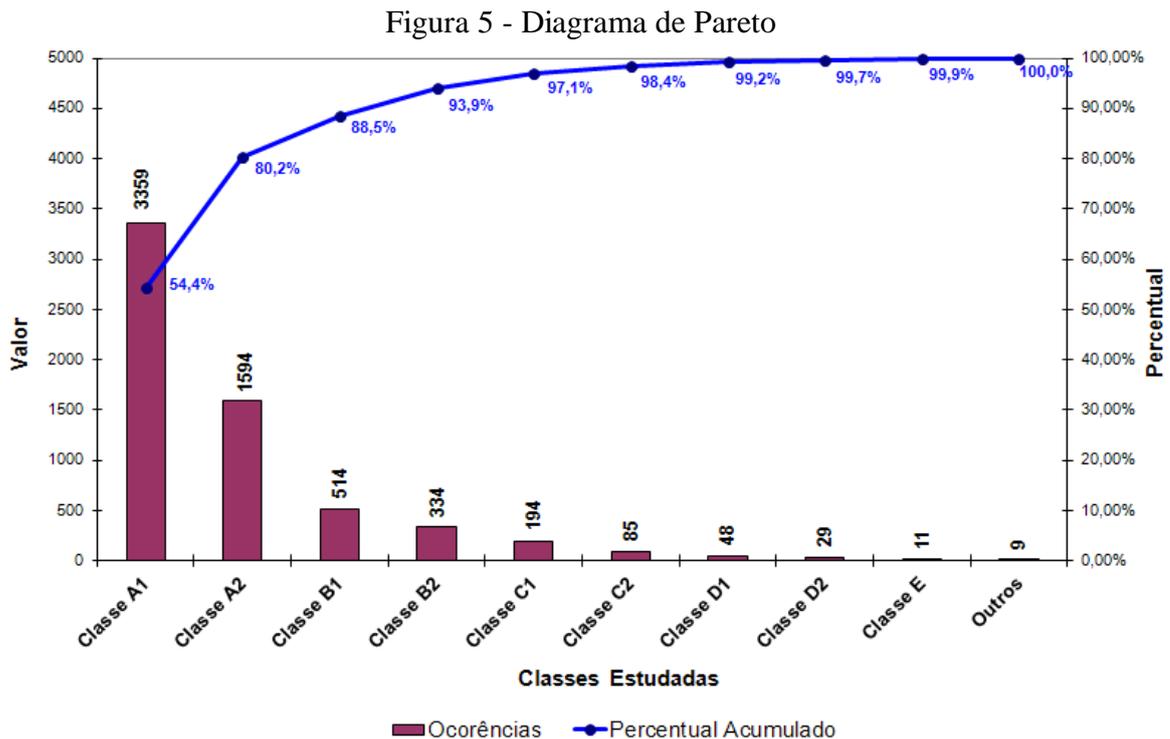
Gráfico ou Diagrama de Pareto é uma ferramenta da qualidade, um recurso gráfico utilizado para estabelecer uma ordenação nas causas de perdas que devem ser sanadas, é originário dos estudos de um economista italiano do século XIX chamado Vilfredo Pareto que estudou os princípios de distribuição de renda no país. Ele verificou que 20% da população detinham 80% da riqueza, e que os outros 80% da população detinham 20% da riqueza.

Trata-se de um gráfico de barras verticais representado na Figura 5 que, de forma geral, apresenta:

- Na horizontal, as diversas classes de problemas ou de causas que desejamos comparar;
- Na vertical, colunas com altura definida pela frequência de ocorrência de cada classe de problema ou causa, as colunas são dispostas em ordem decrescente.

- Uma curva representativa da porcentagem acumulada das ocorrências, com seus valores indicados num eixo vertical, posicionado à direita das colunas.

A análise da curva da porcentagem acumulada pode ser útil para a definição de quantos tipos de defeitos devem ser atacados, para que seja possível atingir certo objetivo de resultado (ROTONDARO, 2008).



Fonte: Rotondaro, (2008).

2.3.4 Coeficiente de Correlação

A verificação da existência e do grau de relação entre variáveis quantitativas é objeto do estudo da correlação. A investigação da relação de duas variáveis usualmente começa com uma tentativa para descobrir a forma aproximada dessa relação, representando-se graficamente os dados como pontos no plano xy. Tal representação é denominada como gráfico de dispersão e por meio dele é possível visualizar se existe alguma relação pronunciada e, em caso positivo, se a relação pode ser tratada como aproximadamente linear.

Segundo Triola (1999), o coeficiente de correlação é definido como uma medida do grau de relacionamento entre as variáveis estudadas, definido pela fórmula:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}}$$

O coeficiente de correlação (r) mede a força da associação linear entre as duas variáveis avaliadas. No entanto, vale a pena ressaltar que esta somente é uma medida válida se as duas variáveis estão relacionadas linearmente, ou seja, se a relação visualizada no gráfico de dispersão deve lembrar o desenho de uma reta.

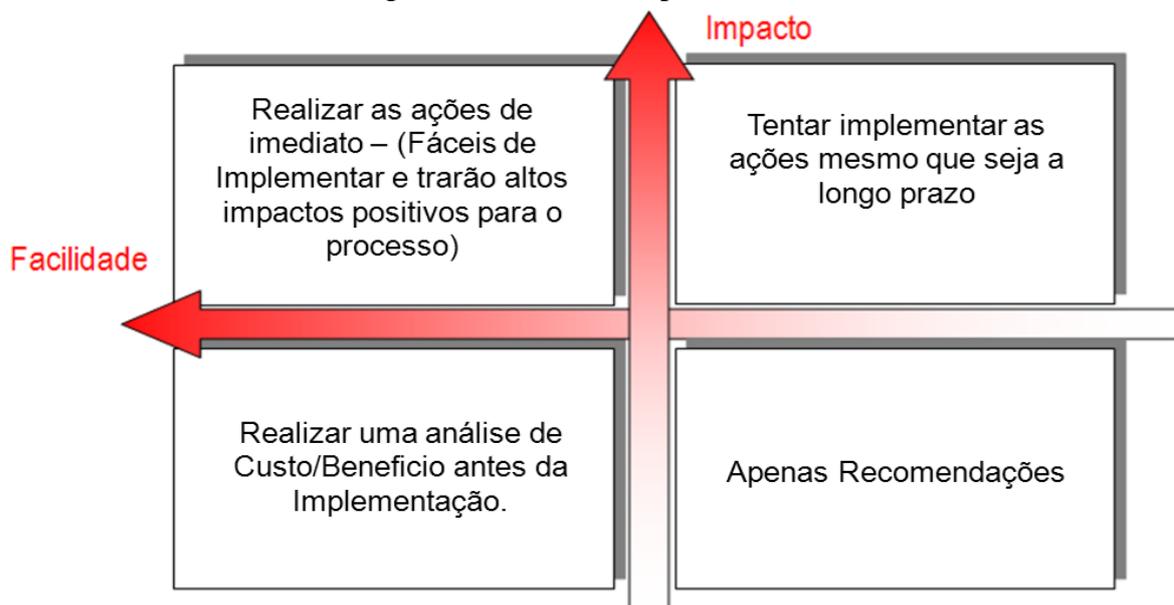
Como propriedade, o r deve satisfazer à seguinte condição: $-1 \leq r \leq 1$ onde os valores de r só serão iguais a 1 se os pontos estiverem totalmente sobre uma linha reta.

Sua interpretação dependerá do valor numérico e do sinal, podendo ser classificada como: correlação linear positiva ($0 < r < 1$), correlação linear perfeita positiva ($r = 1$), correlação negativa ($-1 < r < 0$), correlação perfeita negativa ($r = -1$), correlação nula ($r = 0$). Quando duas variáveis forem independentes, o coeficiente de correlação será nulo (TRIOLA, 1999).

2.3.5 Matriz de Impacto/Facilidade

A matriz de impacto/facilidade é utilizada para tomada de decisão, utiliza quatro quadrantes divididos em partes iguais que estão correlacionados com o nível de impacto que trará ao processo caso a ação seja implementada, permite fácil visualização porque uma seta colorida indica o nível de intensidade do impacto no eixo vertical passando pelo centro dos quadrantes, a matriz também relaciona o grau de facilidade para implantação das ideias sugeridas através de outra seta colorida no sentido horizontal. Desta forma será formado 4 quadrantes que permitem classificar as ações conforme Figura 6.

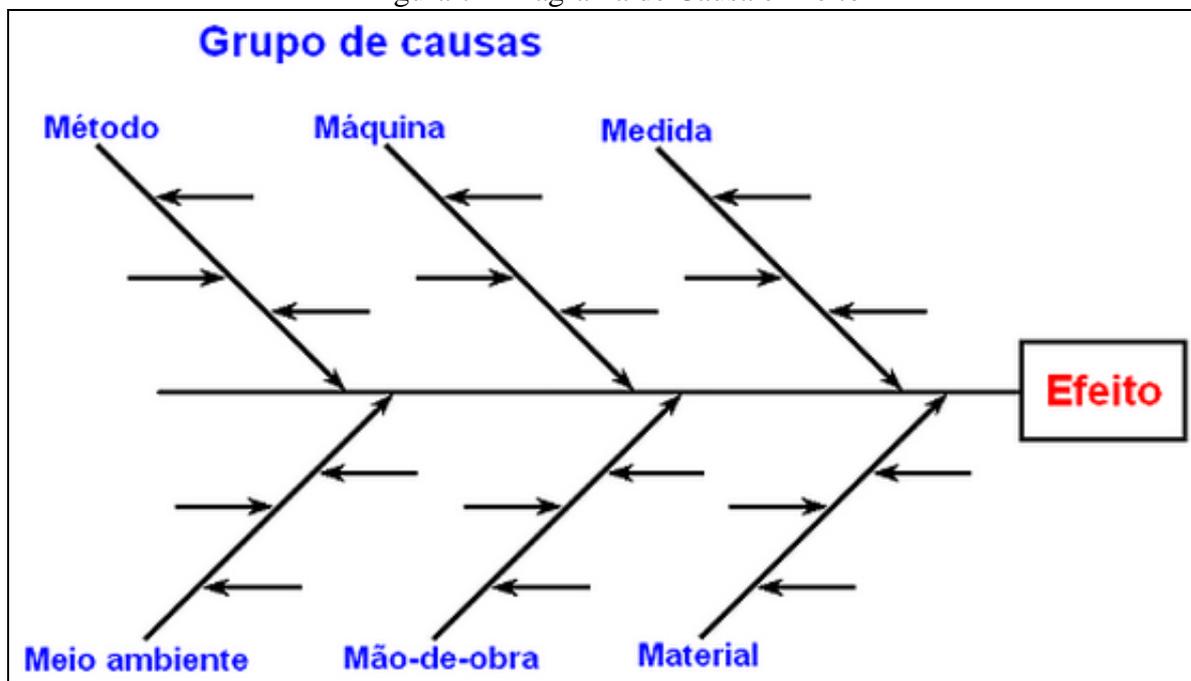
Figura 6 - Matriz de Impacto/Facilidade



2.3.6 Diagrama de Causa e Efeito

O diagrama de causa e efeito também é conhecido como o Diagrama de *Ishikawa* ou diagrama de espinha de peixe, é utilizado para apresentar a relação existente entre determinado resultado de um processo (efeito) e os diversos fatores (causas) que podem influenciar nesse resultado (ROTONDARO, 2008). Para cada efeito existem seguramente, inúmeras categorias de causas. As causas principais podem ser agrupadas sob seis categorias conhecidas como os “6M”. (Figura 7).

Figura 7 - Diagrama de Causa e Efeito



Fonte: Adaptado de Rotondaro, (2008).

2.3.7 Gráficos de Controle

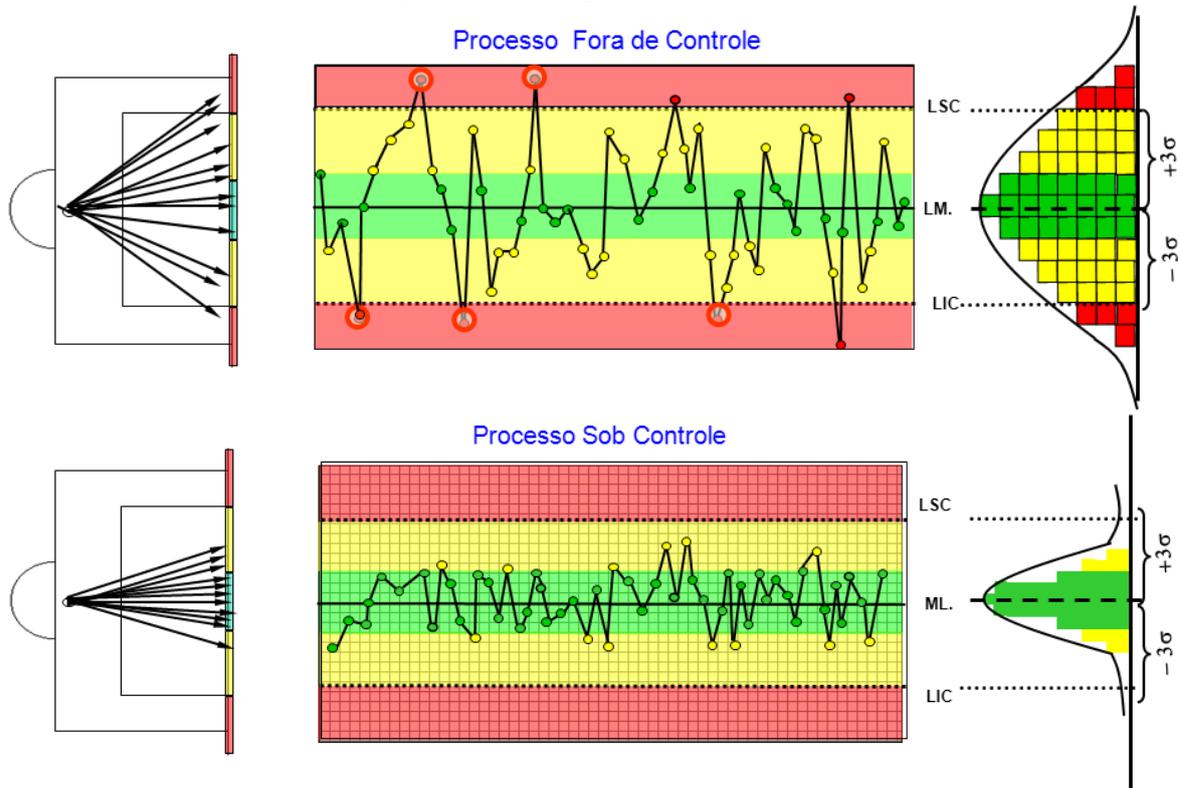
Com a finalidade de visualizar a variabilidade a que um processo pode estar sujeito e o comportamento que ele apresenta, os gráficos de controle são largamente utilizados. São também conhecidos como gráficos de controle de Shewhart, já que foram inicialmente propostos pelo Dr. Walter S. Shewhart. Trata-se de uma representação gráfica da qualidade que foi mensurada a partir de uma amostra, relacionada com o tempo ou com o número da amostra (MONTGOMERY, 2004).

Segundo o autor, um gráfico de controle deve conter:

- Uma linha média (LM);

- Limite inferior de controle (LIC – abaixo da LM) e Limite superior de controle (LSC – acima da LM);
- Valores da variável a ser analisada plotados no gráfico.

Figura 8 - Exemplos de Gráfico de Controle



Fonte: Adaptado de Montgomery, (2004).

A Figura 8 mostra um exemplo de gráfico de controle. As linhas referentes aos limites superior e inferior de controle irão delimitar uma área que compreende valores de um processo ainda sob controle. Qualquer ponto fora desta região indica que o processo está fora de controle, ou seja, demanda de estudos para verificar as causas presentes e ações corretivas deverá ser tomada.

Segundo Montgomery (2004), ainda que todos os pontos fiquem na região de controle, ou seja, entre o limite superior e o limite inferior de controle, caso se observe uma situação sistemática, onde os pontos apresentem alguma configuração especial que exclua a aleatoriedade dos dados, o processo pode estar fora de controle, uma vez que processos sob controle são caracterizados pela aleatoriedade. Segundo o autor alguns testes são úteis para verificar se o processo está estatisticamente controlado:

- Teste 1: verifica se o ponto está localizado acima do LSC ou abaixo do LIC;
- Teste 2: analisa a presença de nove pontos consecutivos localizados acima ou abaixo da LM;

- Teste 3: testa se existem seis ou mais pontos consecutivos crescentes ou decrescentes;
- Teste 4: verifica a existência de quatorze pontos alternados em uma linha;
- Teste 5: dois de três pontos localizados no mesmo lado a dois desvios-padrão acima ou abaixo da linha central;
- Teste 6: testa se existem quatro de cinco pontos localizados no mesmo lado a um desvio-padrão acima ou abaixo da linha central;
- Teste 7: quinze pontos consecutivos localizados, em qualquer lateral, a menos de um desvio-padrão da linha central;
- Teste 8: verifica se existem oito pontos consecutivos acima ou abaixo, em qualquer lateral, a mais de um desvio-padrão da linha central.

Segundo Moreira et al. (2004), para amostras de tamanho um ($n=1$), são construídos gráficos X-AM (Variável X e sua Amplitude Móvel), dois gráficos para medidas individuais, que devem ser analisados juntos e os dados devem possuir uma distribuição normal. Caso não sigam essa distribuição, deve-se determinar os limites de controle dos gráficos X e AM com base na verdadeira distribuição dos dados ou transformar a variável original em uma nova variável que seja aproximadamente normal e então reconstruir os gráficos com base nos novos valores. Os gráficos X-AM são construídos quando toda unidade produzida é avaliada ou quando a taxa de produção é baixa, não permitindo $n>1$ para que sejam realizadas as análises. Para a construção desses gráficos utiliza-se:

$$\begin{aligned} \text{Gráfico } \bar{X} : \quad LSC &= \bar{x} + 3AM / d^2 \\ LM &= \bar{x} \\ LIC &= \bar{x} - 3AM / d^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gráfico } AM : \quad LSC &= D_4 AM \\ LM &= AM \\ LIC &= D_3 AM \end{aligned}$$

onde D_3 , D_4 e d^2 são constantes tabeladas em função do tamanho n das amostras, \bar{x} é a média da amostra e AM é a amplitude móvel.

No gráfico da média (\bar{x}) são plotadas as médias das amostras, no intuito de controlar os valores médios das características estudadas, monitorando, portanto, o nível médio do processo a partir da variabilidade das amostras.

O gráfico da amplitude (AM) revela justamente a variabilidade dentro de uma mesma amostra, de modo que as amostras devem ser selecionadas permitindo que a variabilidade dentro da amostra meça apenas causas aleatórias ou casuais. Segundo Werkema (2004), os gráficos \bar{X} e

AM devem ser utilizados em conjunto, a fim de garantir acompanhamento mais eficiente do processo.

2.3.8 Índices de Capacidade do Processo

Segundo Slack (2002), “A capacidade do processo é a medida da aceitabilidade da variação do processo”. Werkema (2004) considera que os índices de capacidade informam se o processo é ou não capaz de fabricar produtos que atendam às especificações dos clientes, tanto interno, quanto externos.

Torminato (2004) afirma que a análise de capacidade é parte importante do Controle Estatístico do Processo, pois permite determinar a habilidade do processo em satisfazer as especificações e os limites de tolerância do processo, além de diagnosticar o estado de controle dos processos de produção, verificando se são ou não capazes de satisfazer as solicitações dos clientes.

Os índices de capacidade são valores adimensionais, que possibilitam qualificar o desempenho do processo. A utilização dos mesmos está vinculada à existência do controle estatísticos do processo e à normalidade da distribuição da variável analisada. Os índices de capacidade do processo comumente utilizados são (MONTGOMERY, 2004; TORMINATO, 2004):

- **Índice de capacidade (Cp):** Mede a capacidade potencial do processo, ou seja, sua capacidade de atender as especificações se o mesmo estiver ajustado. É definido como o intervalo de tolerância dividido pela amplitude do processo, ou seja, 6 vezes o desvio padrão estimado, considerando a ausência de causas especiais:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

onde *LSE* e *LIE* representam respectivamente o limite superior e inferior de especificação e σ é o desvio padrão do processo.

O índice *Cp* não avalia a centralização do processo, isto é, a relação entre a média estimada do processo (*X*) com os limites de especificação (MONTGOMERY, 2004). Assim o *Cp* não representa a porcentagem fora de especificação, mas simplesmente um índice de capacidade nominal do processo. Numericamente, se *Cp* for igual ou superior a 2,0, o processo é considerado capaz, indicando que a faixa de especificação é duas vezes mais ampla que sua dispersão intrínseca. Se *Cp* for igual a 1,0 o processo é considerado marginalmente capaz, dado que a faixa de especificação é a mesma que sua faixa de dispersão. Por outro

lado, se $C_p < 1,0$ o processo não pode ser considerado capaz, dado que a faixa de especificação é menor que sua faixa de dispersão natural. Segundo Montgomery (2004), valores entre 1 e 2 são considerados aceitáveis. Num processo já existente, o valor mínimo recomendado é de 1,33 e para processos novos, o valor sugerido é de 1,5.

- **Índice de capacidade (Cpk):** mede a capacidade efetiva do processo. Considera simultaneamente se o processo possui uma dada dispersão e se a média atende as especificações levando em conta a centralização do processo e é definido como o mínimo entre o limite superior e o inferior de capacidade. O índice é definido por:

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{LIE - \mu}{3\sigma}\right)$$

Onde m representa a média do processo e os demais elementos são apresentados como na Equação 1.

O índice Cpk mede quantos desvios padrões estão situados no intervalo entre a média do processo e o limite especificado mais próximo. Quanto maior o Cpk , menor a dispersão do processo ou menor o afastamento da média do processo em relação ao alvo.

Como base para interpretação dos resultados toma-se como base o Quadro 1, que mostra a classificação do processo quanto à capacidade que ele possui (VIEIRA, 1999).

Quadro 1 - Interpretação do Índice de Cpk

Cpk	Interpretação	Ações Pertinentes	Relação do valor nominal e a linha central do processo
$Cpk \geq 2.0$	PROCESSO EXCELENTE Altamente confiável	Os operadores têm perfeito controle do processo	Se $C_p = C_{pk} \rightarrow$ Processo Centrado
$1.33 \leq Cpk \leq 2.0$	PROCESSO CAPAZ Relativamente confiável	Os operadores têm que monitorar para evitar deterioração	Se $C_{pk} \neq C_p \rightarrow$ Processo está fora de alvo
$1.00 \leq Cpk \leq 1.3$	PROCESSO RELATIVAMENTE INCAPAZ Pouco confiável	Exige dos operadores controle contínuo	$C_{pk} < C_p \rightarrow$ Processo está fora do alvo, mas está dentro dos limites de especificação
$0 < Cpk < 1$	PROCESSO INCAPAZ Podemos ter produção defeituosa	Exige dos operadores controle 100% da produção	$C_{pk} < C_p \rightarrow$ A linha central do processo está dentro ou coincidindo com um dos limites de especificação (podemos ter 50% da produção fora dos limites de especificação)
$Cpk < 0$	PROCESSO TOTALMENTE INCAPAZ Não tem condições de manter as especificações		$C_{pk} < C_p \rightarrow$ A linha central do processo está fora dos Limites da Especificação Se $C_{pk} < -1 \rightarrow$ Toda a produção está fora dos limites de especificação

Fonte: Adaptado de Vieira, (1999).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Para a elaboração desse trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- ✓ 01 Multímetro Digital Minipa MA149
- ✓ Jogo de Ferramentas Mista de 06 a 28mm
- ✓ Jogo de Ferramentas Fixa de 06 a 28mm
- ✓ Chave de fenda ¼' x 6'
- ✓ Chave Phillips ¼' x 6'
- ✓ Aparelho para diagnóstico de Injeção Eletrônica “Kaptor Evolution” da Alfatest
- ✓ Câmera Fotográfica digital Samsung 14,2 MP
- ✓ Calculadora científica
- ✓ Pen Drive 16GB
- ✓ Impressora multifuncional HP® Photosmart C3180 all-in-one
- ✓ 01 Monitor Positivo LCD 17'
- ✓ 01 Notebook Positivo Aureum 4400
- ✓ 01 Carro de apoio tipo Bandeja
- ✓ 01 Elevador para veículos com capacidade de até 4000kg
- ✓ 01 Micro computador Desktop, com a seguinte configuração – (Intel® Pentium® Dual Core E2160 1.8GHz), (HD 500 GB) e (4 GB de memória RAM).

Além do material físico descrito, também será necessário à utilização de alguns softwares específicos para coleta de dados e aplicação do controle estatístico:

- ✓ Sistema Operacional: Windows XP versão 5.1, SP3

- ✓ MS Office 2010
- ✓ Infinity QS™ SPC Extended (Programa que permite coleta e análise de dados com cartas de controle durante processo produtivo)
- ✓ Diag PC Alfatest (Programa de interface para o Scanner com diagnóstico e escala Gráfica)

3.2 Método

O trabalho consistiu em aplicar a metodologia Seis Sigma estruturada a uma ferramenta da qualidade DMAIC. Foi iniciado pelo levantamento de dados históricos sobre problemas de qualidade que ocorriam com maior frequência com uma determinada família de produto e que gerou insatisfação de clientes, além de afetar diretamente o custo e desempenho da empresa.

Em seguida foi aplicada a ferramenta DMAIC, em cada etapa. Na fase *Define* (Definir) foi definido a equipe que participou do projeto, qual foi a abrangência do mesmo, quais os requisitos do processo que estavam envolvidos no estudo, como foi conduzido a coleta de dados e análise do histórico, quais os impactos que estes problemas já causaram e ainda podem continuar causando para a empresa, entre outros. Em seguida foi aplicado a etapa *Measure* (Medir), realizando medições no processo atual a fim de verificar a capacidade do mesmo em atender a todos os requisitos de qualidade (CTQ's) e expectativas dos clientes, assim como foi feito um levantamento completo dos dados que a empresa possui com base de até três anos antes da data inicial deste projeto.

Na próxima etapa *Analyse* (Analisar), todos os dados foram minuciosamente analisados utilizando metodologia estatística e várias ferramentas da qualidade, priorizando inclusive os tipos de defeito, custos gerados, correlação entre tipos de defeitos, entre outros. A quarta etapa da ferramenta foi o *Improve* (Implementar ações de melhoria), ou seja, tomaram-se ações corretivas e até mesmo preventivas a fim de garantir que os tipos de defeitos que foram tratados tivessem sua incidência reduzida ou até mesmo eliminada e, para comprovar, foi realizado nova coleta de dados reiniciando as outras etapas anteriores do DMAIC até que se obteve os resultados esperados. Por fim, a última etapa da ferramenta foi o *Control* (Controle ou Controlar), pois uma vez que ações foram consideradas efetivas, as mesmas foram padronizadas para que todas as pessoas envolvidas pudessem realizar as atividades da mesma forma a fim de obter ganhos de qualidade, redução de ciclo e garantir maior satisfação dos clientes. Também foi realizado treinamentos para os envolvidos nas atividades, uma vez

que o projeto proposto, depois de aplicado, conseguiu o atingimento dos objetivos, o mesmo foi estendido para outros setores da empresa a fim de perpetuar a melhoria contínua nos demais processos.

3.3 Estudo de Caso

O estudo de caso deste trabalho foi elaborado de acordo com a estruturação da metodologia DMAIC na melhoria dos processos, objetivando um elevado nível de qualidade dos produtos buscando o atingimento do nível Seis Sigma para pelo menos um tipo específico de defeito. Foi aplicado na indústria automobilística onde a empresa não deseja ser identificada, somente os resultados serão apresentados de forma qualitativa e quantitativa, porém, sem expressar valores monetários, apenas percentuais. O fato é que existem algumas situações onde um determinado tipo de problema (defeitos) só se manifesta em um determinado modelo ou família específica de automóveis, alguns ainda no período de garantia, outros em um espaço de tempo muito pequeno após o vencimento da garantia do fabricante, levando a insatisfação por parte dos clientes em ter adquirido um produto cujo defeito é devido a uma falha de projeto ou crônica do próprio produto e, ainda, estar sujeito a riscos de segurança para os usuários, dependendo do que for afetado com a falha. Também existem os custos com manutenção corretiva no período de pós garantia onde é necessário a substituição de componentes relativamente de alto custo e todo ônus fica por conta do cliente ao invés do fabricante, por estes motivos alguns casos só são finalizados na justiça. O estudo foi objetivado na identificação das causas raízes dos problemas que mais se manifestaram e que geraram maiores impactos para os clientes e para a empresa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 *Define* (Definição)

Nesta fase foi definido um grupo de trabalho composto por 17 pessoas de várias áreas da empresa fosse formado para iniciar a condução e aplicação da metodologia Seis Sigma /DMAIC na empresa com objetivo de realizar um estudo dos principais problemas ocorridos no período dos últimos três anos, levando em consideração os problemas de fabricação interna, problemas ocorridos com o produto em período de garantia e também as reclamações de clientes no canal direto SAC (Serviço de Atendimento ao Consumidor) independente do tempo de garantia. O grupo realizou este levantamento em um prazo de 10 dias úteis dedicando-se tempo integral da jornada de trabalho, ou seja, 8 horas por dia durante duas semanas onde todos os dados possíveis foram levantados e agrupados considerando os registros na base de dados do sistema recebidos de qualquer local dentro do território nacional considerando não somente os dados da montadora, mas as concessionárias, revendedores e centros de serviços autorizados, bem como as reclamações dos clientes registradas na base do SAC. Também foi definido que do total de problemas registrados, o projeto Seis Sigma inicialmente iria aplicar o DMAIC para os casos que se enquadrassem em pelo menos uma das três características fundamentais como:

- Problemas graves com o produto que afetam ou poderiam afetar a segurança do cliente durante uso deste produto;
- Reclamações do mesmo tipo de problema por vários clientes diferentes (problemas crônicos) derivados de desenvolvimento, projeto ou fabricação;

- Problemas que resultaram em um elevado custo para ser reparado e que interagem com outros sistemas afetando uma grande quantidade de componentes.

Para estas condições ainda seria necessário checar a veracidade dos fatos registrados nos boletins de serviço ou registro de não conformidade, ou seja, não poderia ser levado em consideração os casos onde o produto foi utilizado de forma inadequada pelo usuário, não foi feito revisões periódicas conforme especificado pelo fabricante ou qualquer outro fator que pudesse ter provocado defeitos de forma intencional fora das condições normais de uso.

Também foi definido que antes do início do projeto de aplicação do DMAIC, um funcionário da área de qualidade, credenciado como especialista *Green Belt*, seria o responsável por conduzir este projeto e futuramente disseminar para outros funcionários de mesma categoria os resultados, para que a metodologia fosse aplicada para todos os problemas existentes sempre priorizando aqueles de maior importância. Foi contratado pela alta direção um especialista (*Black Belt*) de órgão externo para acompanhar este projeto de implantação Seis Sigma.

A meta definida pela alta direção da empresa, foi que em um prazo máximo de seis meses após implantação das melhorias ou modificação de um determinado sistema ou qualquer componente, o mesmo só poderia apresentar defeitos da ordem menor ou igual a 50 DPMO, ou seja, apenas 50 defeitos a cada 1 milhão de produtos fabricados, seja eles no processo de fabricação ou já entregues aos clientes, o que é um número relativamente desafiador se comparado com um caso recente de garantia que envolveu a montadora, onde este valor foi de 16.580 DPMO considerando relatos de clientes, rejeição e retrabalho interno para um mesmo tipo específico de falha.

4.2 Measure (Medir)

Na fase de medir, a equipe utilizou os dados já conhecidos de fonte confiável apenas estratificando os problemas da melhor forma possível para que pudesse utilizar estes dados na análise. Também foi verificado junto aos processos de fabricação e montagem se a forma com que estava sendo realizado o processo de medição dos CTQ's era o mais adequado aos mesmos, ou se seria necessário realizar alterações (não necessita de alterações, processos de medição e meios de controles existentes atendem perfeitamente a necessidade).

Neste estudo de caso foi considerado a produção total dos últimos três anos de automóveis no Brasil que corresponde a um total de 1.265.000 veículos desta montadora,

sendo uma produção média de 1.155 veículos por dia considerando todos os modelos. Dividindo o total de defeitos por sistemas, conforme a Figura 9, foi possível observar que o sistema que obteve uma maior quantidade de defeitos foi o Sistema elétrico correspondendo a um percentual de 26,4% do total de defeitos registrados (50.845 DPMO).

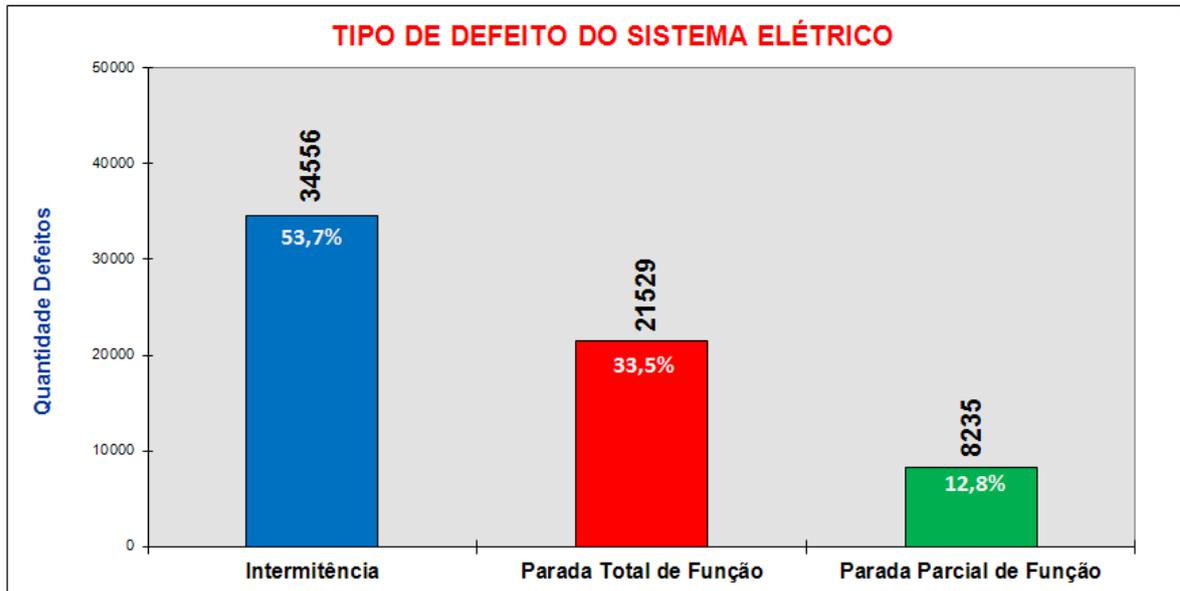
Figura 9 – Diagrama de Pareto da Quantidade de Defeitos por Sistemas



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

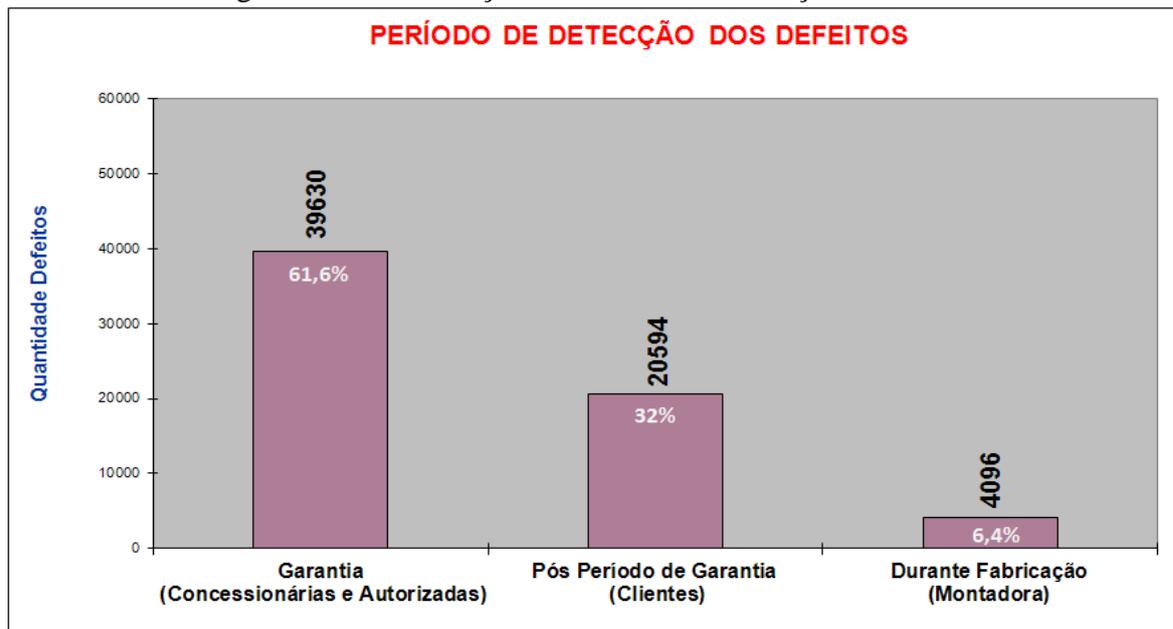
Através do gráfico foi possível observar qual sistema era o que mais havia apresentado defeitos no período estudado, o sistema elétrico ficou com 9,4% acima dos problemas de suspensão, logo seria o escolhido para aplicação do projeto. Ainda seria necessário observar que tipos de defeitos apresentados pelos sistemas eletrônicos extratificando-os quanto a sua funcionalidade, conforme mostrado na Figura 10, a fim de entender melhor sobre suas características, outro fator a ser questionado seria em que momento os mesmos se manifestaram, conforme Figura 11.

Figura 10 – Distribuição do Tipo de Defeito do Sistema Elétrico



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

Figura 11 – Distribuição do Período de Detecção dos Defeitos



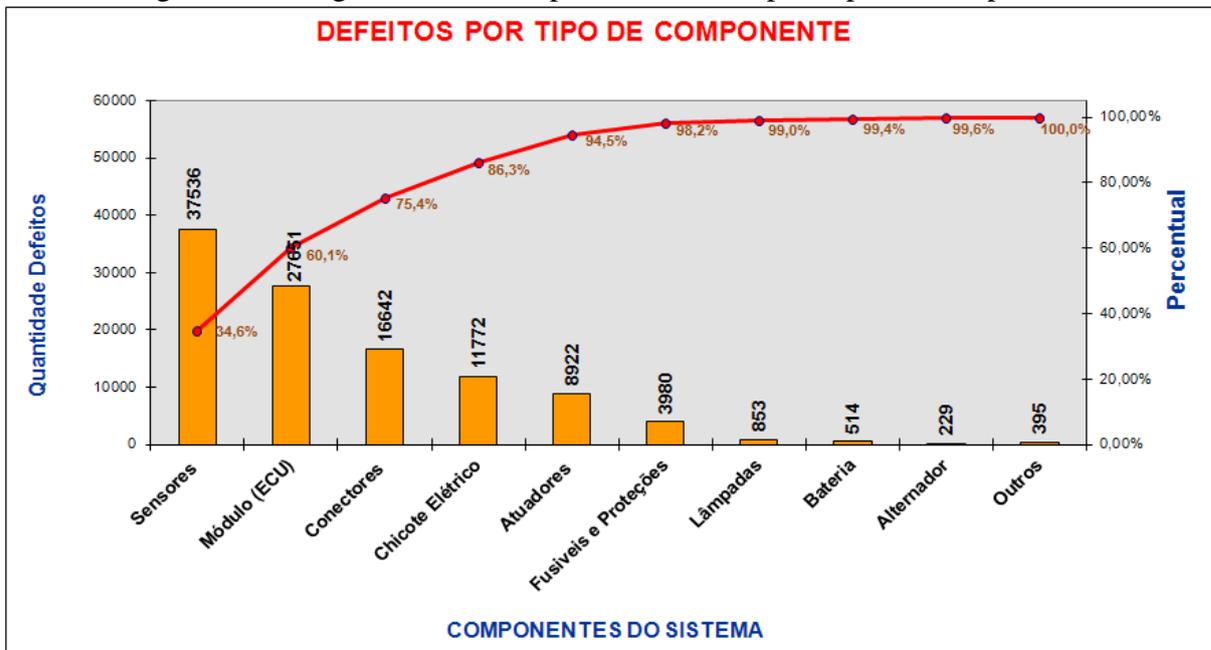
Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

A maioria dos defeitos do sistema elétrico se manifestaram de maneira intermitente, ou seja, em um determinado momento deixavam de exercer suas funções e depois voltavam a funcionar normalmente, dificultando o diagnóstico caso este fosse realizado no momento em que a segunda opção estivesse predominante. De acordo com o gráfico da Figura 10, mais da metade dos defeitos, (53,7%), apresentavam-se na condição de maneira intermitente, já os componentes que apresentavam falhas com parada total de função, eram facilmente identificados, bastava tomar as ações corretivas para eliminar o defeito.

Outro fator importante que os dados coletados puderam mostrar através do gráfico representado na Figura 11, foi que a grande maioria dos defeitos (61,6%), se manifestavam ainda no período de garantia do produto, ou seja com pouco tempo de uso.

Foi possível detectar também, por meio do serviço de reparo, quais eram os tipos de componentes que apresentaram os maiores índices de defeito, considerando que para alguns casos não houve a necessidade de substituição de peças, apenas reparos, porém em outros, ocorreu de vários componentes terem sido afetados e danificados por uma só pane. A Figura 12 mostra quais componentes apresentaram maior índice de defeitos por meio do gráfico de Pareto onde descobriu-se que os dois principais componentes (Sensores e Módulos ECU), eram os mais afetados chegando a 60,1% de todos os componentes do sistema elétrico.

Figura 12 – Diagrama de Pareto para os Defeitos por Tipo de Componente



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

Conforme a análise dos dados realizada pela equipe do projeto, quatro técnicos que faziam parte da equipe foram verificar os problemas junto as redes autorizadas para que pudessem realizar alguns testes específicos, em pelo menos um automóvel onde o defeito estivesse presente, com a finalidade de encontrar a causa de origem dos problemas utilizando equipamentos específicos da montadora. Foram visitadas algumas concessionárias e feito uma medição *in loco* (no local) de alguns veículos que apresentaram problemas para que permitisse uma análise mais detalhada do tipo de erro ou falha que originou o defeito. A medição foi realizada em testes estáticos (com o veículo parado) e testes dinâmicos (com o veículo em movimento) sobre as mais variadas condições.

4.3 Analyse (Analisar)

Analisando os dados do histórico, juntamente com os que foram coletados nas duas semanas decorridas do início do projeto Seis Sigma (DMAIC) em um diagrama de causa/efeito, a equipe conseguiu identificar alguns fatores que contribuíram significativamente para que certos defeitos tivessem ocorrido e proporcionado tamanho impacto no produto. Neste trabalho será apresentado apenas como foi conduzida a análise dos sistemas elétricos utilizando o diagrama de Ishikawa para os dois componentes que mais apresentaram defeitos:

- Sensores dos sistemas- Alguns modelos de sensores apresentados na Figura 13 e o diagrama de causa-efeito representado na Figura 14.

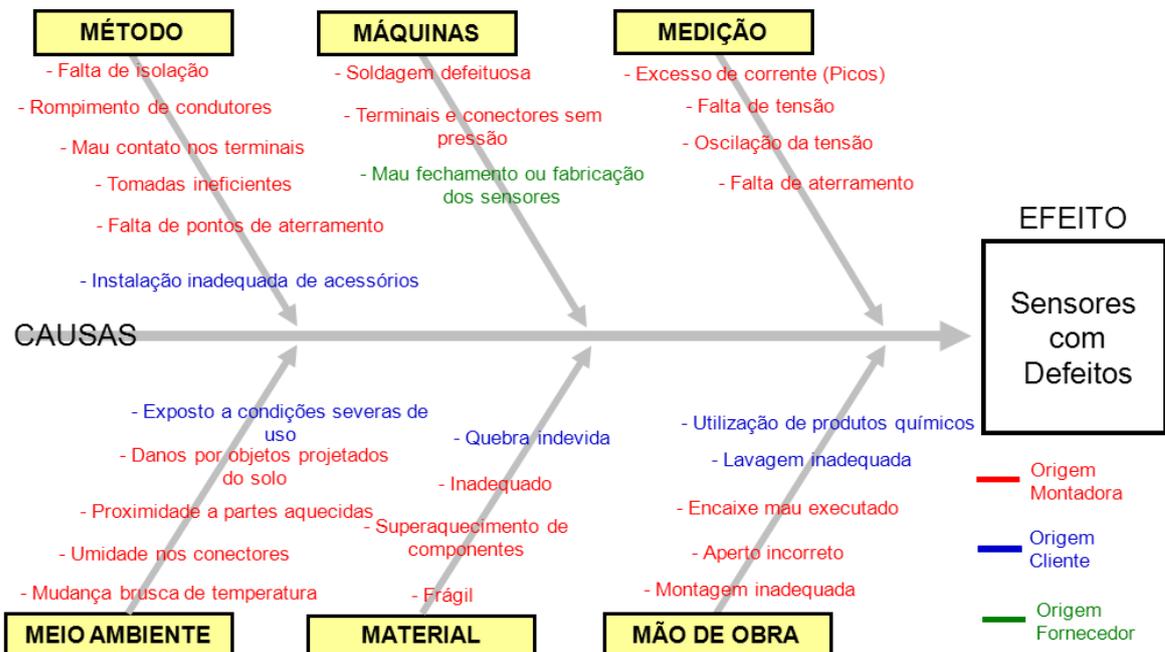
Figura 13 - Modelos de Sensores dos Veículos



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

Vários modelos de sensores aplicados nos mais diferentes sistemas como Injeção Eletrônica, Climatização, Sistema Anti-bloqueio do freio (ABS), Air Bag, Gerenciamento de Carroceria, entre outros, que exercem a função específica de retirar os sinais de leitura e comportamento dos sistemas e informar os módulos de comando (ECU) por meio dos mais variados protocolos de funcionamento e condução dos sinais elétricos e eletrônicos. A maioria dos sensores trabalham com uma tensão de 0 a 5 volts enviados pelo módulo fechando o circuito com a conexão massa do veículo (Aterramento).

Figura 14 - Diagrama de Causa e Efeito dos Sensores



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

O diagrama mostra claramente as principais causas que contribuíram para a caracterização de defeito nos sensores, as causas descritas em texto na cor vermelha eram provenientes de origem do projeto ou da montadora, já os textos em azul foram de origem cliente, provavelmente por mau uso ou falta de seguir os procedimentos adequados de manutenção conforme manual do proprietário e por fim os textos em verde eram de origem dos problemas com o fornecedor dos sensores, empresas terceiras que através de contrato forneceram componentes para a montadora. O foco do projeto foi de identificar as causas dos problemas de origem montadora e fornecedor, verificar através dos boletins de serviços que tipo de reparo foi executado para solucionar os problemas e em seguida definir as melhores soluções para evitar novos problemas.

- Módulo de Controle Eletrônico (ECU – *Electronic Control Unit*) - Modelos conforme a Figura 15 e diagrama de causa-efeito representado na Figura 16.

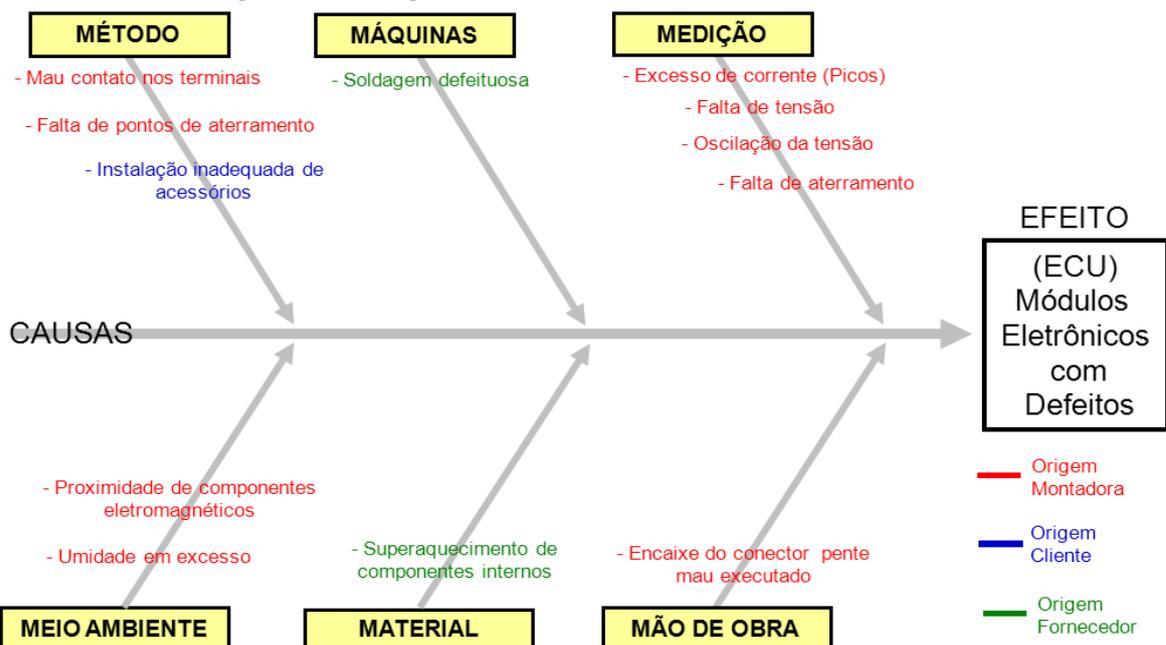
Figura 15 - Modelos de Módulos de Comando (ECU)



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

Os módulos ECU são os componentes responsáveis pelo processamento dos dados, atua como o cérebro dos sistemas, ou seja, recebem os sinais de leitura indicados pelos sensores e executam a atuação por meio de sinais elétricos e eletrônicos comandando os chamados atuadores dos sistemas que por sua vez realizam todo o funcionamento do veículo.

Figura 16 - Diagrama de Causa e Efeito dos Módulos (ECU)



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

O mesmo tipo de análise que foi realizada com os sensores, utilizando o diagrama de causa/efeito, também foi aplicada aos módulos de comando.

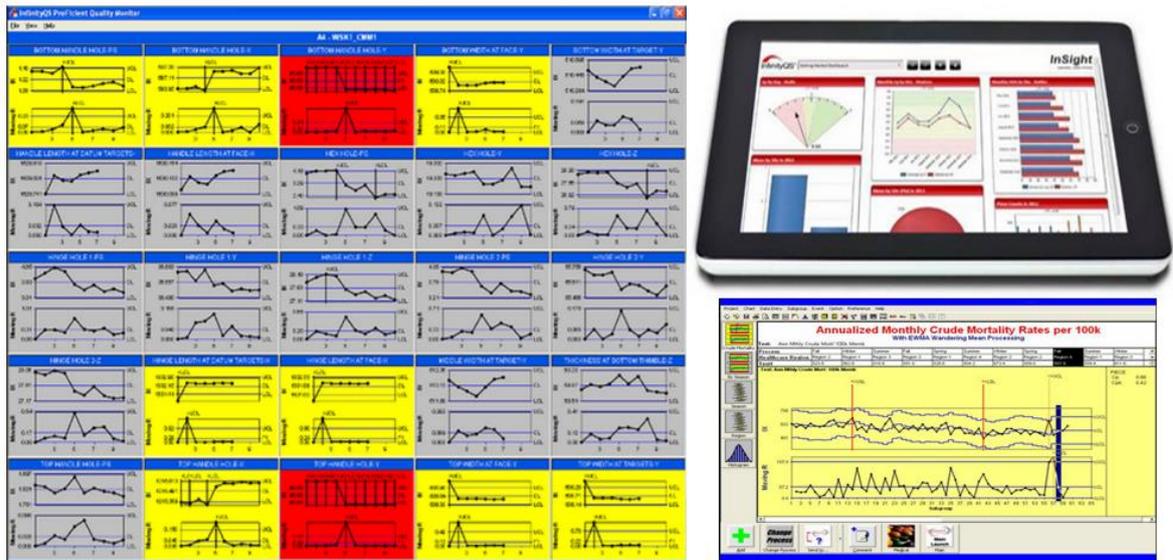
Após as prováveis causas em potencial terem sido levantadas por meio do diagrama de Ishikawa, para os sensores e módulos, o próximo passo foi identificar a causa raiz utilizando a ferramenta 5 porquês para as causas mais prováveis de defeitos. Essa técnica serve para detectar a principal causa de um defeito ou problema, onde perguntamos 5 vezes o motivo de seu acontecimento. No entanto, não é necessário que sejam feitas exatamente cinco perguntas, desde que se chegue a real causa do problema permitindo sua identificação de forma clara e objetiva.

Foi calculada uma correlação estatística entre as causas, pois, testes e relatórios registrados no histórico já mostravam que um determinado defeito acabava influenciando em outro, indicando a existência de uma forte correlação entre alguns deles.

O nível de correlação entre os tipos de componentes do sistema elétrico em virtude dos históricos de serviços, garantias e peças que foram substituídas para resolver os problemas dos veículos foi feito utilizando um software específico “*Infinity QS*”, (Figura 17), que permite cruzar as informações e gerar os resultados de forma precisa e assertiva.

O nível de correlação encontrado entre os componentes Sensores, Módulo ECU e Chicotes em relação aos tipos de defeitos que os veículos mais apresentaram e o tipo de reparo que sofreram para que o problema fosse resolvido, (reparos nos cabos de aterramento entre motor, carroceria e bateria), ficou em 73,6% de correlação, ou seja, praticamente de cada quatro defeitos do sistema elétrico, três estavam relacionados a um regime de funcionamento e operação dependente, ou seja, por trabalharem em conjunto uma única causa poderia afetar qualquer um dos componentes, normalmente os mais frágeis ou de maior desgaste.

Figura 17 - Software Infinity QS



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

Aplicando a técnica dos 5 porquês em busca da causa raiz dos problemas de falhas e defeitos nos Sensores e Módulos de Comando instalados na carroceria, motor ou demais partes do veículo temos:

- **Por que os sensores ou módulos apresentaram defeitos e tiveram de ser substituídos?**

R: Porque os mesmos operaram em condições impróprias diminuindo seu tempo de vida útil.

- **Por que sua vida útil foi reduzida?**

R: Porque testes com peças defeituosas foram minuciosamente realizados em laboratório, comprovando que os sensores ou módulos operaram em regime menor de tensão elétrica, consequentemente, foram submetidos a uma corrente elétrica maior que o permitido ocasionando um desgaste prematuro de seus materiais.

- **Por que operaram com tensão menor e corrente elétrica maior?**

R: Porque a maioria dos sensores ficam localizados no conjunto motopropulsor, dependem de um sinal que vem do módulo ECU da injeção eletrônica, fecham o circuito com o aterramento do motor retornando um sinal elétrico para a ECU, logo, o aterramento não foi eficiente a ponto de garantir o correto funcionamento dos sensores e módulos. Houve falta de tensão para os sensores realizarem seu trabalho e, consequentemente, o módulo também trabalhou neste regime, processando as informações de forma incorreta, já que trabalham em um circuito de malha fechada.

- **Por que houve problema com o aterramento?**

R: Porque nestes modelos de automóveis só existe um cabo de aterramento para garantir o potencial entre a bateria e a carroceria e outro cabo terra entre a carroceria e o conjunto motopropulsor, que sob algumas condições como oxidação, diâmetro do parafuso, tipo de material e seção da área de contato é insuficiente para garantir o perfeito contato elétrico e circulação da corrente entre os três sistemas, gerando os defeitos nos Sensores, Módulos ECU e outros componentes do sistema.

➤ **Por que existe esta deficiência com os condutores e sistema de aterramento?**

R: Porque o projeto não previu que este tipo de defeito poderia se manifestar após um curto período de tempo e uso, além do quê, foi priorizado o custo de material e fabricação dos condutores elétricos e de aterramento, outro fator é a quantidade insuficiente de pontos do aterramento existente entre os sistemas.

Foi observado que a mesma causa raiz ocorria com os sensores e módulos ECU, pois o fato da insuficiência de aterramento interfere em todo o circuito e componentes envolvidos. A ECU, considerada o componente “cérebro” de todo o sistema, recebe informações do tipo sinais elétricos, processa as informações e envia os comandos para os atuadores, estes farão com que o motor ou qualquer outro sistema atue conforme o software, obtendo a resposta de forma desejada.

Se a tensão dos sensores e do módulo estiver variando, as informações de entrada estarão incorretas, logo, o processamento baseado nestas informações também vão gerar ações para os atuadores de forma incorreta e os defeitos são perceptíveis pelo condutor do veículo. O fato de a tensão oscilar bruscamente faz com que os componentes se desgastem rapidamente ou venham a se tornar inoperantes.

O aterramento do módulo que normalmente é feito em pelo menos 04 pontos diferentes, pode sofrer avarias devido à diferença de potencial entre os próprios pontos de aterramento, influenciando no fluxo de corrente elétrica, podendo gerar picos de tensão com a vibração da carroceria e funcionamento do veículo. Os circuitos eletrônicos que foram projetados para trabalhar com uma tensão constante e corrente contínua da bateria, sofrem um bombardeio de variações por falta de um aterramento eficaz de todo o sistema elétrico.

Após a identificação da causa raiz “Aterramento Insuficiente e com variações” que nada mais é do que a deficiência na ligação entre o pólo negativo da bateria, carroceria do veículo e o conjunto motopropulsor por meio de um cabo condutor flexível, pois o mesmo tem a finalidade de igualar o potencial elétrico entre estes três locais, de maneira uniforme para que não haja variação de tensão, comprovou-se por meio de testes que esta finalidade não estava sendo alcançada.

Um modelo de veículo que acabara de chegar a uma concessionária de Campinas (interior do estado de SP) apresentava defeito intermitente na perda de aceleração, falhas no motor e constantes acendimentos da luz de anomalia do sistema de injeção eletrônica no painel de instrumentos, foi analisado por duas pessoas do grupo que estavam participando do projeto DMAIC, eles foram até a cidade acompanhar presencialmente o problema e realizar testes com o equipamento “Kaptor” (Figura 18), mais os seus acessórios, onde, foi realizado uma bateria de testes em todos os componentes de forma individual e em conjunto e não foi constatado anomalias.

Figura 18 - Conjunto de Equipamento Kaptor



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

O único defeito registrado na memória do módulo ECU do veículo testado foi “ERRO NOS PARÂMETROS AUTOADAPTATIVOS”, estes erros só aparecem na ECU quando algum sensor deixou de funcionar, ou seja, de receber tensão e responder ao módulo ECU enviando sinais de retorno para que o mesmo possa atuar, esta ausência é por certo período de tempo maior que 60 segundos, ou então, outra condição para a gravação da falha, seria uma queda nos níveis de tensão da bateria a ponto do módulo rejeitar os sinais de leitura dos sensores, entrando no modo de emergência “*Recovery*”.

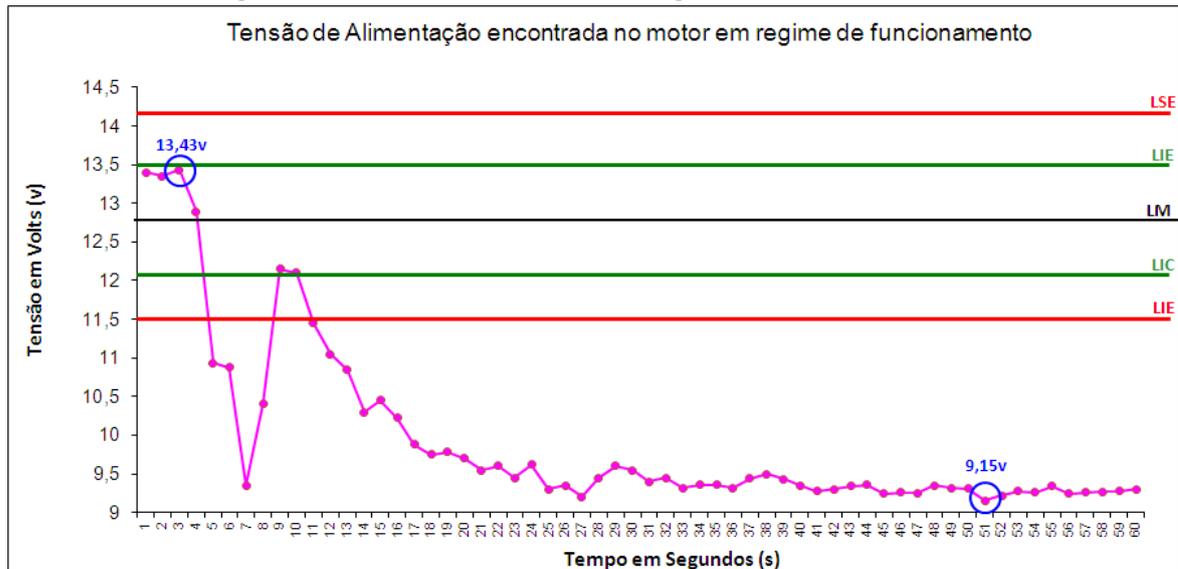
O “*Recovery*” é um estado em que a ECU está programada para utilizar um mapa interno de sua programação, para permitir o funcionamento do motor mesmo que algum sensor ou atuador deixe de funcionar, ela adota uma estratégia capaz de fazer os cálculos

necessários e comandar os atuadores adotando a estratégia de leitura dos demais sensores que estão funcionando corretamente, assumindo alguns valores intermediários de resposta no comando do motor, porém, enquanto o sistema estiver sobre este tipo de funcionamento “*Recovery*”, a luz de anomalia permanece acesa indicando ao condutor do veículo que o sistema está com algum problema. Um serviço especializado deve ser procurado imediatamente, é importante ressaltar que este procedimento só é permitido se o sensor ou até mesmo atuador que deixou de funcionar, não for vital para o sistema, caso contrário o funcionamento do veículo é interrompido instantaneamente, como exemplo, pode ser citado o sensor de rotações do motor ou o atuador Bobina de ignição que se deixar de enviar e receber sinais respectivamente, o motor para imediatamente.

O veículo foi analisado quanto à questão do aterramento do motor e carroceria, com testes e coleta dos valores exatos no tempo de 1 segundo, utilizando o equipamento multímetro Minipa MA149 para coletar os valores de tensão ocorridos no motor, (Figura 19), mais o scanner Kaptor Evolution para coletar dados diretamente do módulo ECU, indicando a tensão da bateria recebida pelo módulo, (Figura 20), obteve como resposta o primeiro gráfico muito diferente dos valores ideais que deveriam ocorrer no período de 60 segundos, a diferença chegou até a 4,28 Volts para a tensão no motor, já a tensão no módulo quase não teve variação, mas ficou próximo do limite máximo de controle, que é considerado ideal, pois, o módulo possui regulador de tensão interno capaz de estabilizar a tensão antes de chegar aos circuitos e processador, caso a tensão esteja um pouco acima do valor ideal.

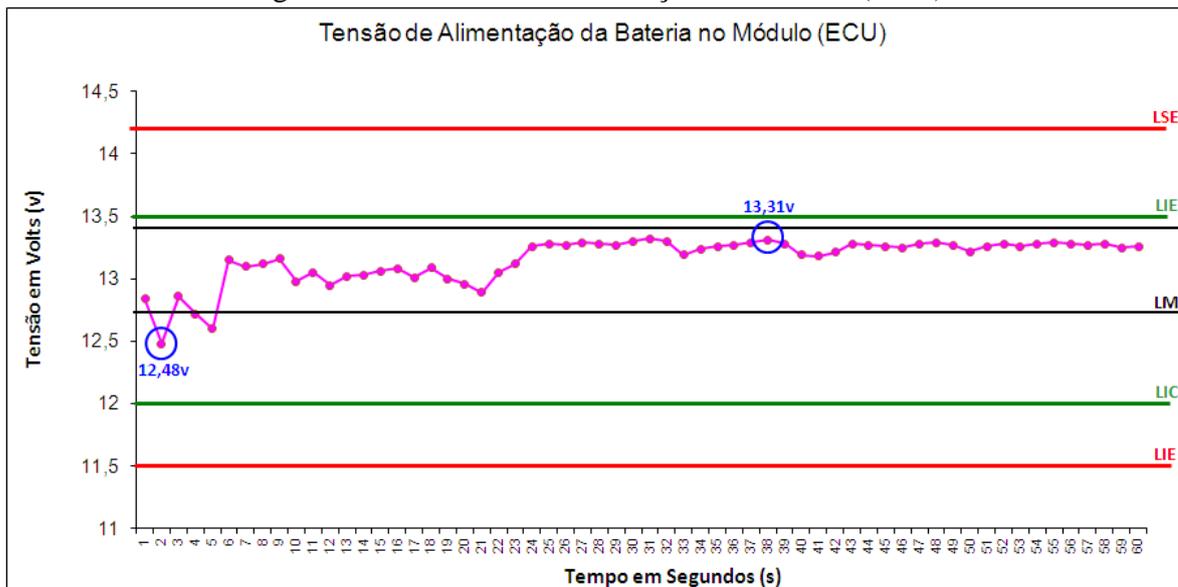
Se a tensão que chega ao módulo for abaixo do ideal o regulador perde sua função, ou seja, não consegue compensar esta falta.

Figura 19 - Tensão do Motor em Regime de Funcionamento



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

Figura 20 - Tensão de Alimentação no Módulo (ECU)



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

Como análise final, após testes e aplicação das ferramentas da qualidade, para o caso de maior índice de defeitos derivado de problemas no aterramento de todo o sistema (bateria, motor e carroceria) pôde ser concluído que este problema acabou afetando uma grande parcela de componentes. Se o aterramento de qualquer um dos sistemas for insuficiente, a tensão da bateria não é a mesma dos demais locais no veículo, gerando diferença de potencial entre eles, causando variação nos níveis de tensão e corrente dos circuitos eletroeletrônicos.

Todo o sistema se sujeita a falhas intermitentes, maior aquecimento e até mesmo a perda de função permanente devido a defeitos nas peças, ou quando não, exigindo um desgaste muito maior dos sensores, módulo ECU e atuadores do sistema, fazendo com que a

vida útil destas peças seja reduzida drasticamente, além de outros fatores qualitativos como, influência na dirigibilidade do veículo, aumento do consumo de combustível, perda de potência e maior poluição ao meio ambiente. Às vezes os clientes levavam um determinado período de tempo para perceber a manifestação das falhas, cerca de 84%, só descobriam que havia algo de errado quando a luz de anomalia começava a acender no painel de instrumentos, só então o cliente iria procurar uma rede autorizada para diagnosticar e resolver o problema.

Baseado na análise dos dados aplicou-se a metodologia de *Brainstorming* com o grupo do projeto Seis Sigma, algumas pessoas de áreas específicas da empresa, outras que fazem parte de cargos de liderança, foram convidados nesta participação de sugestão das melhores ideias para resolver os problemas referente a defeitos nos sistemas elétricos, especificamente com foco em melhorar o sistema de aterramento dos veículos, eliminação dos problemas que haviam sido estudados na fase de análise, as ideias foram anotadas e em seguida foram julgadas utilizando a matriz de Impacto/Facilidade, para definição de quais seriam as melhores ações a ser tomadas, priorizadas e até mesmo descartadas conforme Figura 21, que representa as ideias mais votadas e agrupadas de acordo com o grau de dificuldade de implantação e o impacto da mesma para o processo.

Figura 21 - Matriz de Impacto/Facilidade das Ideias



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

Após este passo, as ideias geradas e escolhidas pela equipe, serviram de base para dar continuidade ao projeto Seis Sigma. A partir do *brainstorming* foi definido um plano de ação

para o projeto com datas limites para execução das mesmas, relacionando os problemas detectados com as respectivas ações definidas e os resultados que se esperava alcançar com a execução destas ideias.

Antes de iniciar a tomada de ações na etapa *Improve*, foi verificado junto ao departamento de engenharia elétrica e eletrônica, se as ações eram passíveis de ser realizadas em um protótipo como teste de provas, pois, uma vez sendo comprovado a possibilidade de eliminação do defeito, mesmo que a ação ideal não seja a de menor custo ou menor prazo, mas se projetar o tempo de retorno do investimento ao longo do tempo, considerando os custos de garantias e peças de reposição, principalmente nos casos onde os módulos ECU eram afetados, os custos totais de reparos poderiam chegar até a 4,5% do custo do automóvel.

Este valor expressivo foi fundamental para convencer a alta direção da empresa, a aplicar a melhor solução corretiva para os veículos em fase de garantia, alterar o projeto dos próximos veículos que fossem fabricados, considerando um número de chassi de final 10.000 e implantar as ações de mudança na linha de fabricação.

4.4 *Improve* (Melhorar)

Foi elaborado um plano de ações estruturado na metodologia 5W2H, conforme mostrado no Quadro 2, onde foi definido que somente duas ações principais seriam colocadas em teste para certificar que o problema definido e analisado pudesse ser resolvido por meio das ideias escolhidas.

Quadro 2 - Plano de Ação 5W2H

5W2H: MODIFICAÇÃO DO CONDUTOR DE ATERRAMENTO

O que (What)	Quem (Who)	Onde (Where)	Por que (why)	Quando (when)	Como (how)	Quanto (How much)
Desenvolver novo modelo de condutor de aterramento interligando em um único cabo a Bateria, Carroceria e Motopropulsor	Washington Freemason	Engenharia Elétrica (Laboratório 03)	Para que o potencial elétrico entre as três partes permaneça o mais linear possível evitando oscilações de tensão para os sensores e Módulo ECU.	Até/08/2012	Utilizar modelo atual redimensionando o tamanho do cabo, terminais e conectores de tenha flexibilidade o suficiente sem efeito faça.	U\$ 22.000,00 para o estudo e desenvolvimento
Após modificações dos pontos de aterramento, aplicar em um veículo que tenha apresentado defeitos da mesma natureza e realizar testes de condutividade e sistema verificando se o problema foi resolvido	Leonel Caldela	Baia 1 do hangar próximo a pista de testes	Para verificar se com o novo dispositivo de aterramento os problemas possam ser eliminados e as variações de tensão estabilizem	Até 15/09/2012	Utilizar um veículo com problema de aterramento recolhido de concessionária e aplicar as modificações conforme ordem de engenharia colocando equipamentos de testes para acompanhamento	U\$ 12.500,00 para execução dos testes.

Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

Após 26 dias, um novo condutor de aterramento foi desenvolvido e testado com eficiência em três veículos que apresentavam as mesmas características de defeito por origem de variação de tensão e corrente, identificado nos sinais de leitura dos sensores e módulo ECU.

A modificação obteve resultado positivo, o problema dos automóveis onde a modificação foi aplicada simplesmente desapareceu, assim como também foi perceptível uma melhor dirigibilidade do veículo e maior economia de combustível, pois foi checado antes da modificação em um modelo 1.6 Litros que mesmo sem apresentar o defeito, mas com o sistema de aterramento antigo, seu consumo médio que era de 14,1 Km/L (quilômetros por litro), passou para 15,4 Km/L, uma melhora de 8,4%.

Detalhes do teste e local de aterramento onde os condutores foram instalados estão ilustrados na Figura 22.

Com os resultados apurados a montadora divulgou para as filiais e redes autorizadas o que seria necessário para resolver um grande percentual dos problemas relacionados com sensores e módulos ECU, pois a causa raiz comprovadamente por testes e diagnósticos foi a insuficiência de aterramento de todo o sistema, não só de injeção eletrônica, mas outros sistemas como ABS, Air Bag, Climatização, Transmissão Automática e Carroceria com Eletrônica Embarcada.

Figura 22 - Instalação do Cabo de Aterramento



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

A decisão final, após os testes, foi que seriam produzidos novos cabos condutores de aterramento para substituir os antigos, de forma a interligar mais pontos de massa entre os sistemas. Em seguida foram disponibilizados junto às concessionárias e redes autorizadas para substituição em revisões, garantias ou reclamações sobre defeitos desta natureza, também ficou definido, que para a fabricação e linha de montagem, a partir de Outubro de 2011 seria adotado além destas modificações dos condutores, outras duas, sendo:

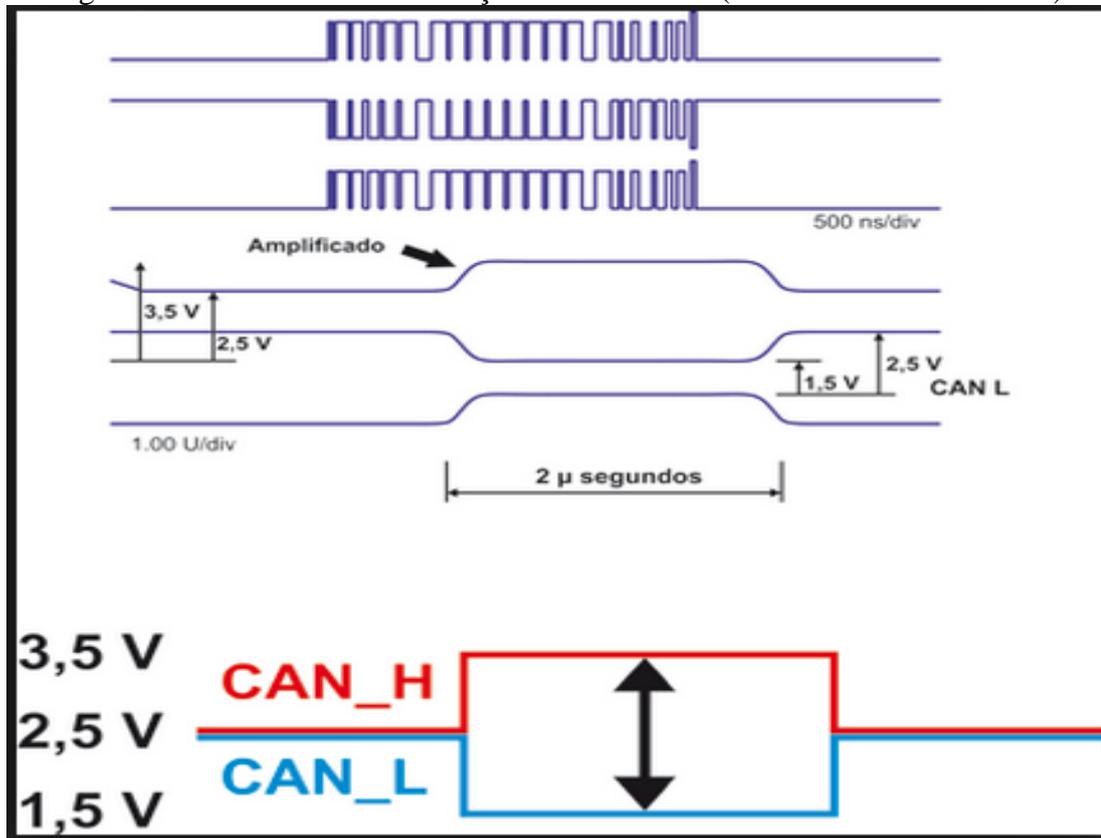
1ª - Novos pontos de conexões massa na carroceria e motopropulsor, visando atender melhor a distribuição dos fios e do chicote, reduzindo o comprimento dos condutores que executam a função de ligação dos pontos de massa no sistema, com isso seria possível atender melhor o equilíbrio de tensão e corrente no sistema, economizar a quantidade de material elétrico utilizado por veículo e trazer um retorno financeiro quanto aos custos de produção.

2ª - Novo Protocolo de comunicação com os sensores e atuadores do sistema de todos os modelos da marca utilizando a tecnologia que alguns modelos luxuosos já possuíam, a comunicação via rede CAN (*Controller Area Network*), ou seja, um sistema desenvolvido na década de 90 capaz de realizar transmissão e recepção de dados em uma velocidade de 1MB por segundo por apenas dois condutores entre as partes comunicantes de forma serial dupla com polaridade de corrente contínua simultânea, porém com tensões negativa e positiva no mesmo sinal conforme ilustrado na Figura 23, se o sinal enviado ou recebido não for exatamente igual nas duas polaridades, a informação é descartada. As vantagens são:

- Menor quantidade de condutores;
- Menor quantidade de matéria prima utilizada (diâmetro);
- Menor peso;
- Menor custo;
- Maior velocidade de comunicação;

- Livre de interferências que possam prejudicar as informações.

Figura 23 - Protocolo de Informação da Rede CAN (*Controller Area Network*)



Fonte: Projeto Seis Sigma aplicado na Montadora, (2011).

4.5 Control (Controlar)

A fase *Control* da metodologia DMAIC foi aplicada após as ações corretivas ter sido implementadas, as instruções de trabalho, de fabricação e montagem, inclusive do fornecedor, foram atualizadas de forma a complementar o passo-a-passo das atividades em atendimento as alterações de projeto, bem como os testes de validação da qualidade para o produto.

Já a coleta de dados sobre reclamações, garantias e defeitos encontrados no processo na linha de montagem, continua sendo registrada no sistema integrado permitindo análise dos dados com auxílio do software Infinity QS, o qual automaticamente gera uma informação sobre comportamento do processo com tendência a desvios destinando os dados para que cada responsável possa atuar no processo, mantendo-o dentro dos parâmetros exigidos e registrando as ações tomadas para efeito de lições aprendidas. Quando um ponto crucial é identificado pelo software de forma insistente, cada líder de setor avalia a necessidade de aplicação de um projeto de melhoria na célula seguindo a mesma estrutura do DMAIC para

conduzir a gestão dos processos. As informações também são repassadas para as autorizadas e concessionárias a fim de que todos estejam no mesmo nível de informação para proporcionar o melhor controle possível visando a integridade do produto e satisfação dos clientes.

Desta forma ficou fácil conduzir o controle de todos os processos, utilizando a coleta de dados da fabricação e montagem, no momento real de coleta, permitindo atuação na prevenção de defeitos. Caso algum fator seja identificado com veículos que já estão em operação, mas estão sujeitos a apresentar falhas, um plano de reação para cada módulo de falha é imediatamente definido e repassado aos envolvidos. Na pior hipótese pode ser solicitado um *Recall* para os veículos e efetuado os reparos necessários.

4.6 Finalização do Estudo de Caso

Este trabalho relatou apenas como foi conduzido o projeto Seis Sigma estruturado pelo DMAIC para o grupo de defeitos elétricos, que foi estudado, porém esta metodologia também foi e continua sendo aplicada para os demais tipos de defeitos, nos mais variados setores da linha de produção da montadora, visando eliminar as possíveis fontes de defeitos e aumentar a qualidade em busca do objetivo maior que é a melhor colocação possível no Nível de Sigma, com resultados positivos para empresa e clientes que esta metodologia pode proporcionar.

Com a nova modificação no sistema de aterramento dos sistemas elétricos à massa dos veículos, o nível de defeitos referente a este tipo de problema registrado no último semestre (Out/2012 a Mar/2013) foi reduzido de 50.845 DPMO para 7.642 DPMO, sendo que conforme registros no sistema, problemas de origem do aterramento ocorridos após a modificação nos chassis e circuitos elétricos, foram registrados somente cinco casos, mas as causas que originaram o problema são outras, diferentes das que foram abordadas no projeto, sistema de aterramento, portanto pode-se afirmar que este tipo específico de problema foi resolvido totalmente com as modificações aplicadas, a meta era de reduzir o DPMO para que o mesmo fosse \leq a 50 DPMO. Para os veículos que apresentavam problemas devido ao aterramento, o novo modelo de condutor de aterramento desenvolvido para cada modelo de automóvel ou família deste, foi disponibilizado como peça de reposição, porém somente as redes autorizadas estavam aptas a realizar o procedimento de troca do modelo antigo para o novo, pois o projeto definiu que seria necessário também substituir o software dos módulos (ECU) para que o sistema possa operar com o melhor desempenho possível.

Como ganhos qualitativos o principal é que quando o desempenho do produto não é afetado por defeitos, por menores que sejam o cliente não encontra motivos para reclamar do produto, retornar as concessionárias, disponibilizar o veículo para que os reparos sejam feitos, entre outros ganhos. O cliente encontra-se satisfeito com o produto adquirido, passa a confiar na marca, pode recomendar para as demais pessoas com as quais ele se relaciona e não tem intenção de se contrapor à montadora quanto a questões judiciais, financeiras, entre outros.

Esta mesma metodologia continua sendo aplicada e expandida para os demais setores da empresa promovendo a melhoria de todos os processos, pois pode ser aplicada para qualquer situação.

5 CONCLUSÃO

O projeto Seis Sigma, utilizado para solução de problemas, teve um excelente resultado neste estudo de caso, pois, atingiu os objetivos propostos com efetividade e foi o principal motivador de novas alterações ocorridas nos veículos, alterações que tem agradado a todos os clientes em geral e também a alta direção da montadora.

Outras soluções poderiam ter sido implementadas para resolver o problema de aterramento encontrado, talvez não tivesse o mesmo resultado, o projeto não fosse além da solução deste problema realizando as alterações nos circuitos e chassi, englobando neste pacote a adoção do sistema rede CAN (somente para os novos modelos), pois este é um fator importante que permite a montadora se sobressair entre os concorrentes.

Projeto inovador para o segmento de veículos populares com praticamente os mesmos custos de produção, pois o que foi gasto no projeto está sendo recuperado com o alto nível de qualidade obtido e economia de alguns materiais como exemplo os condutores elétricos que antes eram utilizados em uma quantidade maior e após a modificação foram reduzidos sem afetar as funções dos sistemas, minimizando assim os custos de produção.

A correta implementação da ferramenta sem cometer erros, foi um fato que levou a acreditar na metodologia. O DMAIC para gestão de projetos interdisciplinares em uma organização de grande porte mostrou-se de grande valia para a obtenção de resultados confiáveis, também possibilitou uma abordagem ampla, flexível e aprofundada do problema, bem como a integração dos profissionais das diversas áreas envolvidas em um grupo de trabalho, pois, o fato de poder contar com a participação de uma consultoria externa especializada no assunto enriquecendo o conhecimento de todos os participantes e envolvidos neste projeto acabou motivando a todos.

Todas as áreas podem aplicar e se beneficiar dos resultados. Produtos mais confiáveis e com baixos custos de retrabalho ou até mesmo a isenção deste, obtém normalmente preços competitivos e boa aceitação do mercado, facilitando as vendas e alavancando dos lucros.

O suporte e envolvimento da diretoria na avaliação das propostas geradas pelo Grupo de Trabalho mostrou-se fundamental para o sucesso do projeto, pois houve o direcionamento das ações para os pontos mais importantes.

A abordagem do Seis Sigma é simples, mas não significa que seja fácil. Diferentemente do que se acredita, a ferramenta não se ocupa da qualidade da forma tradicional, ou seja, a conformidade com normas e requisitos, na verdade, o programa redefine qualidade como o valor agregado por um esforço produtivo e busca que a empresa alcance os seus objetivos estratégicos.

Ao final da leitura não é possível o leitor implementar a filosofia Seis Sigma como um todo, mas consegue entender um pouco sobre a mesma, compreender os passos e a sistemática de trabalho.

O estudo de caso está encerrado, porém esta só foi mais uma etapa positiva do que esta filosofia do Seis Sigmas estruturada no modelo DMAIC pôde proporcionar para a empresa estudada.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, S. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa seis sigma**. Nova Lima: INDG, 2006, 231p.
- BARNEY, M. **Motorola's second generation**. Six Sigma Forum Magazine. Milwaukee, v.1, n. 3, p.13-16, May 2002.
- BEHARA, R. S., FONTENOT, G. F., GRESHAM, A. **"Customer satisfaction measurement and analysis using six sigma"**. International Journal of Quality & Reliability Management, p.9-18, 1995.
- CARVALHO, M., M.; PALADINI, E.P. **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005, 187p.
- CORONADO, R.B. **Critical success factors for the successful implementation of Six Sigma projects in Organizations**. The TQM Magazine, v.14, pp. 92-99, no.2, 2002.
- HARRY, M. J. **"Six sigma: a breakthrough strategy for profitability"**. Quality Progress, p.60-64, May 1998.
- HARRY D., SCHROEDER, R. **Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the World's Top Corporation**. New York: Doubleday, p. 235-240, 2000.
- HILSDORF, W.C. **A Estratégia Seis Sigma para Melhoria da qualidade: uma análise crítica das métricas utilizadas**. Revista Pesquisa e Tecnologia FEI. São Paulo, n.23, p. 25-39, outubro,2002.
- JUNIOR, I. M. et al. **Gestão da Qualidade**. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006. 196 p.
- MENEZES, L.C.M. **Gestão de Projetos**. 2.ed.São Paulo: Atlas, 2003, 281p.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513 p.
- MOREIRA, A.C.V.B. et al. **Green Belts Industrial**. v. 6. Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 2004, 281p.
- PANDE, P. S., NEUMAN, R. P., CAVANAGH, R. R. **Estratégia seis sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Qualitymark Ed., Rio de Janeiro, 2001, 147p.
- RASIS, D., GITLOW, H.S., POPOVICH, E. **Paper Organizers International: A Fictitious Six Sigma Green Belt Case Study I**. Quality Engineering, 15 (1), p.127-145, 2002.
- ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, p.42-53, 2008.

SANTOS, B. A.; MARTINS F. M., “**A implementação dos projetos seis sigma contribuindo para o direcionamento estratégico e para o aprimoramento do sistema de medição de desempenho**”, Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção, n.1, p. 1-14, dez.2003.

SLACK, N. **Vantagem competitiva em manufatura**: atingindo competitividade nas operações industriais. Tradução Sônia Maria Correia. Revisão Técnica Henrique Luiz Corrêa. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

STAMATIS, H. D. “**Six Sigma Fundamentals**”: A complete guide to the system, methods and tools”, New York, Productivity Press, 2004.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

TORMINATO, S. M. **Análise da utilização da ferramenta CEP**: um estudo de caso na manufatura de autopeças. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)– Universidade Estadual de Campinas, 2004, 106 p.

USEVINICIUS, A. L. “**Implantação da metodologia Seis Sigma e aplicação da técnica estatística de projeto de experimentos na resolução de problemas e otimização dos processos de fabricação**”, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RS, p.36, 2004.

VAN DER POL, R. B. **Aplicação do método DMAIC para redução da ocorrência de acidentes ferroviários**, Juiz de Fora – 2011.

VIEIRA, S. **Estatística para a Qualidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1999, 198 p.

WATSON, G. H. **Cycles of learning**: observations of Jack Welch. Six Sigma Forum Magazine. Milwaukee, v. 1, n. 1, p.13-18, nov. 2001.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Nova Lima: Werkema, 2004. v.1, 310p.

WERKEMA, M. C. C. **Lean Seis Sigma – Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing**. 1 ed. Belo Horizonte : Werkema, 2006, v. 4, 120p.