

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Lucas Antunes Avelino**

**Aplicação da ferramenta DMAIC para melhoria no processo de usinagem nas laterais da face de gravação do número do motor no bloco do setor de usinagem de uma indústria de grande porte.**

**Taubaté – SP**

**2018**

**Lucas Antunes Avelino**

**Aplicação da ferramenta DMAIC para melhoria no processo de usinagem nas laterais da face de gravação do número do motor no bloco do setor de usinagem de uma indústria de grande porte.**

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

Orientador: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Coorientadora: Profa. Me. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren

**Taubaté – SP**

**2018**

**SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

A948a Avelino, Lucas Antunes  
Aplicação da ferramenta DMAIC para melhoria no processo de usinagem nas laterais da face de gravação do número do motor no bloco do setor de usinagem de uma indústria de grande porte. / Lucas Antunes Avelino. -- 2018.  
61 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.  
Orientação: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica.  
Coorientação: Profa. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Bloco do motor. 2. DMAIC. 3. Seis Sigma. I. Título. III. Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

CDD – 658.5

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

## Lucas Antunes Avelino

**Aplicação da ferramenta DMAIC para melhoria no processo de usinagem nas laterais da face de gravação do número do motor no bloco do setor de usinagem de uma indústria de grande porte.**

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

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



Prof. Me. (Fabio Henrique Fonseca Santejani)  
Coordenador de Trabalho de Graduação

### BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Universidade de Taubaté

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



Prof. Me. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren

Universidade de Taubaté

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



Prof. Me. Antonio Ricardo Mendrot

Universidade de Taubaté

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



## **AGRADECIMENTOS**

À meu pai, que desde o início esteve ao meu lado, me incentivando e apoiando.

Ao Professor Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren, da UNITAU, pela impecável orientação, confiança e incentivo atribuído ao desenvolvimento desta dissertação.

À Universidade de Taubaté e Professores, que forneceram todos os recursos e conhecimentos necessários para a minha formação e para realização deste trabalho.

A todas as pessoas que gentilmente colaboraram, respondendo os questionários, e tornaram possível a conclusão deste trabalho.

## RESUMO

Atualmente todas as organizações que utilizam processos de usinagem na fabricação de um produto estão sempre à procura de entregar ao cliente de destino, um produto com alta qualidade, com uma maior eficácia de seu processo de fabricação, no sentido de aumentar a sua competitividade frente aos concorrentes e obter um maior lucro. Assim, este trabalho começa no setor de usinagem de uma fábrica de motores, onde já é definido um problema a ser atacado devido ao CTQ do cliente, pois o mesmo não atende as suas especificações. Na revisão bibliográfica de diferentes opções de ferramentas de qualidade, optou-se pela escolha da metodologia DMAIC, proveniente do Seis Sigma ( $6\sigma$ ). Com isso busca-se seguir todos os passos (Definir-Medir-Analisar-Implementar-Controlar) para a diminuição dos índices de blocos de motores refugados, com o objetivo de demonstrar a eficiência do programa seis sigma em se tratando da busca pela qualidade e diminuição de custos. No trabalho, após a aplicação do DMAIC, é possível identificar oportunidades de melhorias que foram observadas e mostrar os resultados atingidos contribuindo com o aumento da eficiência dos indicadores de melhorias no setor analisado.

**Palavras-chave:** DMAIC; Bloco Motor; Seis Sigma.

## **ABSTRACT**

Nowadays all the organizations that use machining processes in the manufacture of a product are always in the search of delivering to the client of destination, a product with high quality with a greater effectiveness of its process of manufacture, in order to increase its competitiveness in front of the competitors and a higher profit. Thus, the work begins in the machining sector of an engine factory, where a problem is already defined to be attacked due to the customer's CTQ that does not meet its specifications. In the bibliographic review of different quality tool options, we chose the DMAIC methodology, derived from Six Sigma ( $6\sigma$ ). This will follow all the steps (Define-Measure-Analyze-Implement-Control) for the reduction of the indexes of defective products with the objective of demonstrating the efficiency of the six sigma program in the search for quality and cost reduction. In the work after the application of the DMAIC, it is possible to identify opportunities for improvements that were observed and to show the results achieved, contributing to the increase of the efficiency of the indicators of improvements in the sector analyzed.

**Keywords:** DMAIC, Crankcase, Six Sigma

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resultado da implementação do Seis Sigma GE.....	18
Figura 2 - Situações das ações na GE (1965-2004).....	18
Figura 3 - Curva normal com desvios de 1,5 Sigma.....	21
Figura 4 - Método seis sigma para melhorias.....	24
Figura 5 - Esquematização da ferramenta DMAIC.....	25
Figura 6 - Componentes do Motor a Combustão.....	32
Figura 7 - Bloco do motor.....	35
Figura 8 - Camisa do Cilindro.....	36
Figura 9 - Pareto de perdas de motores refugados pela incorreta gravação do número do motor no bloco Linha - W.....	43
Figura 10 - Pareto de perdas de motores refugados pela incorreta gravação do número do motor no bloco Linha - Y.....	44
Figura 11 - Pareto de perdas de motores refugados pela incorreta gravação do número do motor no bloco Linha - Z.....	45
Figura 12 - Mapeamento do processo da linha W.....	46
Figura 13 - Quantidade de motores refugados por estações.....	48
Figura 14 - Espinha de peixe para falha de gravação do número do motor no bloco - estação 20 da linha W.....	49
Figura 15 - Diagrama de causa e efeito para problema de gravação do número do motor no bloco - estação 20 linha W.....	50
Figura 16 - Gráfico de Pareto para possíveis causas do problema de usinagem do Vinpad.....	51
Figura 17 - Principais causas do problema na estação 20.....	52
Figura 18 - Quantidade de motores refugados por estações.....	54
Figura 19 - Evolução dos custos com refugos - estação 20.....	55
Figura 20 - Plano de ação fechado para as ações da linha de usinagem do bloco...	57
Figura 21 - Check List para acompanhamento.....	58



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - DPMO de processos de curto e longo prazo.....	19
Quadro 2 - Estações linha W.....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>CNC</i>	-	Controle Numérico Computadorizado
<i>CTQ's</i>	-	Crítico para qualidade
<i>CPK</i>	-	Coeficiente de capacidade do processo
<i>CP</i>	-	Coeficiente de potencial do processo
<i>DMAIC</i>	-	Definir, Medir, Analisar, Implementar, controlar.
<i>DPMO</i>	-	Defeito por milhão de oportunidade
<i>GE</i>	-	General Eletric
<i>MSA</i>	-	Avaliação de sistema de medição

## LETRAS GREGAS

$\sigma$  - Sigma

## SUMARIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
1.1	Formulação do Problema .....	13
1.2	Objetivo .....	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	14
1.2.2	Objetivos Específicos .....	14
1.3	Justificativa.....	15
1.4	Delimitação do assunto .....	15
1.5	Estrutura do Trabalho.....	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3	METODOLOGIA.....	40
3.1	Descrição do objeto do estudo .....	40
4	DESENVOLVIMENTO.....	42
4.1	Definir .....	42
4.2	Medir .....	49
4.3	Analisar .....	52
4.4	Implementar.....	53
4.5	Controlar.....	57
5.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente em um ambiente fabril onde se requer um alto nível de exigências de qualidade e eficiência de seus produtos, estão a cada vez mais a buscar um modelo de gestão onde possam entregar aos seus clientes produtos que atendam às suas necessidades, que são fatores primordiais para o sucesso ou insucesso de uma organização.

Como recompensa dos altos esforços em garantir um controle eficaz de seus processos, as organizações ganham em competitividade num mercado cada vez mais exigente.

A qualidade é um fator fundamental para a empresa ser competitiva no mercado. A empresa deve utilizar a gestão da qualidade para melhorar processos e alcançar melhores resultados.

Para Falconi (1992, p.2) “um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente”.

Para que ocorra isso, a metodologia Seis Sigma se torna muito eficiente para atender os objetivos propostos, pois entre as suas características principais estão a redução nos custos, ao aumento da produtividade e garantir a qualidade final nos seus processos produtivos.

O Seis Sigma é uma metodologia focada na melhoria de processos, e também uma medida de variação utilizada em estatística. No universo empresarial, o Seis Sigma se refere à frequência com que determinada operação ou transação utiliza mais do que os recursos mínimos necessários para satisfazer o cliente, ou seja, ela determina uma taxa de desperdício/desvio por operação. Assim, você pode usar o Seis Sigma para calcular matematicamente o nível de desempenho dos processos da sua empresa e obter um diagnóstico.

O cenário mencionado anteriormente é onde o autor desde trabalho busca trabalhar pelo fato de a empresa onde foi feito o trabalho, se inserir em constantemente buscar melhorias nos processos de usinagem com o auxílio da metodologia seis sigma e outras ferramentas que serão ditas no decorrer do presente trabalho.

Aplicando a metodologia DMAIC e outras ferramentas estatísticas provenientes do 6 sigma, empresas como a mencionada no presente trabalho ganharam destaques em níveis mundiais pelo seu sucesso em conseguir reduzir a complexidade de seus processos e melhorar a qualidade de seus produtos recebidos pelos seus clientes tanto interno como externo.

A redução tanto da complexidade do processo como melhoria da qualidade, o impactam diretamente em ganhos de produção e aumento da lucratividade da empresa. O presente trabalho teve foco no setor de produção por usinagem.

## **1.1 Formulação do Problema**

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado na empresa automobilística situada na região do Vale do Paraíba, interior do Estado de São Paulo, em que são fabricadas e montadas as peças usinadas do motor. A Fábrica é uma das pioneiras no Brasil na fabricação de motores, transmissões e componentes automotivos, ela possui processos de usinagens nesta planta desde 1987, desenvolvida para oferecer alto desempenho e economia, com a mais avançada tecnologia “flex”, e a transmissão iB5, que prima pela suavidade de engate e operação silenciosa. Apesar de estar no ramo há muito tempo na área de usinagem e trabalhar com algumas ferramentas de qualidade e com sistema que integra os processos de manufatura e interage com os sistemas de desenvolvimento e suprimentos, visando a uma produção disciplinada, flexível e enxuta (*Lean Manufacturing*), a empresa se deparou com um aumento em seus indicadores de desempenho de qualidade na linha de usinagem da gravação do número do motor nos blocos. Estes eram influenciados principalmente pela falta de acompanhamento no processo, onde o problema só era detectado no cliente seguinte.

Após as reuniões técnicas realizadas para análises das possíveis causas do problema, a gerência percebeu que este aumento tinha como principal causa a folga nos eixos nas fixações do dispositivo de fixação de ferramentas de usinagem nas máquinas CNC nas operações de usinagem do bloco. Apesar da empresa já estar no mercado de usinagem há décadas, esse problema persistia, por isso a importância do estudo proposto neste projeto para achar a causa raiz do problema.

A inspeção de folga nos eixos assim como a verificação de peças mal fixadas nas máquinas não fazia parte do cronograma de manutenção preventiva. Somente eram realizadas inspeções visuais na fixação da ferramenta. Atualmente, apesar de o corpo técnico da empresa já aplicar a metodologia DMAIC no seu dia a dia para a resolução de problemas agravantes e de altas perdas para a companhia, tal prática ainda não se aplicava ao problema dito. Então, foi escolhida como melhor maneira de se sanar o problema o uso de ferramentas da qualidade e estatísticas provenientes do 6 sigma.

## **1.2 Objetivo**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O tema deste trabalho é demonstrar uma aplicação real da metodologia Seis Sigma, onde se tem como objetivo desenvolver um estudo de caso para propor o uso da metodologia DMAIC para conduzir projetos de melhoria de qualidade, produtividade e redução de custos. O estudo incluiu usar todos os possíveis fatores para analisar a possível causa do problema avaliando resultados com base nos dados levantados e processados que podem ser obtidos a partir do seu uso.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em aplicar a metodologia seis sigma no processo de usinagem de uma empresa de fabricação de motores, ou seja, seguir a ferramenta DMAIC em saber identificar as necessidades do cliente receptor dos produtos com defeitos, estudo de caso no escopo do projeto sobre possíveis causas que influenciam na qualidade do produto, estratificar a causa raiz do problema, identificar o custo da não conformidade e refugos de motores com

problemas, elaborar um plano de ação para atacar a causa raiz, coletar dados e verificar os resultados.

### **1.3 Justificativa**

Este trabalho justifica-se por possibilitar a introdução de uma metodologia visando à melhoria da produtividade e assim melhorando a satisfação do cliente. Tal metodologia foi baseada na aplicação dos conceitos de DMAIC. Com a aplicação destes conceitos foi possível identificar, qualificar e quantificar os fenômenos ocorridos para quebras de ferramentas de usinagem. Este trabalho irá ajudar a introduzir um modelo de metodologia para companhias que desejam melhorar seus indicadores de qualidade onde a base será em reduzir a variabilidade dos seus processos e conseqüentemente reduzindo os desperdícios, com o intuito de diminuir os custos. Academicamente este trabalho abre um leque muito grande, pois as empresas cada vez mais estão em busca de um modelo de gestão voltados a redução de custos, onde os maiores desafios são encontrar pessoas qualificadas e disciplinadas para aplicar a metodologia.

### **1.4 Delimitação do assunto**

Este trabalho delimita-se ao estudo e aplicação da ferramenta DMAIC em uma empresa de fabricação de motores e transmissões situada no Vale do Paraíba, visando maximizar a produção e minimizar os custos de fabricação de produtos usinados.

### **1.5 Estrutura do Trabalho**

A dissertação está estruturada em capítulos e subcapítulos.



O capítulo 1 introduz o tema, o problema que motivou a pesquisa, os objetivos gerais e específicos, a justificativa, a delimitação do assunto e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre o Seis Sigma o DMAIC e o Bloco do Motor e suas características.

O capítulo 3 trata da metodologia adotada na pesquisa, apresentando como foi feita a coleta e a obtenção dos dados e como foi conduzida a pesquisa na empresa automotiva.

No capítulo 4 apresenta o desenvolvimento do trabalho, mostrando todos os passos do ciclo DMAIC.

O capítulo 5 apresenta os resultados e discussão.

Por fim, são apresentadas as referências utilizadas neste trabalho.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo aborda um breve histórico da metodologia Seis Sigma, com suas definições e modelo detalhando as etapas para a construção do projeto, bem como seus desdobramentos, foi comentado sobre as fases definir, medir, analisar, implementar e controlar, também é abordado conceitos e principais problemas na usinagem de blocos de motores.

### **2.1 Seis Sigma**

Seis sigma é um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial. Seis Sigma é singularmente impulsionado por uma estreita compreensão das necessidades dos clientes, pelo uso disciplinado dos fatos, dados e análise estatística e pela atenção diligente à gestão, melhoria e reinvenção dos processos do negócio. (Pande, Neuman e Cavanagh, 2001).

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

que auxilia nesta busca. O início da utilização da estratégia de Seis Sigma foi em 1987 na Motorola e logo foi adotada por Jack Welch em 1995, quando dirigia a GE. Welch (2001) afirma:

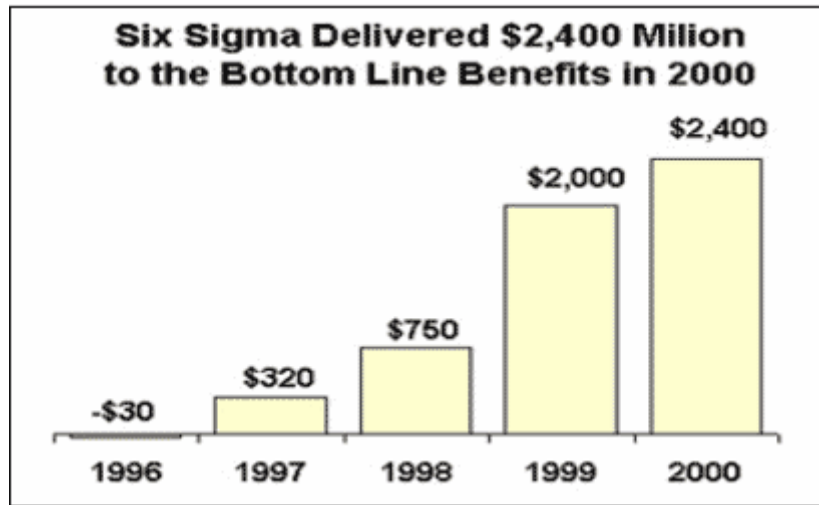
[...] o grande engano é supor que o Seis Sigma trate de controle de qualidade e de fórmulas estatísticas. Em parte, é isso, mas não fica só nisso. Vai muitíssimo além. Em última instância, impulsiona a melhoria da liderança, ao fornecer instrumentos para que se raciocine sobre assuntos difíceis. No âmago do Seis Sigma, agita-se uma ideia capaz de virar uma empresa pelo avesso, deslocando o foco da organização para fora de si própria e convergindo-o no cliente [...]. (Welch, 2001)

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.

Com essa evolução do conceito de qualidade, surge enfim a metodologia Seis Sigma na Motorola na década de 1990, em um cenário onde já se sabia a importância de analisar a qualidade do processo e do produto. Assim, ela começa a usar essa filosofia para poder melhorar sua qualidade e também sua competitividade no mercado.

Com o passar do tempo, a metodologia Seis Sigma foi ganhando espaço entre empresas e indústrias dos EUA, até que Jack Welch, CEO da GE (General Electric), acolheu a ideia. Ele implementou a metodologia Seis Sigma na GE e teve um resultado de excelente desempenho em termos de ganhos como é mostrado na Figura 1.

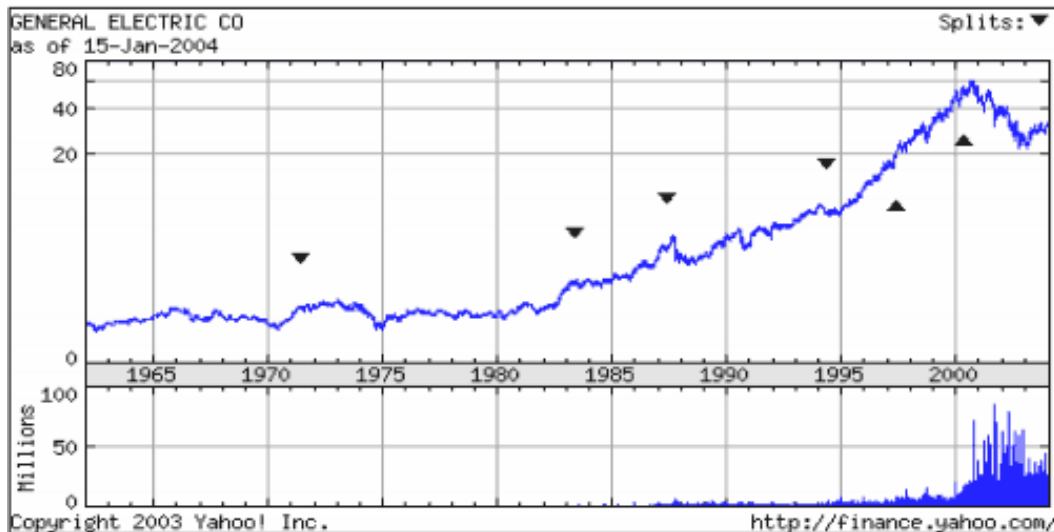
Figura 1 - Resultado da implementação do Seis Sigma GE



Fonte: ISD Brasil Adaptado (2003)

Enquanto no período de 1990 a 2000 a GE teve a maior valorização de suas ações na história, como são mostrados na Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Situações das ações na GE (1965-2004)



Fonte: ISD Brasil Adaptado (2003)

O princípio fundamental do programa Seis Sigma é reduzir continuamente a variação nos processos, e desta maneira eliminar os defeitos ou falhas nos produtos e serviços (LINDERMAN *et al.*, 2003).

Assim, a implantação do programa nas organizações visa, de maneira estruturada, incrementar a qualidade por meio da melhoria contínua dos processos envolvidos na produção de um bem ou serviço, considerando todos os aspectos importantes de um negócio (PFEIFER *et al.*, 2004).

Na metodologia Seis Sigma existe uma escala que determina o nível de qualidade do processo, a qual está demonstrada no quadro 1.

**Quadro 1- DPMO de processos de curto e longo prazo**

Nível da qualidade	Defeitos por milhão	% de conformidade
1 Sigma	691.463	30,85%
1,5 Sigma	500.000	50%
2 Sigma	308.537	69,15%
3 Sigma	66.807	93,32%
4 Sigma	6.210	99,38%
5 Sigma	233	99,97%
<b>6 Sigma</b>	<b>3,4</b>	<b>99,99966%</b>

**Fonte: ISD Brasil Adaptado (2003)**

Essa escala indica que no nível 1 Sigma têm-se 691.463 defeitos por milhão, um número extremamente alto.

Segundo (VOITTO, 2017, online) quando se tem um nível 6 Sigma de qualidade, significa que existem 3,4 defeitos a cada milhão. Esse é um nível de excelência ótimo, pois representa que em 99,9966% das vezes se está fazendo corretamente.

Geralmente, o padrão atual nas quais grandes partes das empresas operam é considerado nível 4 Sigma o processo está com nível de qualidade aceitável. Ou seja, quando o nível é de 99,38% de acertos para cima, é considerado um nível satisfatório na maioria dos casos.

Para Aguiar (2002), o programa Seis Sigma promove uma mudança na cultura de uma empresa, pois, após a sua implementação, modifica o

posicionamento da empresa em relação aos seus problemas e também na sua forma de identificá-los e tratá-los.

Segundo Elliot (2003), A preparação para a jornada Seis Sigma é tão difícil quanto se quer fazê-la. A maioria das empresas encontra dificuldades na implementação por causa da falta desta preparação e impaciência para iniciar a corrida.

Pande (2001) afirma ainda que o Seis Sigma proporciona:

- a) A geração de um sucesso sustentado, pois desenvolve as habilidades e a cultura necessárias a uma revitalização constante nas empresas;
- b) A determinação das metas de desempenho, que é a base sobre a qual está alicerçada a metodologia Seis Sigma, em virtude de o nível de desempenho se aproximar da perfeição;
- c) A intensificação do valor para os clientes, considerando que o foco nele é o ponto vital do método, que busca compreender o significado e a importância do valor para o consumidor;
- d) O aprimoramento das melhorias, que é garantido pela utilização de várias ferramentas de gestão empresarial disciplinadas pela estrutura do método;
- e) A promoção da aprendizagem, em virtude de o Seis Sigma aumentar o desenvolvimento e acelerar o compartilhamento de ideias inéditas dentro das empresas;
- f) A execução de mudanças estratégicas, pois a sua incorporação possibilita a compreensão detalhada dos processos e procedimentos das empresas, oferecendo, assim, a capacidade de implementação de simples ajustes a complexas mudanças

Segundo Aguiar (2002), um dos fatores que determinam o sucesso do Programa de Seis Sigma é a sua estrutura de implementação e de condução. Este planejamento contém basicamente quatro aspectos

I– Metodologia de solução de problemas e de desenvolvimento de novos produtos/serviços e/ou processos;

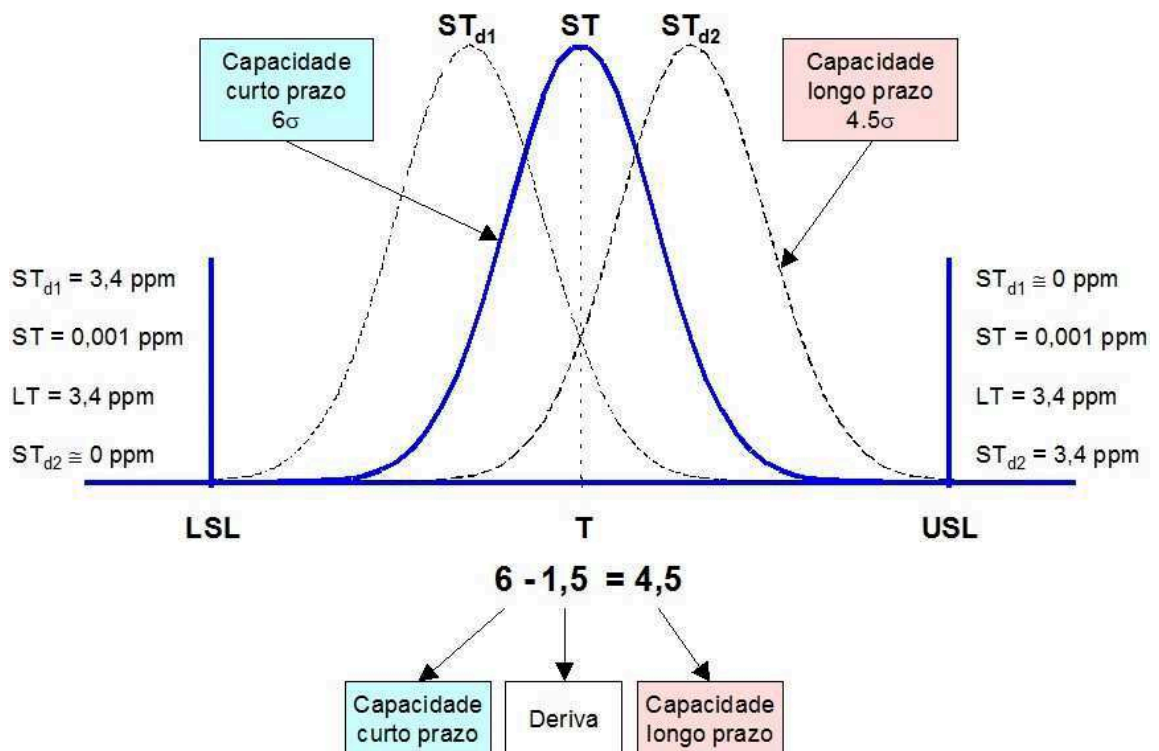
II–Estrutura de responsabilidades e funções;

- III–Estrutura de treinamentos;
- IV– Política de pessoal

Considera-se também como um fator decisivo na implementação do Seis Sigma, a necessidade de existir nas empresas uma infraestrutura organizacional adequada e que assegure a introdução, desenvolvimento e continuidade do programa (WIPER; HARRISON, 2000).

Um dos requisitos da infraestrutura necessária para sustentar o Seis Sigma nas empresas é o treinamento dos funcionários envolvidos com o programa. A capacitação dos funcionários que se envolvem com o Seis Sigma utiliza uma prática distinta, pela qual são atribuídas denominações segundo a carga horária de treinamento, hierarquia nos projetos e dedicação de tempo ao programa (BEHARA et al., 1995).

**Figura 3 - Curva normal com desvios de 1,5 Sigma**



Fonte: Midomenech (2005)

Da Figura 3 observa-se que o nível Sigma de longo prazo pode-se transformar em curto prazo somando-se 1,5; isto é, curto prazo = Longo prazo + 1,5.

Quando se fala de um processo 6 sigma, estamos relacionando a variação do processo com a variação da especificação do produto. Um processo 6 Sigma admite uma variação de até 6 desvios padrão em relação à média antes de alcançar os limites de especificação definidos pelo cliente.

Quanto maior a quantidade de  $\sigma$  alocado dentro da faixa de especificação, menor a variação do processo. Quando se fala que um processo é  $6\sigma$ , à performance dele que é medida, ou seja, quanto a variação do processo representa dentro do intervalo dos limites de especificações.

Assim a expressão Seis Sigma representa, na verdade, uma eficácia de 99,99966% em qualquer processo, ou 3,4 Defeitos por Milhão de Oportunidades (DPMO).

Segundo Harry (2000), é difícil manter um processo sempre centralizado, já que no longo prazo vários fatores provocam o seu deslocamento, para cima ou para baixo do valor alvo da especificação, geralmente, não superior a 1,5 desvio-padrão.

A metodologia associa um rigoroso enfoque estatístico a um arsenal de ferramentas que são empregadas com o objetivo de caracterizar as fontes da variabilidade para demonstrar como esse conhecimento pode controlar e aperfeiçoar os resultados do processo (Watson, 2001).

Pande (2001) enumera seis pontos-chave para o sucesso do seis sigma:

- a) Foco genuíno no cliente: que consiste na superação dos modismos e promessas sem nenhuma fundamentação estratégica de satisfazer as necessidades dos clientes e assegurar, através das medidas de desempenho, o impacto das melhorias Seis Sigma sobre a satisfação e os valores dos clientes;
- b) Gerenciamento dirigido por dados e fatos: que supõe a aplicação de uma rígida disciplina Seis Sigma, destacando a importância de medidas como suporte para avaliar o desempenho dos negócios e aplicação de dados e análises para construir e compreender as variáveis-chave que otimizam resultados;
- c) Foco em processo, gestão e melhoria: pois o Seis Sigma considera os processos como o centro das ações e o veículo-chave para o sucesso, portanto, o domínio sobre os processos é a maneira mais segura de

garantir a obtenção de vantagens competitivas que oferecem valor aos clientes;

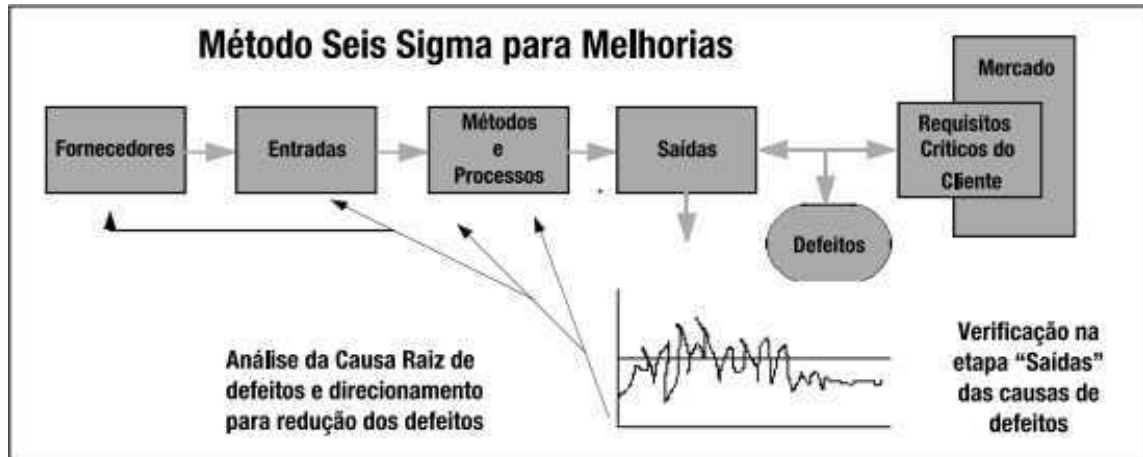
- d) Gestão proativa: é uma prática proativa de gerenciamento dinâmico que define objetivos, determina prioridades, previne problemas e questiona a prática das diferentes atividades da empresa;
- e) Colaboração e compartilhamento: é a compreensão das necessidades dos usuários, das etapas do processo e do fluxo ou da cadeia de fornecimento do processo por todos que desenvolvem atividades na empresa;
- f) Busca da perfeição e tolerância ao fracasso: é o equilíbrio entre a implementação de novas ideias e métodos e o gerenciamento dos riscos até conseguir atingir o objetivo do Seis Sigma e forçar a organização a ser cada vez mais perfeita

Eckes (2001) aborda a estratégia Seis Sigma levando em consideração os elementos essenciais da gestão do processo de negócios:

- a) Criação e acordo sobre os objetivos estratégicos do negócio, que consiste em afirmar que um programa de qualidade obtém sucesso quando consegue o apoio e o envolvimento ativo das lideranças da empresa;
- b) Criação e identificação dos processos essenciais (o conjunto de atividades que gera um impacto profundo na conquista dos objetivos estratégicos do negócio), dos subprocessos-chave (que fazem parte, direta ou indiretamente, de um processo essencial) e dos processos capacitadores (aqueles que causam impactos indiretos na satisfação do cliente, mas que, ao mesmo tempo, são fundamentais para a realização dos negócios da empresa);
- c) Identificação dos donos do processo, que devem possuir competências essenciais, como conhecimento dos subprocessos, habilidades de liderança, entendimento sobre a gestão do negócio, responsabilidade sobre o desempenho do processo e respeito pelos envolvidos nos processos.



Figura 4 - Método seis sigma para melhorias



Fonte: Jr.Blakeslee, (1999)

O método Seis Sigma pode ser definido como um sistema flexível para a liderança e o desempenho dos negócios, e possibilita o alcance de benefícios após a sua implementação (Pande, 2001). A Figura 4 ilustra a sequência de implantação e aplicação do método Seis Sigma para melhorias dos negócios.

Existem alguns conceitos que, se bem compreendidos e aplicados, asseguram o desempenho Seis Sigma. O primeiro é compreender os *Criticals To Quality* (CTQ's) do cliente, ou seja, os requisitos críticos para a qualidade, que são os requisitos de desempenho definidos pelo cliente para um produto ou serviço. Um CTQ pode ser um atributo ou um processo articulado pelo cliente, e é fundamental para o sucesso de um produto ou serviço. Os CTQs devem ser estabelecidos pelo cliente e ter como características ser mensurável e possuir a especificação com tolerância permissível. O segundo conceito que assegura o desempenho Seis Sigma é a utilização da metodologia do processo de melhoria, mais conhecida como DMAIC, que significa definir, medir, analisar, melhorar e controlar.

## 2.2 Metodologia DMAIC

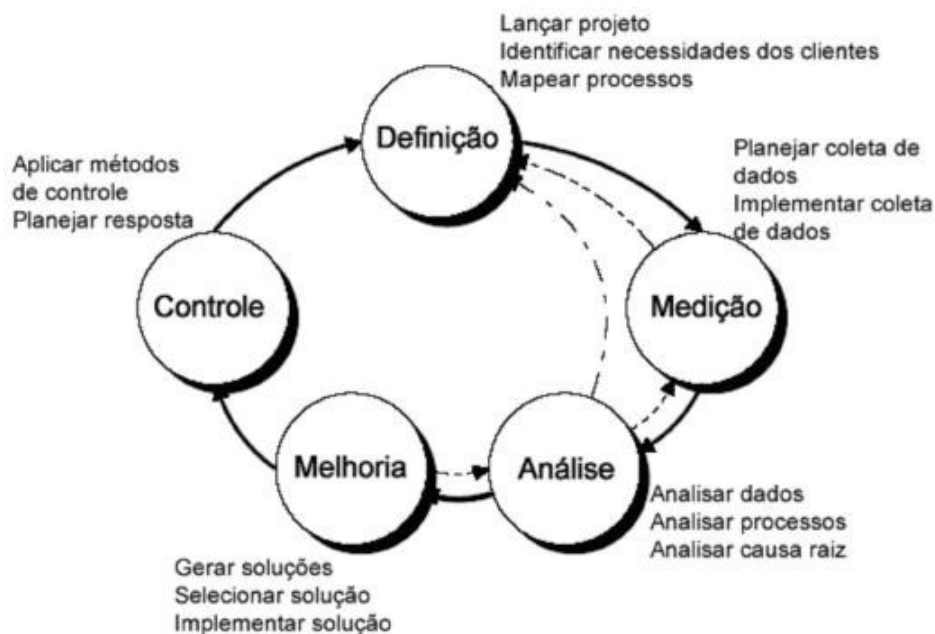
DMAIC refere-se a um ciclo de melhoria orientado a dados usado para melhorar, otimizar e estabilizar processos e projetos de negócios. O ciclo de melhoria DMAIC é a ferramenta principal usada para impulsionar projetos Six

Sigma . Um projeto DMAIC é efetivo também para o aumento da produtividade, redução de custos, melhoria em processos administrativos e outros afins.

Segundo Werkema (2013) o DMAIC utiliza uma escala Sigma que é uma medida estatística que quantifica a variação existente entre qualquer processo e procedimento, sendo utilizada para medir o nível de qualidade associado a um processo, transformando a quantidade de defeitos por milhão. Quanto maior o valor alcançado nessa escala, melhor será seu nível de qualidade. Este nível Sigma alcançado por meio de defeitos por milhão de oportunidades de falhas a virem acontecer, proporcionam a comparação e posicionamento de uma empresa em relação aos seus competidores.

Para Aguiar (2006) o DMAIC é uma ferramenta de solução de problemas que empregam o Programa Seis Sigma com o objetivo de realizar melhorias em produtos, serviços e processos e para projetá-los e/ou reprojeta-los. Abaixo na Figura 5 segue os passos da ferramenta DMAIC:

**Figura 5 - Esquemática da ferramenta DMAIC**



Fonte: Eckes (2001)

### **2.2.1 Etapa *Define* (Definir)**

O “D” (Definir) no processo DMAIC foca na seleção de projetos de alto impacto e na compreensão de quais métricas irão refletir o sucesso do projeto. Nesta etapa do DMAIC são definidos os problemas (ou oportunidades de melhoria como alguns preferem denominar) vinculados aos processos. Aqui são definidos as metas e o escopo do projeto com clareza. É muito importante levantar os problemas de forma quantitativa.

Nesta etapa deve-se identificar os processos críticos responsáveis pela geração de maus resultados, tais como: reclamações de clientes, altos custos de mão de obra, baixa qualidade de suprimentos, erros de forma, etc. (CARVALHO; PALADINI, 2005).

Nesta fase é definido claramente e quantificado o problema. Para a construção é interessante formar equipes multidisciplinares compostas por pessoas que pertencem à áreas diferentes ou mesmo fazem parte de diferentes partes do processo, desta forma, o grupo pode oferecer diferentes perspectivas diante de um mesmo problema. É necessário se fazer uma declaração do problema de forma objetiva e clara, para assim conseguir identificar as métricas potenciais, o desempenho atual, a localidade dos eventos problemáticos e as fontes de medição no processo.

### **2.2.2 Etapa *Measure* (Medir)**

Nesta fase é onde iremos de fato começar a entender o processo e seu desempenho, nisso é necessário perceber o que necessita de ser medido e selecionar as métricas adequadas que permitam direcionar o projeto 6-sigma. O foco do projeto assenta naquilo que vai ser medido. São essas medições que nos permitirão identificar e analisar a causa raiz do problema e onde podemos atuar para corrigir.

Segundo Pande, Neuman e Cavanagh (2007), a fase medir é uma etapa de transição essencial, que serve para confirmar ou refinar o Problema e começar a busca das causas-raiz – objetivo da fase de análise.

A medição trata da documentação do processo atual, validando como ele é medido e estabelecendo uma linha base com relação ao desempenho, onde este servira como referência do processo.

Todo processo tem variação, que nada mais é a quantidade de flutuação de um determinado produto durante a sua confecção, desde sua entrada até a saída.

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 (MSA).

Segundo Rotondaro et al. (2002), o objetivo da análise de um sistema de medição é o de compreender as fontes de variação que podem influenciar nos resultados de medição.

De acordo com o Manual de MSA da QS-9000 (1997) segue detalhamento dos estudos que são feitos num MSA:

- a) MSA (Measurement Systems Analysis) – Análise dos Sistemas de Medição.
- b) Padrão: fundamento aceito para comparação; critério de aceitação; valor conhecido contido entre limites de incerteza declarados e aceito como um valor verdadeiro; valor de referência.
- c) Resolução: menor unidade de leitura, resolução de medição, limite de escala ou limite de detecção. Uma propriedade inerente determinada por projeto.
- d) Resolução efetiva: a sensibilidade de um sistema de medição para processar a variação de uma particular aplicação. O menor estímulo de entrada (*input*) que resulta em um sinal de saída (*output*) detectável.
- e) Valor de referência: valor aceito de um artefato, usado como um substituto do valor real.
- f) Valor verdadeiro: Valor real de um artefato, desconhecido e impossível de ser conhecido.
- g) Exatidão: proximidade ao valor verdadeiro, ou a um valor de referência aceito.
- h) Precisão: um erro aleatório que faz parte do sistema de medição.

- i) Repetibilidade: variação entre medições obtidas com um mesmo instrumento quando usado várias vezes por um mesmo avaliador, enquanto medindo idêntica característica de uma mesma peça.
- j) Reprodutibilidade: Variação entre médias das medições feitas por diferentes avaliadores, utilizando o mesmo dispositivo de medição, enquanto medindo uma característica de uma peça.
- k) R&R do Dispositivo de Medição: estimativa combinada da repetibilidade e da reprodutibilidade do sistema de medição.
- l) Capacidade do sistema de medição: estimativa a curto prazo da variação do sistema de medição.
- m) Incerteza: estimativa de um intervalo de valores em relação ao valor medido dentro do qual acredita-se estar contido o valor verdadeiro.

A coleta de dados é o processo pelo qual acumulamos informações suficientes para calcular a capacidade atual do processo e identificar a causa potencial do problema.

Para Werkema (1995) considera os índices de capacidade informam se o processo é ou não capaz de fabricar produtos que atendam às especificações dos clientes, tantos internos, quanto externos.

Segundo Mario Perez-Wilson (1999), a capacidade de um processo se define pela habilidade de o mesmo confeccionar produtos que estejam dentro dos limites de especificação. O CPK é o coeficiente de capacidade do processo. O CP é o coeficiente de potencial do processo.

- Coeficiente de Potencial do Processo (CP)

De acordo com o Suporte ao Minitab (Online) o CP mede a capacidade potencial de um processo, que é definida pela razão entre a dispersão permitida e a dispersão do processo. A dispersão permitida é a diferença entre o limite de controle superior e o limite de controle inferior. A dispersão real é determinada pelos dados coletados do processo e é calculada multiplicando-se pelo desvio padrão, S, por seis. O desvio padrão quantifica a variabilidade de um processo. A medida que o desvio padrão aumenta de valor em um processo, o CP diminui de valor. À medida que o desvio padrão diminui (ou seja, á medida que o processo vai se tornando menos variável), o CP aumenta de valor.

Conforme Equação 1 calcula-se o (CP);

$$C_p = \frac{|USL - LSL|}{6s} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

USL – Limite superior de especificação;  
 LSL – Limite inferior de especificação;  
 S – Desvio padrão

Em um processo qualificado como Seis Sigmas (isto é, um que permita mais ou menos seis desvios padrão dentro dos limites de especificação), o CP é maior ou igual a dois.

- Coeficiente de Capacidade de Processo (CPK)

O CPK mede a capacidade de o processo criar um produto dentro dos limites de especificação. O CPK representa a diferença entre a média aritmética real do processo e o limite de especificação mais próximo, dividido por três vezes o desvio padrão.

$$C_{pk} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} \text{ or } \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \quad (\text{Eq.2})$$

(whichever is less)

Por convenção, quando o CPK é menor do que 1, o processo é chamado de incapacitado. Quando o CPK é maior do que 1, o processo é considerado capacitado para confeccionar um produto dentro dos limites de especificação. Em um processo Seis Sigma, o CPK é igual ou maior que 2.

### 2.2.3 Etapa *Analyze* (Análise)

Segundo Pande, Neuman e Cavanagh (2001), a fase de análise é a mais “imprevisível” do DMAIC pois as ferramentas que irá usar e aplicar vão depender muito do seu problema e do seu processo e de como você aborda o problema, ou seja é necessário se ter uma medição sólida, repetitiva e que confirme e também esclarecer o problema ou a oportunidade para assim determinar as principais fontes de variação.

Nesta etapa de análise os dados coletados devem ser organizados e analisados a fim de identificar todas as práticas e capacitadores da melhoria. É muito importante que seja compreendido o porquê, a fim de planejar uma estratégia eficiente para a realização de melhorias

Segundo Rotondaro (2008), nesta fase são identificadas as causas óbvias e as causas não óbvias. É imprescindível nesta fase o uso de ferramentas estatísticas, pois nesta fase, o uso destas ferramentas “é uma das forças da metodologia”.

Para análise dos dados existem inúmeras ferramentas estatísticas, abaixo é listado algumas das principais:

1. Diagrama de dispersão
2. *Brainstorming*
3. Diagrama de Causa e Efeito
4. Análise de Modos de Falhas e Efeito (FMEA)
5. Capacidade do Processo (CP e CPK)
6. *Box Plot*

### 2.2.4 Etapa *Improve* (Melhorar)

Nesta 4ª fase do DMAIC o objetivo principal é a eliminação de causas fundamentais dos problemas identificados na fase de Análise.

No começo são levantadas muitas ideias sobre as possíveis causas raízes do problema em questão, no entanto é necessário se fazer uma priorização das soluções potenciais, levantando os riscos das medidas a serem tomadas.

Conforme Pande, Neuman e Cavanagh (2001), é necessário focar nos quatro “P” para lançar soluções de sucesso a medida que a ação de melhoria se aproxima “Planejamento, Pilotagem e Prevenção de Problemas”:

- Planejamento. Mudar ou concertar um processo exige fortes habilidades gerenciais. Ter um plano solido de implementação que abranja ações, recursos e comunicação é fundamental.
- Pilotagem. Experimentar soluções em escala limitada é obrigatória. As chances de problemas imprevistos são altas, e a “curva de aprendizagem” pode ser acentuada quando se muda de uma nova maneira de fazer as coisas.
- Prevenção de Problemas. Pensar em todos os riscos possíveis na implantação da ação a ser tomada, é fundamental para assegurar que a equipe pensou no maior número de dificuldades possíveis.

### **2.2.5 Etapa *Control* (controlar)**

Nesta última fase do DMAIC é onde é feito um monitoramento e acompanhamento se as metas definidas na fase Definir foram cumpridas. Segundo Werkema (2012), caso a meta não tenha sido atingida deve-se retornar a fase M (medir) do DMAIC.

Nesta etapa é também onde tem-se que criar um plano de monitoramento da performance do processo atual, criar planos de ações corretivas afim de garantir se alguma mudança no desempenho do processo ocorre, possa-se atuar de forma mais precisa.

Pois segundo Rotondaro (2008), todo processo tende a desordem, mesmo que esteja sob controle, no entanto é necessário ser definido como serão feitos os controles e validar um sistema de medição e controle para monitorar continuamente o processo.

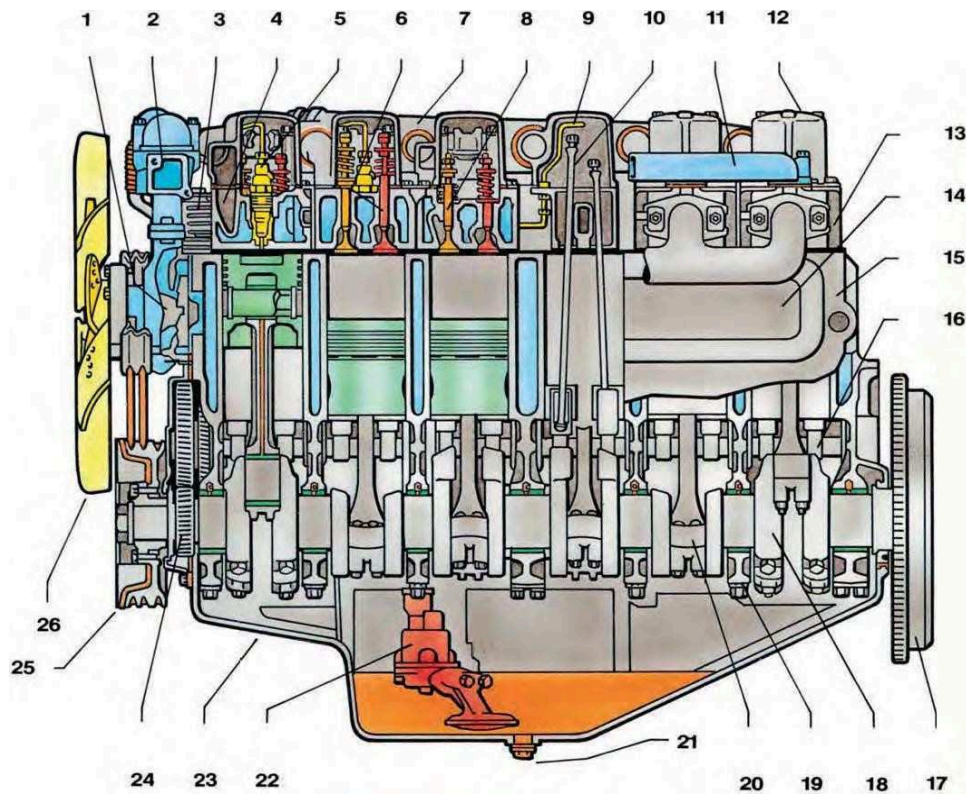
Ao final deve-se documentar todas as mudanças e melhorias feitas afim de gerar um histórico.



## 2.3 PRINCIPAIS COMPONENTES DE MOTORES AUTOMOTIVOS

Abaixo são listados alguns dos principais componentes de um motor a combustão

**Figura 6 - Componentes do Motor a Combustão**



**Fonte: Manual técnico curso de motores Mahle (2016)**

- 01 — Bomba-D'água
- 02 — Termostato da água de refrigeração ou válvula termostática
- 03 — Compressor de ar
- 04 — Duto de admissão
- 05 — Bico injetor
- 06 — Válvula de escape
- 07 — Coletor de admissão
- 08 — Válvula de admissão
- 09 — Linha de injeção de combustível
- 10 — Vareta de válvula
- 11 — Duto de saída de água de refrigeração

- 12 — Tampa de válvula
- 13 — Cabeçote
- 14 — Tampa lateral do bloco
- 15 — Bloco do motor
- 16 — Eixo comando de válvulas
- 17 — Volante
- 18 — Eixo virabrequim
- 19 — Capa do mancal principal
- 20 — Biela
- 21 — Bujão de escoamento do óleo do cárter
- 22 — Bomba de óleo
- 23 — Carter
- 24 — Engrenagem do eixo virabrequim
- 25 — Polia anti-vibradora
- 26 — Hélice

Os componentes dos motores são divididos em estacionários e moveis segundo Manual técnico curso de motores Mahle (2016):

### **2.3.1. Estacionários**

- Bloco

É o motor propriamente dito, no qual estão localizados os cilindros ou os furos para a colocação das camisas. Os motores arrefecidos a ar levam cilindros aletados separados do bloco. Na parte inferior do bloco estão localizados os alojamentos dos mancais centrais onde se apoia o virabrequim e em muitos casos o eixo comando de válvulas. Nos motores horizontais de cilindros contrapostos, o virabrequim está posicionado no centro do bloco (carcaça). Este por sua vez é composto de duas partes justapostas, fixadas por parafusos.

- Cabeçote

Serve de tampa dos cilindros, contra a qual o pistão comprime a mistura combustível/ar. Suporta o conjunto de válvulas e em alguns casos também o eixo comando de válvulas

- Cárter

Tampa inferior do bloco, que protege os componentes inferiores do motor. É onde está depositado o óleo lubrificante.

- Coletor de admissão

Recebe e distribui aos cilindros a mistura (Ciclo Otto) ou o ar (Ciclo Diesel) aspirado pelo pistão, através do filtro de ar.

- Coletor de escape

Recebe os gases queimados para lançá-los à atmosfera através do tubo de escape e silencioso.

### 2.3.2. Moveis

- Biela

Braço de ligação entre o pistão e o virabrequim; recebe o impulso do pistão, transmitindo-o ao virabrequim. É importante salientar que este conjunto transforma o movimento retilíneo alternado do pistão em movimento rotativo do virabrequim

- Pistão

É a parte móvel da câmara de combustão. Recebe a força de expansão dos gases queimados, transmitindo-a à biela, por intermédio de um pino de aço (pino do pistão). Em geral o pistão é fabricado em liga de alumínio.

- Anéis

Compensam a folga entre o pistão e o cilindro, dando a vedação necessária para uma boa compressão do motor e um melhor rendimento térmico.

- Virabrequim

Eixo motor propriamente dito, o qual na maioria das vezes é instalado na parte inferior do bloco, recebendo ainda as bielas que lhe imprimem movimento. Somente em motores de grande porte o virabrequim é instalado no cárter.

- Bomba-D'água

Mecanismo destinado a efetuar a circulação de água pelo motor e radiador, para arrefecimento do motor

- Válvulas

Válvula de Admissão: tem a finalidade de permitir a entrada da mistura combustível/ar (somente ar no motor diesel) no interior do cilindro.

Válvula de Escape: tem a finalidade de permitir a saída dos gases queimados.

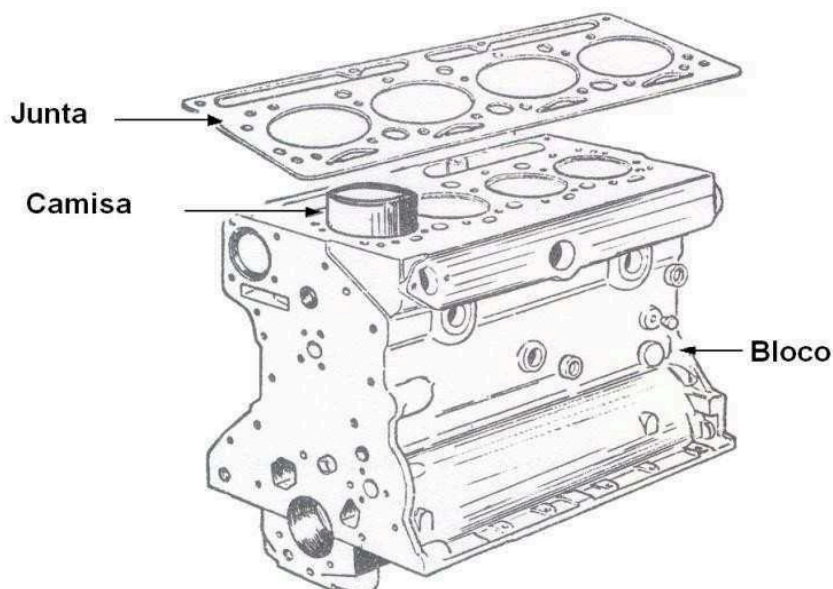
- Bomba de óleo

Mecanismo cuja finalidade é bombear o óleo do cárter e enviá-lo, sob pressão, aos diversos pontos do motor que necessitam de lubrificação. Existem vários tipos de bombas de óleo, sendo a de engrenagem a mais utilizada.

## 2.4. O bloco e suas características

Na Figura 7 é mostrado o bloco, segundo a apostila de motores a combustão UFPEL (2013) ele é a maior parte do motor que sustenta todas as outras partes. São normalmente construídos de ferro fundido, mas a este podem ser adicionados outros elementos para melhorar suas propriedades. Alguns blocos possuem tubos removíveis que formam as paredes dos cilindros, chamadas de “camisas”. Estas camisas podem ser “úmidas” ou “secas”, conforme entrem ou não em contato com a água de refrigeração do motor.

Figura 7 - Bloco do motor



Fonte: Apostila de motores a combustão – UFPEL (2013)

Segundo apostila de motores de combustão Interna e seus Sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia (2013), a construção do bloco envolve requisitos tecnológicos que levam em consideração o modelo do motor, as altas temperaturas, as pressões de trabalho e as características do material, tais como dilatação e contração. Após a fundição, o bloco passa por processo térmico de normalização e, após, é encaminhado para usinagem.

Segundo a apostila Motores de combustão interna e seus sistemas (2013), o bloco é usinado para permitir a passagem do óleo e da água que farão parte dos sistemas de lubrificação e de arrefecimento respectivamente e da montagem dos demais componentes que serão acoplados a ele: árvore do comando de válvulas, cabeçote, cárter, etc.

Ainda segundo a apostila Motores de combustão interna e seus sistemas (2013) os materiais utilizados no bloco do motor incluem o ferro fundido, alumínio fundido, alumínio forjado e aço forjado usualmente soldados. O tipo apropriado depende, principalmente, das considerações do tipo de motor e dos custos de fabricação.

Motores modernos utilizam o alumínio e ligas em lugar do ferro fundido, obtendo como principais resultados melhor dissipação de calor e redução do peso.

Ainda conforme a apostila alguns blocos possuem cilindros removíveis em formato de tubos os quais formam as paredes do cilindro no bloco propriamente dito, denominados “camisas”, como mostra a Figura 8. As camisas podem ser úmidas, quando o líquido de arrefecimento está em contato direto com a camisa e que entre si trocam calor; ou secas, quando o líquido de arrefecimento não está em contato direto com a camisa.

**Figura 8 - Camisa do Cilindro**



**Fonte: Mahle (2007)**

Na parte inferior do bloco estão os alojamentos dos mancais centrais, onde se apoia o eixo de manivelas ou virabrequim.

Conforme a apostila quando os cilindros são fixos no bloco, formando uma só peça, dizemos que o bloco é integral, também chamado de monobloco. O bloco integral, quando comparado aos de cilindros substituíveis (camisados), apresenta desvantagem de só poder ser submetido a um número limitado de retificas em seus cilindros, devido a diminuição da espessura de suas paredes. Em casos extremos, quando o bloco integral não suportar mais retificas, pode-se efetuar o encamisamento, isto é, o bloco é retificado e um cilindro de menor diâmetro é prensado dentro dele, como se fosse um cilindro substituível.

## **2.5. Principais problemas que podem ocorrer na fabricação dos blocos**

Segundo apostila Motores de Combustão Interna e seus Sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (2013) o bloco é considerado a parte estrutural mais importante e complexa do motor existe a necessidade de um processo de fabricação e um controle técnico confiável e sob controle afim de garantir que as particularidades desses processos sejam feitas com a melhor qualidade possível.

No entanto quando não temos um processo sob controle há possibilidades de ocorrerem problemas, este trabalho irá focar nos problemas na linha de usinagem da fabricação do bloco, onde se viu a oportunidade de melhoria na escolha do projeto seis sigma.

Abaixo serão listados alguns dos problemas observados pelo autor durante processo que possivelmente podem afetar o problema do trabalho em questão:

- a) Durante a produção do centro de usinagem ocorre falha de falta de alta pressão no óleo refrigerante e um grande vazamento na traseira da máquina, após a chegada da manutenção é aberta a porta traseira da máquina e verificado as mangueiras de óleo refrigerante e a união rotativa da máquina para saber qual está com vazamento, após a identificação é feita a troca da união ou a troca da mangueira sendo que está em alguns casos pode ser reparada.

- b) Durante a produção a retifica começa a variar medida, circularidade e os métodos de correção da máquina não conseguem corrigir, o equipamento então é parado pela manutenção de conferido pressões de fixação, o rebolo, o diamante entre outros, após a identificação do problema se começa a agir, assim o problema pode ser desde de um pequeno ajuste de pressão até uma parada maior para a troca do rebolo.
- c) Durante a produção a roletadeira começa a falhar por posição de fixação, após a chegada da manutenção é conferida a altura do braço, limpeza de encoder, a fixação do mesmo, vazamentos, os rolamentos entre outros, após a identificação é feita a correção a partir de uma correção no braço de fixação da peça até a desmontagem completa do mesmo para se trocar o rolamento axial.
- d) Durante produção o torno tem uma colisão entre o disco de ferramentas e a peça de virabrequim bruta chegando a quebrar um cassete porta ferramenta, após a chegada da manutenção a primeira ação a ser tomada é a verificação da placa e do disco para ver se não saíram da posição zero. Isso é feito com dois padrões que são fixados, um entre pontos na placa e outro no encosto do disco de ferramenta, utiliza-se um relógio apalpador preso em uma base magnética que é encostado no padrão e movimentado por todo o comprimento do padrão. Assim que a verificação é feita observa-se se ela está dentro da tolerância de 0,02 mm caso esteja fora feito a ação de corrigir o alinhamento do cabeçote da placa que colidiu, logo após o alinhamento entre os pontos da placa e por último o alinhamento do disco de ferramenta.
- e) Durante produção do bloco no CNC ocorre uma colisão durante a retirada de uma peça dentro da máquina empenando assim sua garra de fixação, assim que manutenção chega é feita a desmontagem da garra para ser feito a troca por uma nova, caso não haja uma nova a garra é retirada e levada para a ferramentaria para ser desempenada, caso seja algo mais grave chega-se a soldar a mesma devido à quebra e logo após colocada na fresa para nivelar, feito esse procedimento ela é montada novamente e feitos teste de fixação para se liberar a máquina.
- f) Durante a produção é informado que o furo da cavilha no centro de usinagem está ovalizado, após a chegada da manutenção são feitos alguns testes com

inversão de ferramentas de um fuso com o outro e/ou a troca por uma ferramenta nova, caso isso não funcione é feita a medição de força de fixação do fuso arvore que está ovalizando além da verificação de alinhamento do mesmo, no caso da constatação de algum dos dois problemas é dado início a retirada do fuso, se o problema for força de fixação é feita a troca da mola helicoidal ou mola prato dependendo do tipo do fuso, no caso de alinhamento é feito a troca do cone de fixação ou dos rolamentos de contato angular (caso eles estiverem danificados durante alta rotação perdem a precisão e causam vibrações).

- g) Durante a produção os operadores que inspecionam as peças no final da linha reclamam que a peça está com alguns cavacos em seus furos de lubrificação desse modo a lavadora não está lavando corretamente e a manutenção é chamada para verificar qual o problema, entre os possíveis problemas podem ser a falta de bicos de lavagem, a abertura de um bico ocasionando assim a perda de pressão no mesmo, alguma colisão entre o robô de lavagem com a peça ocasionando assim a quebra ou o empenamento da lança, ou problema com a bomba de alta pressão. Assim após a verificação as possíveis soluções são a troca da bomba de alta pressão, troca dos bicos e/ou troca da lança de lavagem.



### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo é apresentado a metodologia de pesquisa, os métodos e técnicas que foram utilizadas para a obtenção de dados usados para desenvolver o trabalho de pesquisa.

A metodologia utilizada para desenvolver a pesquisa foi a exploratória quantitativa, onde foi coletado dados numéricos por meio de consulta aos dados já coletados pelos setores de Engenharia Produção da empresa durante o ano de 2018, compreendendo os meses de janeiro a junho. Esses dados foram coletados para avaliação do nível sigma do processo.

Segundo Gil (1999), a pesquisa exploratória tem como objeto principal desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores.

Também foram necessárias reuniões de brainstorm com diversos setores da empresa, afim de reunir as melhores ideias de possíveis causas de problemas levantados na etapa de análise e conseqüentemente definir os planos de ação.

Assim ao final da coletada de dados, eles foram tratados por meio da aplicação das 5 etapas do método DMAIC, no intuito de gerar conclusões sobre o problema em estudo.

#### **3.1 Descrição do objeto do estudo**

Como já foi mencionado anteriormente o presente trabalho se trata de um estudo de caso realizado em uma empresa de grande porte na região do Vale do Paraíba, cuja principal atividade é a de usinagem e montagem de motores automobilísticos, cuja produção é em série devido as necessidades do mercado tanto interno como externo.

Os dados, nomes de maquinas, ferramentas e processos utilizados para a realização do estudo e da metodologia DMAIC serão maquiados afim de preservar a sigiliosidade da empresa, cujo nome será identificado com empresa X no trabalho.

A empresa X está localizada a 130 km da capital paulista, ela é uma das pioneiras no Brasil na fabricação de motores, transmissões e componentes automotivos. Ela tem capacidade anual para produção de 430 mil motores e 430 mil transmissões, utilizando os mais modernos processos de fundição, usinagem e montagem.

Dentre seus produtos se destaca a linha de motores Delta, considerada a mais moderna da empresa X em todo o mundo, pois é o primeiro motor flex a ser produzido com bloco, cabeçote, cárter e pistões de alumínio, é leve, durável, econômico e produz baixo nível de ruído e emissões.

Também merece destaque a renomada família de motores Beta, desenvolvida para oferecer alto desempenho e economia, com a mais avançada tecnologia flex, além da transmissão Gama que prima pela suavidade de engate e operação silenciosa.

Devido a produção puxada e o alto índice de ocorrências de problemas de usinagem na linha de fabricação do bloco do motor em decorrência do alto custo de motores refugados, foi necessária a abertura do projeto com a introdução de melhoria seguindo a metodologia seis sigma.

## 4 DESENVOLVIMENTO

A primeira etapa do desenvolvimento desse estudo de caso foi seguir rigorosamente os passos do DMAIC:

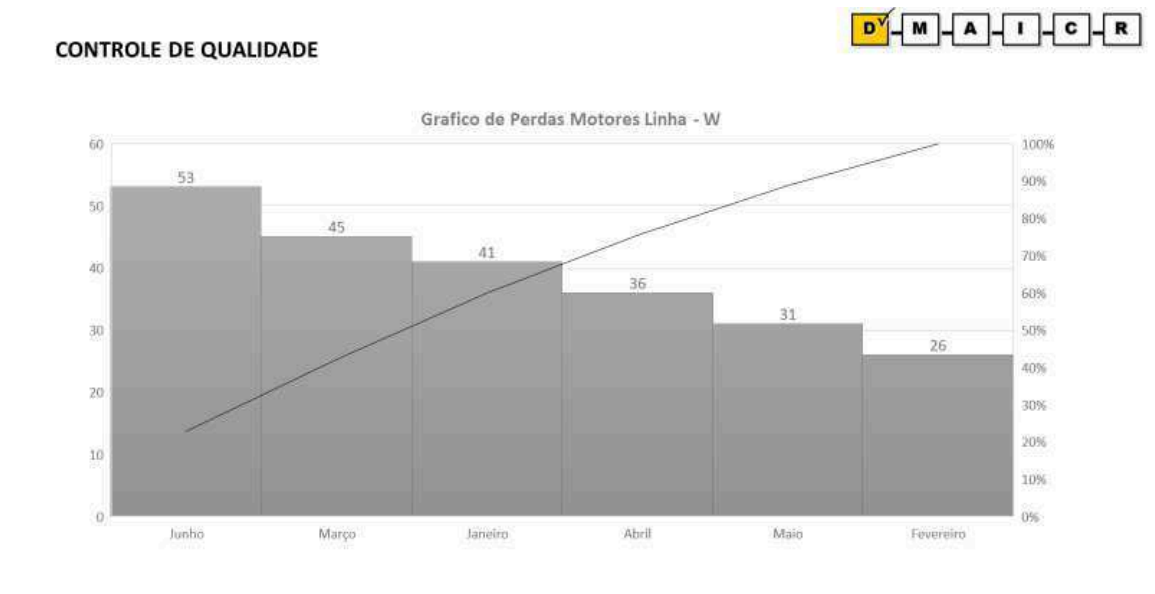
### 4.1 Definir

Nesta fase é onde foi levantada a área de atuação de aplicação das ferramentas da metodologia DMAIC, como o problema a ser tratado já foi identificado por ser um item crítico para a etapa posterior do processo. No entanto foram medidas a quantidade de blocos refugados e o custo perdido durante o período.

Assim foi traçado o plano para esta etapa:

- Será levantado a quantidade de blocos refugados nas três linhas de usinagem existentes na empresa (w, y e z).
- Será realizada o mapeamento do processo da linha com o maior índice de refugos afim de realizar a estratificação das perdas causadas nas máquinas de usinagem do bloco.
- Com base nos dados acima, será definido a área onde irá ser aplicado os esforços e o objetivo do projeto será mensurado.

**Figura 9 - Pareto de perdas de motores refugados pela incorreta gravação do número do motor no bloco Linha - W**



**Fonte – Elaborado pelo autor**

Na Figura 9 é mostrado a quantidade de motores refugados devido ao erro ou não gravação correta do número do motor no bloco, o autor do presente trabalho teve acesso aos dados dos primeiros 6 meses do ano, onde se consegue observar um aumento significativo no mês de junho com 53 motores refugados.

Na Figura 10 é mostrado situação similar, onde foi realizado o levantamento de motores refugados na linha Y, no entanto a porcentagem de scrap foi bem menor se comparado com o período de 6 meses da linha W.

É notório perceber que o número de refugo não representa grande impacto para a produção já que a quantidade de motores produzidas nos 6 meses foi de 40000 mil motores aproximadamente, ou seja, apenas 0,6% de scrap se dividirmos a quantidade de motores refugados na linha W, 232, pela quantidade produzida.

**Figura 10 - Pareto de perdas de motores refugados pela incorreta gravação do número do motor no bloco Linha - Y**



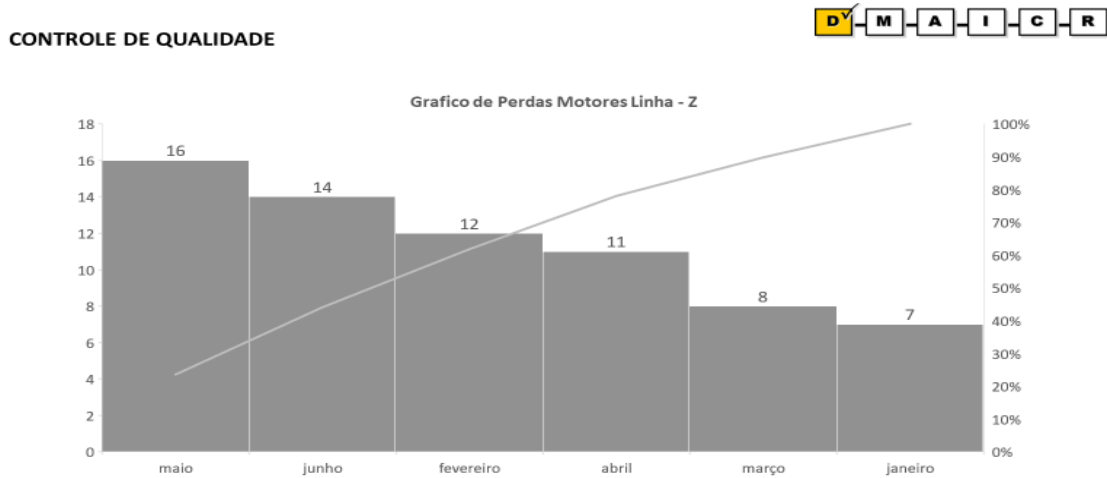
**Fonte: Elaborado pelo Autor**

Assim como na linha Y, o levantamento de motores refugados na linha Z devido ao problema de gravação do número do motor no bloco foi irrelevante se comparada a linha W, como pode-se observar na Figura 11.

Como já foi dito, não se trata de um problema que afete a quantidade de produtos produzidos na produção, no entanto é um problema que afeta tanto a parte de qualidade quanto a de custos devido ao refugo de motores que possuem elevado custo de matéria prima para realiza-los. Um motor refugado em média tem um custo de aproximadamente de R\$ 5000,00 para a companhia, e se calcularmos o custo total nos primeiros 6 meses do ano devido ao problema de gravação do número do motor no bloco na linha W com maiores índices de refugos, a companhia já obteve um prejuízo de R\$1.160,000.

Com isso, qualquer ação de melhoria que consiga abaixar esse indicativo de perda já é de grande valia para a empresa trazendo um retorno significativo.

**Figura 11 - Pareto de perdas de motores refugados pela incorreta gravação do número do motor no bloco Linha - Z**

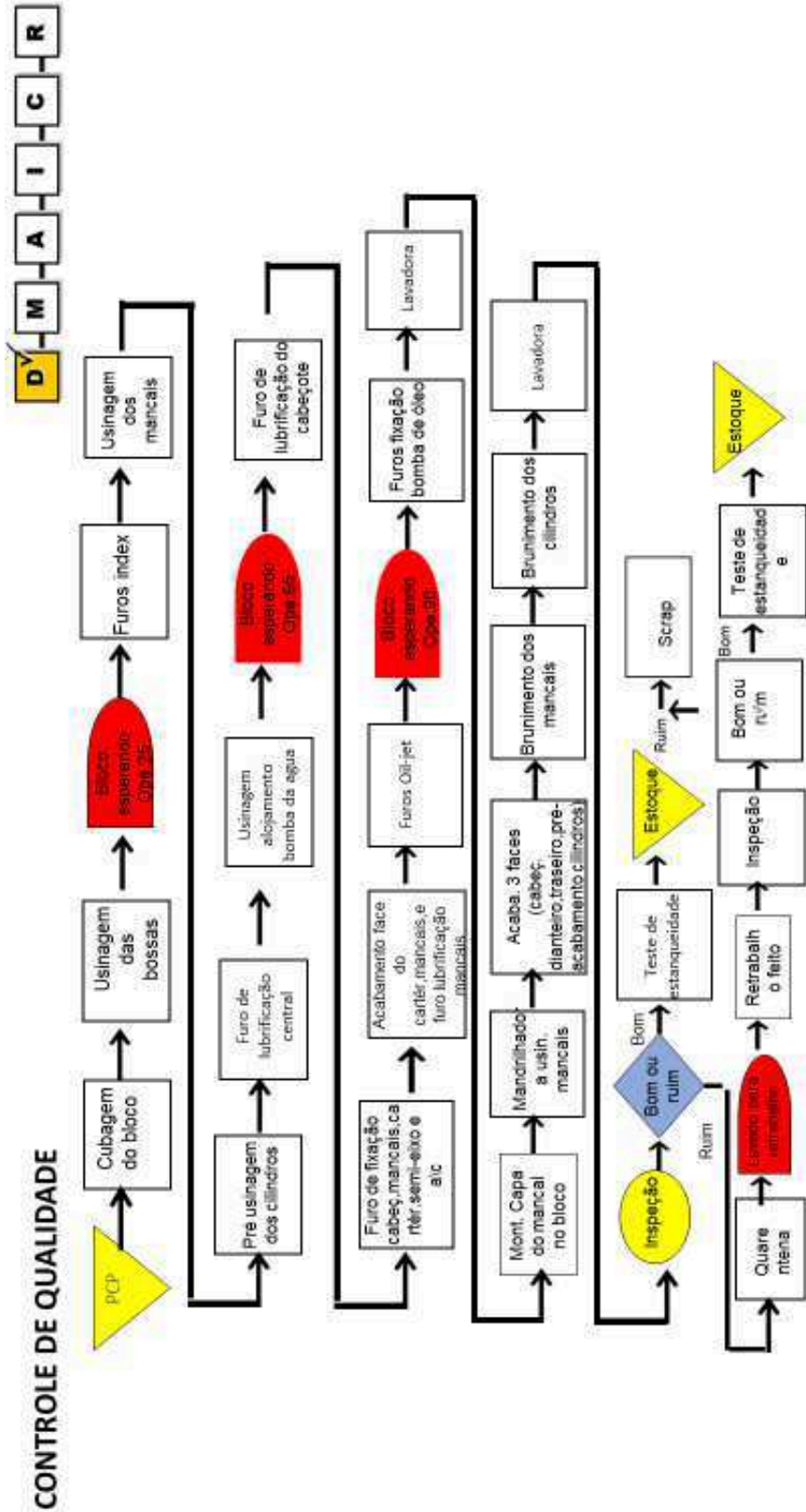


**Fonte: Elaborado pelo Autor**

Assim foi definido a linha W como a região que será aplicada a ferramenta DMAIC para se tentar diminuir a quantidade de refugos e conseqüentemente a diminuição nos custos.

Seguindo o plano traçado para esta fase, após ser definida a linha em que será aplicada os esforços, é necessário realizar o mapeamento do processo da linha escolhida (linha W) para se realizar a estratificação das perdas em regiões mais específicas, afim de determinar o escopo do trabalho. Na Figura 12 a seguir mostra o mapeamento realizado na linha W.

Figura 12 - Mapeamento do processo da linha W



Fonte: Elaborado pelo Autor

Na linha W é realizada o processo de usinagem do bloco do motor em 20 operações mantidas em sequência seguindo um fluxo de produção, na qual é realizada todo processo de desbaste e retirada de material, furação e lavagem para remoção de cavacos, onde é entregue o bloco pronto para as próximas operações de montagem de utensílios.

Nesta fase afim de evitar o planejamento desnecessário e conseqüentemente perda de tempo por se tratar de muitas variáveis de locais como possível berço para o problema de gravação do número do motor no bloco, foi realizado o levantamento dessas perdas através do diário de bordo de cada estação da linha. Esse diário é preenchido pelos operadores sempre que detectam algum tipo de problema ou anomalias nas máquinas assim como o tempo que as mesmas ficaram paradas.

Assim com os dados de cada estação nos primeiros 6 meses do ano, foi possível realizar um gráfico de barras das perdas e priorizar aquela onde nasce o problema. No quadro 2 se pode observar todas as estações da linha W.

**Quadro 2 - Estações linha W**

Estação	Processo
10	Cubagem do bloco
20	Fresamento da fase do fogo
30	Furos index
40	Usinagem dos mancais
50	Pré usinagem dos cilindros
60	Furo de lubrificação central
70	Usinagem alojamento bomba da água
80	Furo de lubrificação do cabeçote
90	Furo de fixação cabeçote,mancais,cartér,semi-eixo e ar-condicionado
100	Acabamento face do cartér,mancais,e furo lubrificação mancais
110	Furos Oil-jet
120	Furos fixação bomba de óleo
130	Lavadora
140	Montagem da capa do mancal no bloco
150	Mandrilhadora mancais
160	Acabamento das 3 faces (cabeçote dianteiro,traseiro,pré-acabamento cilindros)
170	Brunimento dos mancais
180	Brunimento dos cilindros
190	Lavadora
200	Teste de estanqueidade

**Fonte: Elaborado pelo Autor**

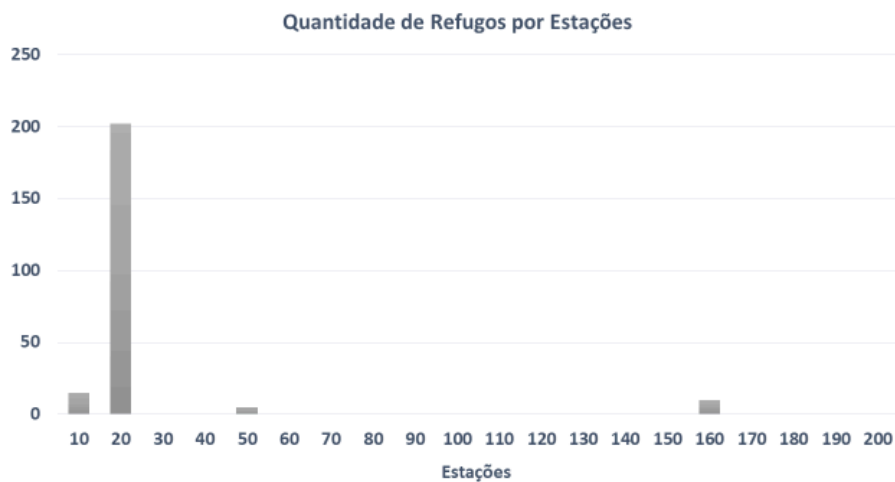


Com o rastreamento dos dados pode-se observar na Figura 13, que a estação que obteve maior índice de refugos foi na estação 20, onde é realizada o fresamento do Vinpad, essa é uma importante região onde requer um elevado grau de precisão e acabamento, e também nesta face é onde é realizada a gravação no número do motor. Ou seja, qualquer erro de usinagem que afete o comprimento ou largura dessa face ira gerar um problema de gravação na operação seguinte, gerando como consequência o refugo do bloco.

**Figura 13 - Quantidade de motores refugados por estações**

CONTROLE DE QUALIDADE

**D** M A I C R



**Fonte: Elaborado pelo Autor**

Assim podemos definir como meta para o projeto a redução em pelo menos 30% do número de refugos de motores scrapeados pela incorreta gravação no número do motor no bloco na linha W estação 20 que realiza o fresamento do Vinpad, reduzindo também os custos com as perdas de motores.

## 4.2 Medir

Esta fase é considerada de grande relevância para o sucesso do projeto, pois as medições realizadas são as que realmente impactam tanto em custo como em qualidade para o cliente tanto interno como externo. Nela há de ter uma grande confiabilidade dos dados coletados no intuito de os mesmos fornecerem uma correta forma de priorizar o problema.

Assim para esta fase foi realizado o diagrama de Ishikawa ou diagrama “espinha de peixe” conforme Figura 14, para analisar os possíveis problemas da incorreta gravação do número do motor no bloco na estação de fresamento do Vinpad da linha W. Para este foi processo foi realizado a técnica do brainstorm, onde foram levantadas as possíveis causas para o problema.

**Figura 14 - Espinha de peixe para falha de gravação do número do motor no bloco - estação 20 da linha W**



Fonte: Elaborado pelo autor

Após realizar o diagrama de Ishikawa, foi necessário avaliar e priorizar as causas discutidas, pontuando-as e ranqueando-as as causas mais relevantes para assim construir a matriz de causa e efeito conforme mostrado na Figura 15.

Figura 15 - Diagrama de causa e efeito para problema de gravação do número do motor no bloco - estação 20 linha W

CONTROLE DE QUALIDADE

D - M<sup>✓</sup> - A - I - C - R

Cause & Effect Matrix		
Rating of Importance to Customer	9	
Process Inputs	Largura do vinpad maior/menor	Total
Critérios de pontuação: Baixa : 1 Média : 3 Alta : 9		
1 Peça mal fixada	3	27
2 Preset incorreto	1	9
3 Folga nos eixos	9	81
4 Calibrador não certificado	3	27
5 Ajuste de programa	1	9
6 Falta de treinamento	3	27
7 Fixação do pallet	3	27
8 Folga no index do pallet	3	27
9 Folga no index do calibrador	3	27
10 Vida útil da ferramenta	1	9
11 Programação	1	9
12 Falha no Air check	9	81
<b>Total</b>		<b>432</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Com isso foi possível montar o gráfico de Pareto priorizando as causas mais relevantes discutidas com o time. Na Figura 16 podemos observar que foram duas causas que obtiveram um maior número de frequência de ocorrências. A primeira foi a falha no Air check do dispositivo de apoio do bloco, este serve especificamente para verificar se a peça está fixada na posição zero para ser usinada. Ou seja, caso o bloco não esteja completamente apoiado na superfície da máquina, há uma grande chance de a usinagem sair deslocada ou até mesmo podendo quebrar uma ferramenta.

A segunda causa mais relevante foi a folga nos eixos do fuso do manipulador de ferramentas, o magazine, onde são colocadas todas as ferramentas que serão utilizadas no processo de usinagem do bloco desta estação. Assim a usinagem sai deslocada devido a não fixação correta das ferramentas, e dependendo do ângulo de deslocamento é possível que a ferramenta quebre ao entrar em contato com a peça.

Figura 16 - Gráfico de Pareto para possíveis causas do problema de usinagem do Vinpad

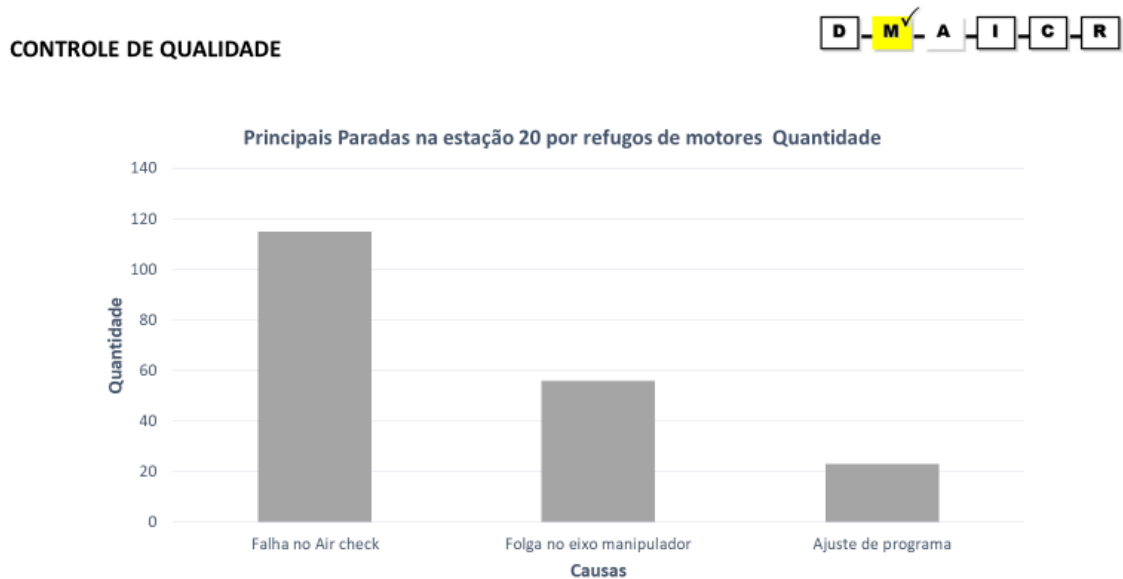


Fonte: Elaborado pelo autor

Assim é possível priorizar as principais causas prováveis que são mais relevantes ao problema de usinagem do Vinpad que foi a falha no Air check e a folga nos eixos dos manipuladores.

Com isso a partir do gerenciador de produção conseguimos medir através do gráfico de barras conforme Figura 17 a quantidade de número de paradas devido a essas causas mais relevantes. Dos 232 motores refugados nos primeiros 6 meses do ano na linha W estação 20, 115 foram devidos a falha no Air check da máquina. 56 foram pela folga nos eixos do manipulador de ferramentas e 23 foram por ajustes de programas de usinagem, este último será tratado como sendo uma inabilidade do programador.

**Figura 17 - Principais causas do problema na estação 20**



Fonte: Elaborado pelo autor

### 4.3 Analisar

Nesta fase é onde será analisada e assim comprovada a validação dos dados coletados na fase medir. Existem inúmeras oportunidades de erro ou causas para o possível problema, no entanto para a sequência deste trabalho serão analisadas as causas mais relevantes levantadas através do gráfico espinha de peixe e ponderadas na matriz de causa e efeito na fase anterior.

Assim iniciando essa etapa, para diminuir a quantidade de refugos de blocos foi realizado um check list listados abaixo visando sanar as principais causas geradoras do problema.

- Falha no Air Check, foi analisado e constatado que não foi verificado se o bloco estava fixado corretamente devido ao não funcionamento do sinal de alarme sonoro, este é acionado quando a algum vazamento de ar ocorre na válvula que regula o dispositivo de fixação do bloco, conseqüentemente isso causou uma usinagem deslocada da região do Vinpad causando uma incorreta gravação do número do motor na operação seguinte. Isto mostrou que o sistema está desregulado, necessitando de uma aferição mais concisa.

- Falha no eixo manipulador de ferramentas, foi analisado que no fuso da máquina a uma falha de posicionamento devido ao posicionamento da fresa estar deslocado, essa posição é verificada realizando o preset da máquina onde é verificado a referência dos eixos da máquina (X, Y e Z), quando ocorre uma parada de linha devido à falta de energia na fábrica por exemplo, essa referência é perdida tendo que ser refeita novamente. Ou seja, ocasionando a usinagem deslocada. Outro problema também identificado no eixo foi o desgaste de seus rolamentos devido a vibração elevada do eixo da máquina estar deslocada em pelo menos 0,5 milímetros do zero absoluto que é usado como referência para realizar o preset. Foi também constatado que não há um cronograma de manutenção preventiva para a troca dos rolamentos e uma preditiva para a análise de vibração do eixo.
- Já no ajuste de programa da máquina, houve um erro de programação por parte do programador, onde não foi considerado que quando ocorre o desligamento do equipamento é necessário realizar o zeramento da posição de fixação do bloco, ou seja, tem-se que ajustar o programa de usinagem para a nova posição.

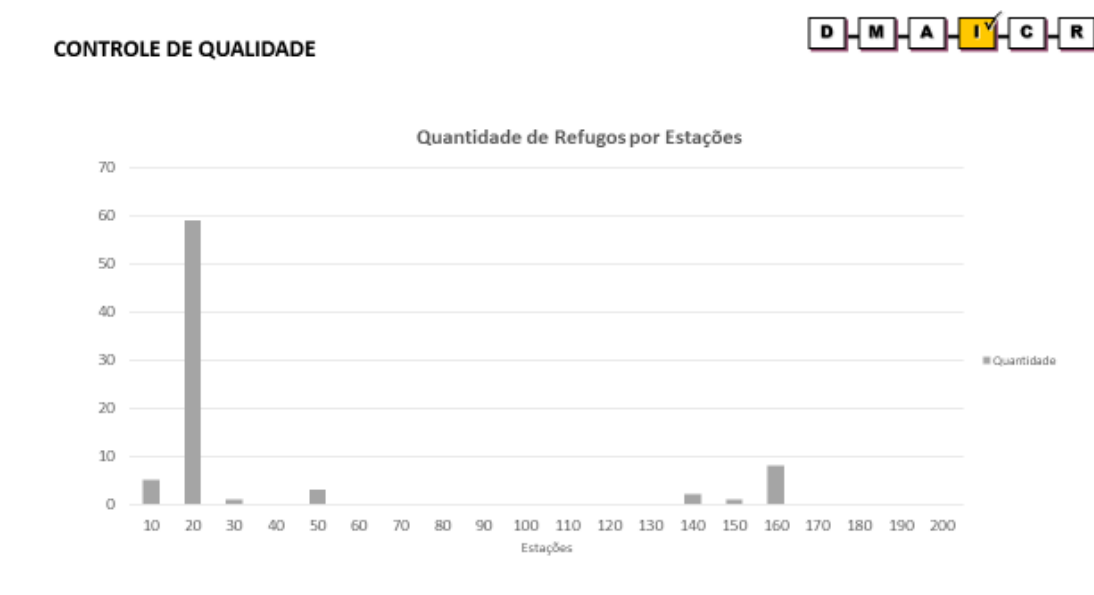
#### **4.4 Implementar**

Esta é a fase onde implementamos as ações definidas para reduzir os custos pertinentes ao processo e conseqüentemente a quantidade de refugos de motores devido ao problema de usinagem na região do Vinpad, com base nos dados da fase anterior, foi realizado o plano das ações de melhorias e após a implantação dos mesmos se pode observar que assim que foram levantados o número de motores refugados na estação 20 que tinha a maior concentração de perdas na linha, utilizando-se do mesmo modo de rastreamento do levantamento anterior, ficou evidenciado que as ações realizadas puderam suprir o problema de forma significativa.

Também foram levantados os ganhos em relação aos custos com as perdas, onde foi atendida a premissa definida que qualquer ganho com a redução de refugos já é de grande valia devido ao alto custo de motores refugados no processo.

Fazendo uma comparação com o gráfico de barras da Figura 13 de refugos de blocos na estação 20 antes da implementação das ações com o gráfico de barras da Figura 18 após a implantação das ações, se observa o esforço dos planos de melhoria em reduzir o erro de usinagem na região do Vinpad, onde houve uma redução 65% de motores refugados na estação 20 após a implantação das melhorias em relação aos primeiros 6 meses do ano.

**Figura 18 - Quantidade de motores refugados por estações**



**Fonte: Elaborado pelo autor**

Apesar de que a estação 20 ainda continue sendo o gargalo do processo, ou seja, com maiores quantidades de motores refugados, com a implantação das melhorias do plano de ação representou um impacto significativo para as contas da companhia conforme se observa na Figura 19.

Observa-se que logo após o mês de junho, após o começo das ações de melhoria, começaram a surgir os custos evitados em comparação com os meses anteriores. No mês de junho onde representa o maior valor gasto R\$ 265.000,00 com refugos. Já no mês de julho houve uma redução do custo com refugos para R\$ 125.000,00. E assim seguiu-se nos meses de agosto e setembro, com custos de refugos de R\$ 95.000,00 e R\$ 75.000,00 respectivamente, demonstrando a eficiência das ações realizadas.

Figura 19 - Evolução dos custos com refugos - estação 20



Fonte: Elaborado pelo autor

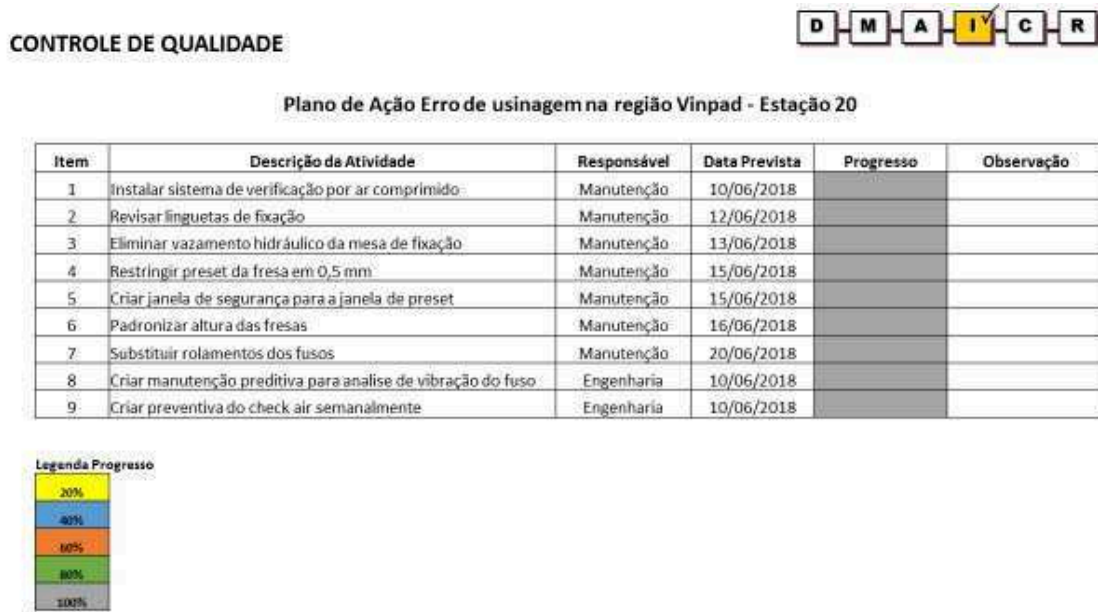
Assim na Figura 20, é apresentado o plano de ação com as propostas de melhorias para a redução do número de refugos de blocos na estação 20 da linha W. Foram realizadas as seguintes ações:

- a) Instalação de uma válvula reguladora de fluxo de ar comprimido, incluindo um manômetro medidor de pressão para medir sistema de ar comprimido com pressão máxima de 12 Bar.
- b) Realizou-se um *check list* para inspeção semanal assim como a pressão exercida nos pontos de fixação das linguetas da máquina envolvida neste processo e foi estabelecido um critério para a manutenção preventiva, onde a máxima folga a ser considerada é a de 0,06 mm, caso ultrapasse esse valor é recomendado que seja trocado por uma nova fixação.
- c) Em paralelo com a ação de revisar as linguetas de fixação, foi identificado um vazamento de óleo na bomba da mesa de fixação, ou seja, isso causava uma perda de pressão nas linguetas, assim foi instalado uma trava no registro da bomba para realizar o controle de fluido. Já aproveitando a ação, foi drenado o óleo antigo que já estava fora do prazo de manutenção preventiva e colocado um novo fluido.



- d) Foi adotado uma sistemática de acompanhamento de dados realizado no startup de cada turno da medida do preset do magazine da fresa de desbaste, levantados pelo operador da máquina, essa medida foi restringida a não ser maior que 0,5 mm.
- e) Foi criada uma janela de segurança com sensorização para restringir o preset da mesa. Foi identificado que a posição da mesa deslocada é um forte contribuinte para a usinagem deslocada da região de gravação do número do motor no bloco (Vinpap).
- f) Padronização da altura das fresas do magazine da máquina de usinagem, foi detectada que essa altura é comprometida por causa que existia uma folga da fresa com a pinça de indexação, o que caracterizava a ferramenta fora da posição. Assim foi trocado as pinças e criado um *check list* de verificação quinzenal da altura da fresa com uma chapelona padrão.
- g) Foi identificado um ruído no rolamento do fuso arvore da máquina de usinagem do bloco, o que caracteriza que o rolamento já possuía um desgaste ocasionando uma folga nas posições X, Y e Z da mesa. Assim foi realizada a troca do rolamento por um novo e observado se haveria ruído tanto as folgas nas posições, onde não foi detectado.
- h) Foi criada um plano de manutenção preditiva para análise de vibrações nos eixos X, Y e Z da mesa afim de observar se está havendo um desgaste prematuro dos componentes e evitar a quebra inesperada. Foi adquirida um medidor de vibração de frequências para realizar a manutenção.
- i) Foi criado um *check list* para realização de manutenção preventiva semanalmente no sistema de fixação check air, afim de observar a pressão do ar no sistema tanto como se há vazamento do mesmo.

**Figura 20 - Plano de ação fechado para as ações da linha de usinagem do bloco.**



**Fonte: Elaborado pelo autor.**

#### 4.5 Controlar

Nesta fase se pode observar que seguindo as fases criteriosamente do DMAIC, levaram a resultados importantes principalmente na redução de custos com refugos consequentemente diminuindo os gastos pertinentes ao processo mais especificamente na linha de usinagem do bloco do motor. A figura 21 representa uma planilha de controle do tipo check list que irá servir como uma ferramenta de análise que deverá ser preenchida pelo operador da respectiva máquina e consultada pelo responsável pela área.

Esse check list irá servir como uma ferramenta para o usuário realizar o startup da máquina, ou seja, terá que ser analisada cada início de turno resolvendo uma determinada pendencia se houver para assim se liberar o processo. Com isso o operador e o responsável pelo processo passam a ser responsáveis por acompanhar o indicador de perdas e consequentemente o impacto nos custos.



**CONTROLE DE QUALIDADE**

**Plano de Controle**

Número de Peça : 20.001		Protótipo		Página : 1							
Nome de Peça : Brico de Motor		Pré-lançamento		Emissão : 30/06/2018							
Tema : Linha W - montagem do bloco		Produção		Última Revisão : 30/07/2018							
Número	Nível Operação	Descrição	Espessura	H	Equipamento Medição / Padrão		Número de Ferramenta	Método de Controle	Folha de Instrução	Plano de Risco	
					Nome	Material					Quantidade
20.01	20	Pressão do sistema de verificação Check air	4.0 bar ± 1.0	H	-	Proscastato	ZT-1	1	Início de turno (1ª e 2ª)	Folha de registro operacional	1
20.01	20	Verificação de folga dos rolamentos do fuso	0.05 ± 0.02	H	-	Calibrador	ZT-5	1	2 vezes por semana	Instrução operacional	2
20.01	20	Inspecção se há vazamento hidráulico do mesa	0	H	-	Visual	-	1	Início de turno (1ª e 2ª)	Instrução operacional	3
20.01	20	Dimensão do furo da face de gravação (diâmetro)	0.25 ± 0.05	H	LP-3000	Tri-dimensional	KC-2010	30	A cada 2 horas	Carta X-barra	4
20.01	20	Dimensão do preter da mesa	0.05 ± 0.02	H	-	Calibrador	ZT-6	1	Início de turno (1ª e 2ª)	Folha de registro operacional	5
20.01	20	Verificação de folga da lingueta de fixação	0.06 ± 0.01	H	-	Calibrador	ZT-7	1	Início de turno (1ª e 2ª)	Folha de registro operacional	6
20.01	20	Dimensão da altura das frescas	0.05 ± 0.01	H	-	Calibrador	ZT-8	1	Início de turno (1ª e 2ª)	Folha de registro operacional	7

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.0 Resultados e Discussão

Ficou evidenciado neste trabalho os benefícios que a ferramenta DMAIC pode providenciar a médio e a longo prazo, um ponto fundamental também observado é que o apoio e envolvimento da gerencia está ligado claramente com o bom resultado do projeto assim como a formação de uma equipe multifuncional que irá participar do mesmo, todos devem ter o mesmo objetivo a se alcançar.

Com isso para este trabalho pode-se chegar as devidas conclusões:

- Utilizando criteriosamente as fases da ferramenta DMAIC contribuiu com diversas melhorias para a empresa, como por exemplo a diminuição de paradas técnicas de manutenções corretivas na máquina de usinagem do bloco do motor, contou também com a diminuição do número de refugos de blocos, comparando o mês de junho que teve a maior incidência de refugos na linha W, com 53 unidades, com o mês de setembro que teve apenas 15 unidades refugadas, ou seja houve uma evolução de 71% em relação a perdas, assim como a diminuição de custos devido ao mesmo, conforme os indicadores em média nos primeiros 6 meses se gastava R\$ 193.000,00 por mês com refugos e após a implantação do DMAIC esse valor caiu para R\$ 98.000,00 em média nos meses de julho, agosto e setembro, ou seja uma redução de aproximadamente 50% de custos evitados com refugos.
- Neste trabalho o autor pode vivenciar um projeto real de melhoria continua mesmo não estando presente nas ações em chão de fábrica, foi possível notar que para o sucesso do seis sigma exige muita dedicação e trabalho para seguir as fases da ferramenta DMAIC, além de adquirir uma capacidade de observar oportunidades de melhoria muitas vezes não simples de se identificar no dia a dia.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, S. **Integração das ferramentas ao PDCA e ao programa Seis Sigma**. Belo Horizonte: Editora DG, v.1, 2002.

APOSTILA DE MOTORES A COMBUSTÃO – UFPEL 2013. Disponível em <https://wp.ufpel.edu.br/mlaura/files/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combust%C3%A3o-Interna.pdf>. Acesso em 27 de março de 2018

BARNEY, M. **Motorola's Second generation. Six Sigma Forum Magazine**. Milwaukee, v.1 n.3, Maio 2002

BLAKESLEE JR., J.A. **Achieving quantum leaps in quality and competitiveness: implementing the Six Sigma solution in your company**. Proc. 53th Annual Quality Congress of the American Society for Quality, Anaheim, Califórnia, mai./99.

CARVALHO, Marly M.; PALADINI, Edson P..**Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

ECKES, G., **A Revolução seis sigma: O método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro**. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier 2001.

FALCONI, Vicente C. - **TQC Controle da Qualidade Total: no Estilo Japonês. 9.ed.** Belo Horizonte. Editora de Desenvolvimento Gerencial. 2002.

HARRY D., SCHROEDER, R. **Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the World's Top Corporation**. New York: Doubleday, 2000.

COMO CONSTRUIR ALTOS NÍVEIS DE MATURIDADE E DESEMPENHO. Disponível em < [http://www.isdbrasil.com.br/artigos/artigo\\_six\\_sigma.php](http://www.isdbrasil.com.br/artigos/artigo_six_sigma.php)>. Acesso em 28 de março de 2018.

ROTONDARO, Roberto G. et al. – **Seis Sigma. Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2008.

LINDERMAN, K., Schroeder, R.G., Zaheer, S., Choo, A. **Six Sigma: a goal-theoretic perspective**. Journal Operations Management, 21, 2003.  
MINITAB. Statistical Software. Versão 14.12.0. Minitab Inc

LEAN SIX SIGMA – MIDOMENECH 2005. Disponível em < <https://www.midomenech.com.br/lean-seis-sigma/downloads/artigos.html>>. Acesso em 25 de março de 2018

MANUAL TECNICO CURSO DE MOTORES - MAHLE 2016. Disponível em <[www.mahle-aftermarket.com/.../2016-04-19-manual-curso-de-motores-2016-2.pdf](http://www.mahle-aftermarket.com/.../2016-04-19-manual-curso-de-motores-2016-2.pdf)>. Acesso em 27 de março de 2018.

Motores de Combustão Interna e seus Sistemas - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA 2013. Disponível em <[https://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/.../motores\\_combustao\\_interna\\_e\\_seus\\_sistemas.pdf](https://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/.../motores_combustao_interna_e_seus_sistemas.pdf)>. Acesso em 4 de abril de 2018.

PANDE, P.; NEUMAN, R.; CAVANAGH, R. **Estratégia seis sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho.** Trad. Cristina Bazán Tecnologia e Linguística. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PFEIFER, T.; REISSIGER, W.; CANALES, C. **Integrating six sigma with quality management systems.** The TQM Magazine, v. 16, n. 4, p. 241-249, 2004.

WERKEMA, C. **Criando a Cultura Seis Sigma - Volume 1.** Werkema Editora, 2004.

WERKEMA, C. **Criando a Cultura Seis Sigma. Série Seis Sigma, Volume 1,** Elsevier, 2012.

WELCH, Jack, and John A. Byrne. **Jack: Straight from the Gut.** Warner Books, New York, 2001.