

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Ricardo Henrique Vieira**

**Aplicação da Metodologia Seis Sigma para Redução da  
Variabilidade da Espessura da Torre do Primeiro Mancal do  
Cabeçote do Motor ZR**

**Taubaté – SP**

**2017**

**Ricardo Henrique Vieira**

**Aplicação da Metodologia Seis Sigma para Redução da  
Variabilidade da Espessura da Torre do Primeiro Mancal do  
Cabeçote do Motor ZR**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção  
do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica do  
Departamento de Engenharia Mecânica da  
Universidade de Taubaté.

Orientadora: Profa. Maria Regina Hidalgo de  
Oliveira Lindgren

Co-orientador: Prof. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

**Taubaté – SP**

**2017**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado  
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

V658a      Vieira, Ricardo Henrique  
            Aplicação da metodologia seis sigma para redução da  
variabilidade da espessura da torre do primeiro mancal do  
cabecote do motor ZR. / Ricardo Henrique Vieira. - 2017.  
  
            41f. : il; 30 cm.  
  
            Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) –  
Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia  
Mecânica e Elétrica, 2017  
            Orientador: Profa. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira  
Lindgren,  
            Coorientador: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren,  
Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.  
  
            1. DMAIC. 2. Redução da variabilidade. 3. Seis sigma. I.  
Título.

Ricardo Henrique Vieira

Aplicação da Metodologia Seis Sigma para Redução da Variabilidade da Espessura da Torre do Primeiro Mancal do Cabeçote do Motor ZR

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

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

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

BANCA EXAMINADORA

Prof. \_\_\_\_\_

Universidade de Taubaté

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Assinatura \_\_\_\_\_

Dedico a minha família, em especial aos meus pais, que com muita paciência  
acreditaram e investiram em mim.

E a minha querida esposa, que com muito carinho e dedicação não mediu  
esforços para que eu alcança-se meus objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus professores pelo tempo e conhecimento dedicados ao meu crescimento e aprendizado, em especial aos meus orientadores pela paciência, amizade e oportunidades, especialmente durante este último ano de ensino. A minha família que sempre me incentivou e me deu a coragem necessária para alcançar as minhas metas, aos meu pais que não mediram esforços para que este sonho se realizasse. E a minha amada esposa que dedicou muito mais do que seu tempo e paciência nesta jornada ao meu lado, mas que esteve ao meu lado incondicionalmente, me incentivando quando eu precisava, me levantando quando caía e me dando todo seu amor e carinho quando eu mais precisei. A todos Amigos, familiares e educadores que de alguma forma fizeram parte da conclusão desta trajetória em minha vida, gostaria de dizer agora o meu muito obrigado. E que eu nada seria sem o pedacinho de vocês que deixaram comigo ao passarem por minha vida, fazendo de mim, o homem e profissional que sou hoje. Muito obrigado a todos.

VIEIRA, Ricardo Henrique. **Aplicação da Metodologia Seis Sigma para Redução da Variabilidade da Espessura da Torre do Primeiro Mancal do Cabeçote do Motor ZR**. 2017. xxx f. Trabalho de Graduação (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica – DEM, Universidade de Taubaté, Taubaté.

## **RESUMO**

O referido trabalho tem como objetivo apresentar a aplicabilidade do Seis Sigma em uma empresa automobilística, explicando a estratégia de aplicação e sua eficácia. O trabalho apresenta uma revisão sobre o Seis Sigma e o método DMAIC (definir, medir, analisar, melhorar e controlar), para a redução da variabilidade da espessura da torre do primeiro mancal do cabeçote do motor ZR, comentando-se os resultados.

**Palavras-chave:** (DMAIC; Redução da Variabilidade; Seis Sigma)

VIEIRA, Ricardo Henrique. **Application of Six Sigma Methodology to Reduce the Variability of the Tower Thickness of the First Rolling Bearing of the ZR Motor Head**. 2017. xxx p. Graduation work (Bachelor's degree in Mechanical Engineering) – Department of Mechanical Engineering – DEM, University of Taubaté, Taubaté, BRAZIL.

### **ABSTRACT**

The purpose of this paper is to present the applicability of Six Sigma in an automobile company, explaining the application strategy and its effectiveness. This paper presents a review on Six Sigma and the DMAIC method (define, measure, analyze, improve and control), to reduce the variability of the tower thickness of the first rolling bearing of the ZR motor head, commenting the results.

**Keywords:** (DMAIC; Reduction of Variability; Six Sigma)



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – DPMO de processos de curto e longo prazo .....	16
Tabela 2 – Etapas do DMAIC: ferramentas e objetivos .....	22
Tabela 3 – Comparação fases PDCA e DMAIC .....	22
Tabela 4 – Valores sobre o rejeito .....	38

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ordem cronológica do surgimento do seis sigma .....	14
Figura 2 – Comparação entre processos de curto e longo prazo .....	15
Figura 3 – Processos de longo prazo .....	16
Figura 4 – Relação entre equipes de projeto .....	19
Figura 5 – Etapa definir .....	23
Figura 6 – Etapa medir .....	24
Figura 7 – Etapa analisar .....	25
Figura 8 – Etapa melhorar .....	26
Figura 9 – Etapa controlar .....	27
Figura 10 – Torre do primeiro mancal .....	31
Figura 11 – Mapeamento do processo .....	32
Figura 12 – Gráficos de Ishikawa e Pareto .....	32
Figura 13 – Processo de medição – Gabarito .....	33
Figura 14 – Gráfico do processo antes .....	33
Figura 15 – Planilha de rendimento antes .....	34
Figura 16 – Análise de modo e efeito de falha potencial .....	34
Figura 17 – Cronograma plano de ação .....	35
Figura 18 – Gráfico do processo depois .....	35
Figura 19 – Plano de reação para quebra de ferramenta .....	36
Figura 20 – Planilha de rendimento depois .....	37
Figura 21 – Gráfico do processo antes e depois .....	37

## SUMÁRIO

Resumo .....	06
Abstract .....	07
Lista de Tabelas .....	08
Lista de Figuras .....	09
1 Introdução .....	11
1.1 Objetivo .....	12
1.2 Delimitação do Estudo .....	12
2 Revisão da Literatura .....	13
2.1 Seis Sigma .....	13
2.2 Nível Sigma .....	15
2.3 ISO 13053 .....	17
2.4 Equipes de Projeto .....	18
2.5 O Modelo DMAIC .....	21
3 Metodologia .....	29
3.1 Tipos de Pesquisa .....	29
3.2 Métodos de Pesquisa .....	29
3.3 Aplicação da Pesquisa de Estudo de Caso .....	30
3.4 Desenvolvimento do Estudo de Caso .....	31
4 Resultados e Discussão .....	37
5 Conclusão .....	37
Referências .....	40
Apêndice .....	42
Anexo .....	43
Glossário .....	44

# 1 INTRODUÇÃO

A gestão da qualidade nos processos empresariais é fundamental para que estas possam alcançar melhores resultados e oferecer lucros. Para CAMPOS (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”.

Neste contexto de busca por uma maior qualidade nas empresas, o modelo Seis Sigma vem se mostrando uma ferramenta importante na condução de negócios, pois possui uma metodologia própria, atingindo ótimos níveis de qualidade, ROTONDARO (2008).

Os programas de qualidade anteriores ao Seis Sigma focavam na conformidade às especificações do produto, mesmo que isso implicasse em retrabalho, refugo, testes e inspeção final. Não existia a preocupação com o custo das análises redobradas ou dos funcionários que refaziam um processo.

O Seis Sigma ganhou muita popularidade no meio gerencial, e o conceito vem crescendo, em função das aplicações bem-sucedidas e dos resultados que gerou em grandes empresas como General Electric e Motorola. Tais aplicações transformaram o Seis Sigma em uma das poucas iniciativas de orientação técnica a despertar o interesse da comunidade financeira e da liderança de grandes corporações, sendo considerada a metodologia da qualidade para o século XXI, WERKEMA (2001).

A metodologia Seis Sigma vai ao 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 eficiência produtiva. As ferramentas adotadas pela metodologia são, em sua maioria, as mesmas que têm sido utilizadas pelos sistemas de qualidade, com a grande diferença que a estrutura de um projeto Seis Sigma consegue potencializar o resultado, uma vez que os objetivos do projeto de melhoria estão alinhados com as metas financeiras da empresa.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho procura mostrar a importância da Metodologia Seis Sigma, baseando-se em seus sucessos comprovados entre grandes empresas por meio de uma breve introdução histórica da evolução do que se entende por qualidade até a

consolidação da Metodologia do Seis Sigma como uma das mais completas ferramentas para a redução de custos e gerenciamento de processos.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Por meio das ferramentas estatísticas aplicadas na metodologia Seis Sigma segundo o modelo de aplicação DMAIC, pretende-se reduzir a variabilidade da espessura da torre do primeiro mancal do cabeçote do motor ZR, ilustrando-se o processo em um estudo de caso.

### **1.2 Delimitação do Estudo**

Este estudo foi realizado durante o curso de certificação Green Belt em Seis Sigma na empresa de consultoria e treinamento CEPROM e, portanto, demonstrará a aplicação das ferramentas e dos conhecimentos necessários referentes ao nível Green Belt, conforme descrito posteriormente em 2.4.5., não abordando de forma mais aprofundada a resolução de tal problema, como, por exemplo, aplicando-se as ferramentas do nível Black Belt em Seis Sigma.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 SEIS SIGMA

A metodologia Seis Sigma é uma abordagem de gestão, que nos dias de hoje atrai a atenção de muitas empresas por ser voltada à melhoria dos produtos, processos e serviços de uma organização. Com o objetivo de reduzir continuamente defeitos, alcançando a diminuição da variabilidade e dos desperdícios nos processos, utilizando métodos estatísticos, integrados a uma abordagem de gestão da qualidade para atingir elevados níveis de desempenho.

Do ponto de vista estatístico, a letra grega sigma ( $\sigma$ ), é utilizada para representar a medida de variabilidade conhecida como desvio-padrão, ou seja, a medida relativa à variação de uma população. Os resultados no Seis Sigma tipicamente são medidos e expressos por meio da variação de seus processos, uma vez que esta medida reflete o grau de controle e qualidade para atender um padrão de desempenho estabelecido. E sugere que empresas busquem tal desempenho em termos estatísticos, atingindo no máximo de 3,4 defeitos a cada um milhão de oportunidades (DPMO), quanto mais alto for o Sigma do processo, menor será a variabilidade do processo e, conseqüentemente, menor será a taxa de defeitos.

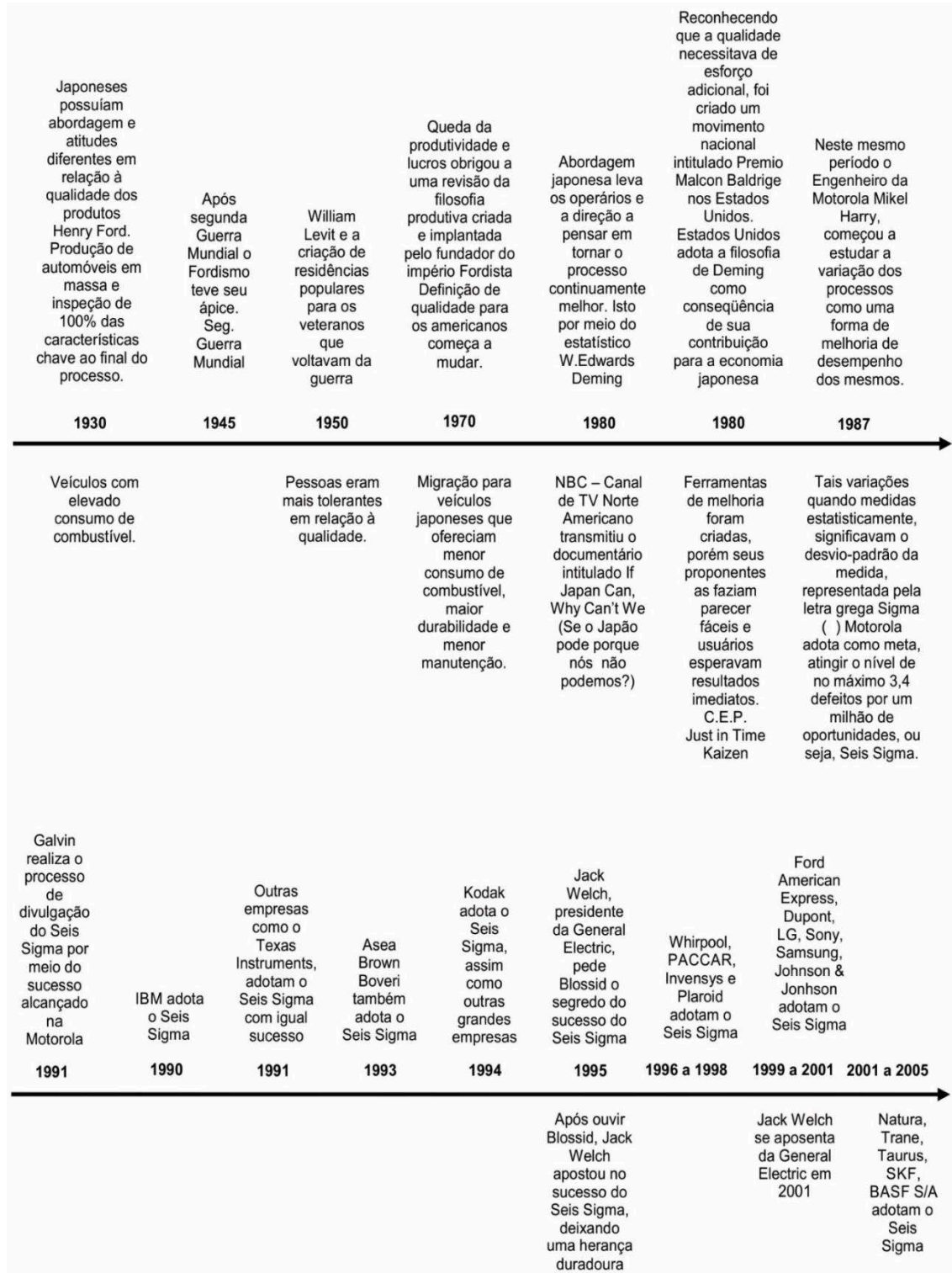
A abordagem Seis Sigma foi desenvolvida pela MOTOROLA na década de 1980, com o objetivo de reduzir a taxa de falhas em seus produtos. Segundo HENDERSON & EVANS (2000), a necessidade de melhorar seus padrões de qualidade fez com que a Motorola iniciasse uma série de estudos fundamentados nos conceitos de Deming sobre variabilidade dos processos de produção, essa iniciativa teve o total apoio da direção da empresa que almejava a implementação dos conceitos de melhoria contínua em todos os processos, surgindo assim o Seis Sigma.

Conforme NAIR (2011) antes da bem-sucedida implantação do Seis Sigma a Motorola amargava despesas na ordem de US\$800 milhões por ano com a correção de produtos rejeitados por má qualidade. Porém um ano após a implementação de seu método inédito a empresa ficou conhecida por receber o Prêmio Nacional de Qualidade *Malcom Baldrige* e poucos anos depois divulgou que havia obtido ganhos de aproximadamente US\$ 2,2 bilhões com suas iniciativas, atraindo definitivamente o interesse pelo Seis Sigma.

Outra empresa que ficou conhecida pela implementação bem-sucedida do Seis Sigma foi a General Electric, a qual adotou a metodologia e divulgou ao mercado seus ganhos, logo no primeiro ano, na ordem de 300 milhões de dólares. Tal experiência teve grande importância não só para a GE como para o futuro do Seis Sigma no âmbito empresarial, marcando assim o caso mais famoso e mais bem-sucedido desta metodologia, considerado até hoje o modelo

a ser seguido por muitas empresas. A Figura 1 mostra a ordem cronológica do surgimento do Seis Sigma.

**Figura 1 – Ordem Cronológica do Surgimento do Seis Sigma**



FONTE: Adaptado de ECKENS (2001)

## 2.2 NÍVEL SIGMA

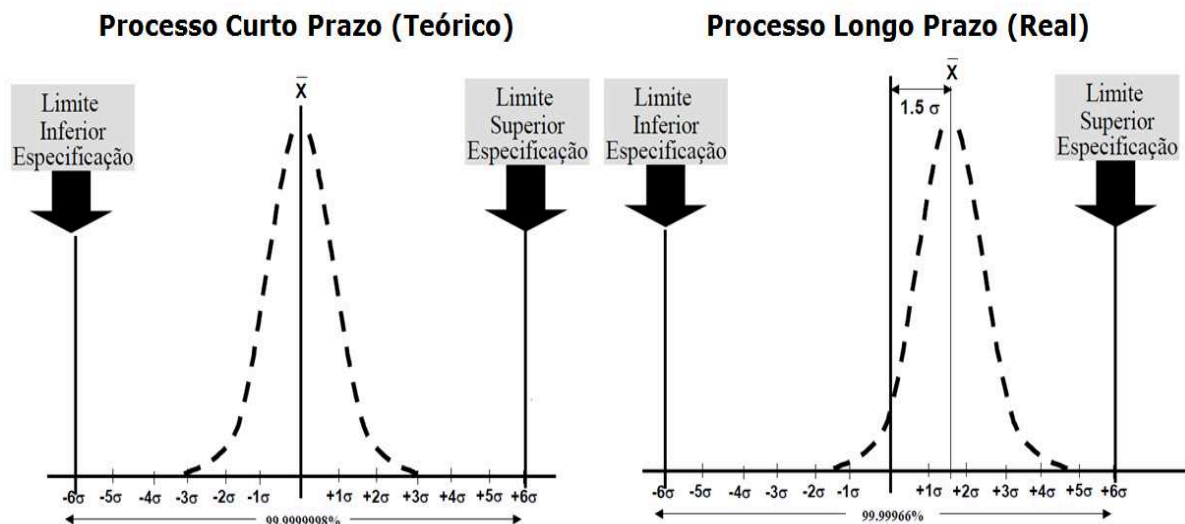
Conforme citado, o sigma representa o desvio padrão de uma distribuição ou a adequação do processo a uma especificação e, quanto menor for o desvio padrão de um processo, mais desvios padrões passam a ser aceitos dentro de sua especificação.

De acordo com HILSDORF (2002) 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 padrões da média da população.

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.

Segundo SCATOLIN (2005) um Processo Teórico (ou de Curto Prazo) é um processo que tem a média centrada entre os Limites de Especificação. Já um processo de Longo Prazo é aquele onde a média está deslocada até  $1,5\sigma$  dos limites de especificação. Os gráficos a seguir (Figura 2) estão exemplificando estes processos. As barras estão limitando a especificação desejada: LIE = Limite Inferior de Especificação e LSE= Limite Superior de especificação.

**Figura 2 - Comparação entre processos de Curto e Longo Prazo**



Fonte: Adaptado SCATOLIN (2005)

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). A Tabela 1 mostra a comparação do nível de defeitos de um processo teórico de curto prazo ou centrado



(sem deslocamento de 1,5 sigma ao longo do tempo) com um processo real, de longo prazo ou deslocado 1,5 sigma do valor central e sua taxa de sucesso.

**Tabela 1 - DPMO de Processos de Curto e Longo Prazo**

Nível Sigma	DPMO Curto Prazo	DPMO Longo Prazo	Taxa de Sucesso
	Processo Centralizado	Processo Descentralizado 1,5 $\sigma$	Longo Prazo
1	317.400	691.462	30,9%
2	45.600	308.537	69,1%
3	2.700	66.807	93,3%
4	63	6.209,7	99,38%
5	0,57	232,7	99,977%
6	0,002	3,4	99,99966%

Fonte: Adaptado Goh (2003)

Para PANDE et al (2001), um processo deve objetivar o nível sigma 6, apenas se isto for importante para o cliente e desde que o investimento para o salto em nível sigma não seja tão alto a ponto de inviabilizar economicamente este processo. Não necessariamente é preciso chegar a um nível de não conformidade Seis Sigma, sua aplicação contínua é que torna o Seis Sigma uma consequência

Como WAXER (2005) afirma, que mais importante do que atingir esse nível de qualidade é a filosofia pregada pelo Seis Sigma, que é a busca pela melhoria da capacidade do processo.

### 2.3 ISO 13053

A metodologia Seis Sigma é muito mais do que um conjunto de métricas e ferramentas baseadas na melhoria contínua e na resolução de problemas. Quando utilizado como sistema de gestão, o Seis Sigma torna-se um sistema de alto desempenho para a execução das estratégias de negócio e respectivas métricas, tornando mais fácil o impulsionamento da melhoria contínua, e é quando implementado como sistema de gestão que a empresa realmente sente o seu grandioso impacto.

Por isso a ISO, Organização Internacional de Normatização, responsável pela elaboração de normas técnicas de segmentos industriais, lançou a serie ISO 13053.

Os primeiros referenciais normativos do Seis Sigma foram publicados em Setembro de 2011, tendo como título "Métodos quantitativos na melhoria de processos - Seis Sigma".

Esta norma refere-se, especificamente, à metodologia Seis Sigma e seu processo de implementação, desde a escolha do projeto, métricas a avaliar, ferramentas e metodologias a utilizar, organização das equipes, formação necessária, entre outros. Esta norma é composta por duas partes complementares:

- i. ISO 13053-1: Metodologia DMAIC.
- ii. ISO 13053-2: Ferramentas e Técnicas.

Há pouco que é novo dentro de Seis Sigma do ponto de vista das ferramentas e técnicas utilizadas. O método utiliza ferramentas estatísticas, entre outras, e, portanto, lida com eventos incertos, a fim de fornecer decisões baseadas na incerteza. Consequentemente, considera-se uma boa prática que um programa Seis Sigma seja sincronizado com planos de gestão de risco e atividades de prevenção de defeitos.

ISO 13053-1 (2011) O Seis Sigma deriva das ferramentas de gestão da qualidade e assim como a *Lean Manufacturing*, também destina seus esforços na eliminação dos desperdícios e na redução dos custos por não qualidade, assim como o foco nas características críticas para a qualidade e a utilização de ferramentas estatísticas para basear as causas raízes.

O escopo da ISO 13053-1 limita o documento a cobrir apenas a melhoria dos processos existentes, não abrangendo a questão da certificação. Outras normas que lidam com essas circunstâncias ainda não foram desenvolvidas, mas quando forem publicadas, a ISO 13053, juntamente com esses documentos futuros, formará um conjunto coeso de padrões que vão desde a melhoria dos processos existentes até o desenvolvimento de novos para oferecer níveis Seis Sigma de desempenho, e além.

Já a ISO 13053-2 descreve as ferramentas e técnicas a serem usadas em cada fase na metodologia DMAIC ilustrando-as por meio de fichas técnicas.

A metodologia estabelecida torna as ferramentas e técnicas descritas aplicáveis a qualquer setor de atividade e qualquer empresa de tamanho que buscam obter uma vantagem competitiva.

Embora com um atraso considerável face ao aparecimento das normas da série ISO 9000 em 1987, há a expectativa que esta norma e as normas 13053-1 e 13053-2, que são complementares entre si, possam contribuir positivamente para a disseminação e a integração da metodologia Seis Sigma junto das mais de 1 milhão de organizações com sistemas de gestão certificados segundo a ISO 9001 e, assim potencializar ainda mais os seus resultados e a sua competitividade, Standardization (2013).

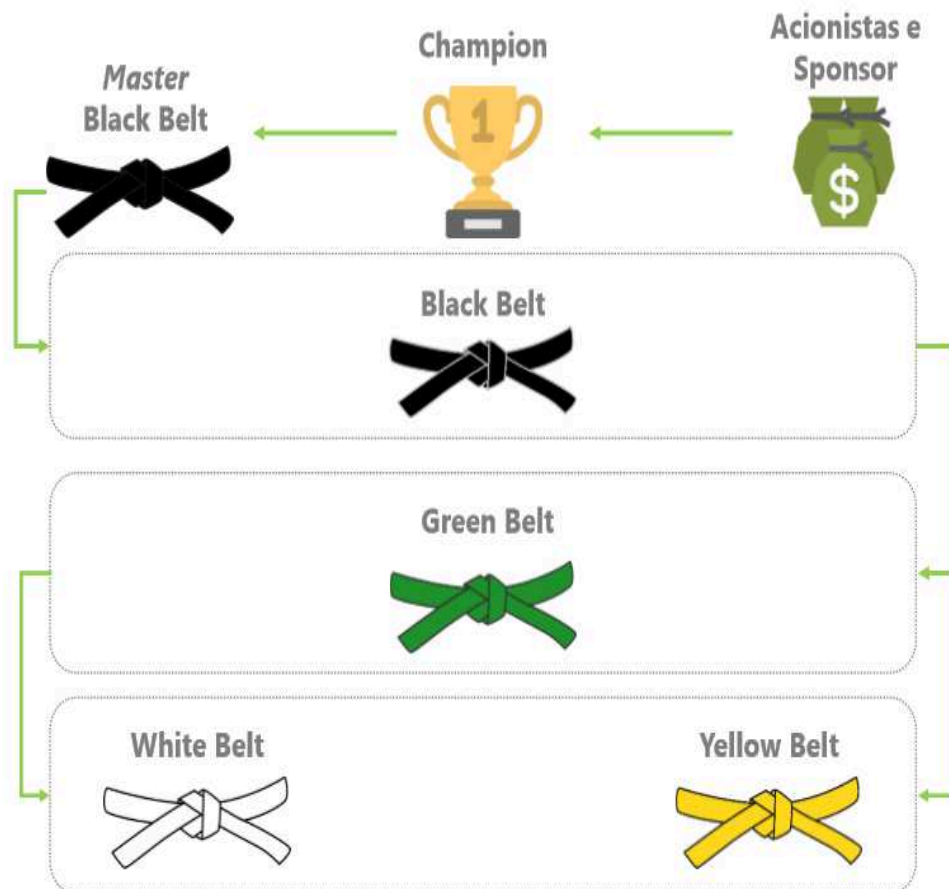
## 2.4 EQUIPES DE PROJETO

Para o sucesso de sua implementação o Seis Sigma necessita do envolvimento de toda a equipe. Profissionais devidamente treinados, que possuam domínio das diversas ferramentas de análise estatística e qualidade, iniciando pela alta administração e seguindo para todos os níveis hierárquicos da empresa.

Por se tratar de uma ruptura no procedimento normal dentro da empresa, para se prosseguir com um projeto de Seis Sigma é necessária a formação de uma hierarquia específica para a execução desse projeto, conforme mostrado na figura 4, além de total apoio da direção.

O envolvimento e comprometimento da gestão de topo é citado por vários autores como o alicerce para o sucesso dos projetos Seis Sigma. Um projeto Seis Sigma envolve várias mudanças ao nível institucional, sendo necessário o envolvimento constante, não só da equipe responsável pelo projeto, mas de todos da organização.

**Figura 4** – Relação entre Equipes de Projeto



Fonte: Adaptado Goh (2003)

Após a análise de vários autores, incluindo a orientação da própria norma ISO 13053 estabelece-se que as equipes Seis Sigma devem ser formadas pelos seguintes elementos:

#### **2.4.1 Patrocinador**

O Patrocinador (ou *Sponsor*) ocupa geralmente cargos de diretoria na empresa, tem a função de disseminar a metodologia entre os acionistas e gestão de topo, incentivar e supervisionar os projetos, facilitando a viabilização da disponibilidade de recursos financeiros e humanos, verificando se os objetivos estão sendo atingidos.

#### **2.4.2 Champion**

São indivíduos de alto nível hierárquico e profundo conhecimento do fluxo do processo e das ferramentas do Seis Sigma. Este profissional é o elemento de ligação entre o Patrocinador e a equipe do projeto, cuja responsabilidade é apoiar os projetos, verificando os resultados atingidos e as necessidades encontradas. E remover possíveis barreiras para o seu desenvolvimento, proporcionando sempre os meios necessários para o sucesso do projeto.

#### **2.4.3 Master Black Belt**

É um elemento com um grande nível de conhecimento em Seis Sigma, ocupa geralmente cargos executivos na área de Gestão ou Qualidade, respondendo diretamente à alta administração e, disponibiliza, preferencialmente, 100% de seu tempo ao programa Seis Sigma, principalmente como mentor de projetos.

#### **2.4.4 Black Belt**

São profissionais com uma grande formação nas metodologias e ferramentas Seis Sigma, ocupam geralmente cargos de gerencia, respondendo direta ou indiretamente ao Master Black Belt. Disponibiliza, preferencialmente, 100% de seu tempo ao desenvolvimento dos projetos Seis Sigma, podendo dedicar uma certa parte de seu tempo a atividades de gestão da rotina. Estes profissionais têm como missão liderar a equipe Seis Sigma, conduzindo o projeto ao sucesso.

#### **2.4.5 Green Belt**

São profissionais que dedicam parte de seu tempo a atividades de melhoria contínua e execução de projetos Seis Sigma, respondendo hierarquicamente a seu superior imediato.

Os Green Belts trabalham no auxílio do Black Belt na condução do projeto e são colaboradores de diferentes partes da organização profissional. Sua formação envolve um

treinamento menos intensivo que o dos Black Belts. Os Green Belts podem também liderar projetos de menores complexidades sob a supervisão de um Black Belt ou Master Black Belt, aplicando o Seis Sigma no seu dia-a-dia.

#### **2.4.6 Yellow Belt e White Belt**

Com formação básica nas metodologias e ferramentas Seis Sigma, são profissionais que atuam em um nível mais operacional, dando suporte na implementação dos projetos, além de trabalhar intensamente na coleta de dados.

O elemento *White Belt* é um elemento com conhecimentos básicos em Seis Sigma, que não faz parte da equipe Seis Sigma, mas que pode trabalhar em equipes de resolução de problemas locais que apoiam projetos globais (ASQ:10/05/2017).

### **2.5 O MODELO DMAIC**

O DMAIC é um modelo formado de cinco fases que guiam as atividades necessárias e empregadas na abordagem Seis Sigma para a melhoria dos processos e que tem um 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.

Segundo CORRÊA e CORRÊA (2006), a metodologia Seis Sigma inicia-se com a definição e criação de um acordo sobre quais são os objetivos estratégicos do negócio. Com base nos objetivos estratégicos, são identificados os processos essenciais, subprocessos-chave e capacitadores. Essenciais são os que possuem impacto no atingimento dos objetivos estratégicos, subprocessos-chave são os que fazem parte dos essenciais e processos que não se enquadram nas duas classificações, mas que são fundamentais para a realização dos negócios da empresa, são definidos como capacitadores. As equipes de melhoramento irão atuar para cada vez mais para adequar estes processos de modo a torná-los mais eficientes.

Ter uma metodologia clara, concisa e compreensível é um dos requisitos para que seja viável implantar e manter o Seis Sigma em uma organização. O método DMAIC, segundo WERKEMA (2001), consiste em definir com precisão o escopo e os objetivos do projeto, determinar a localização ou foco do problema, investigar as causas de cada problema prioritário, implementar soluções para cada problema analisado e garantir que o alcance e a meta sejam mantidos a longo prazo. Cada uma destas etapas envolve várias atividades e a utilização de ferramentas estatísticas. A Tabela 2 mostra a sequência das etapas do DMAIC, seus objetivos e exemplos de ferramentas usadas.

**Tabela 2 – Etapas do DMAIC: Ferramentas e Objetivos**

ETAPA	OBJETIVOS	FERRAMENTAS
Define	Definir o escopo do projeto: importância, cronograma, equipe...	Project Charter; 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
Analyze	Analisar o processo para determinar as causas potenciais do problema	Fluxograma; mapa do processo/produto; FMEA; Brainstorming; Diagrama de causa e efeito; planejamento de experimentos
Improve	Identificar e avaliar as soluções prioritárias e implementá-las	Brainstorming; diagrama de causa e efeito; FMEA; teste de mercado; Stakeholder analysis; Simulação 5W2H; PERT/COM
Control	Garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo	Cartas de controle; histograma; índice de capacidade; manuais; procedimento padrão; relatório de anomalias; reuniões

Fonte: Adaptado de Werkema (2001)

O método DMAIC é o mais utilizado para implementar o Seis Sigma, sendo que existe um relacionamento deste com o ciclo PDCA (WERKEMA, 2001). O método DMAIC tem grande ênfase na etapa de planejamento, quando comparado com o ciclo PDCA, e é possível notar que as três primeiras etapas do DMAIC e parte da quarta correspondem à primeira etapa do PDCA. Como mostra a Tabela 3.

**Tabela 3 – Comparação fases PDCA e DMAIC**

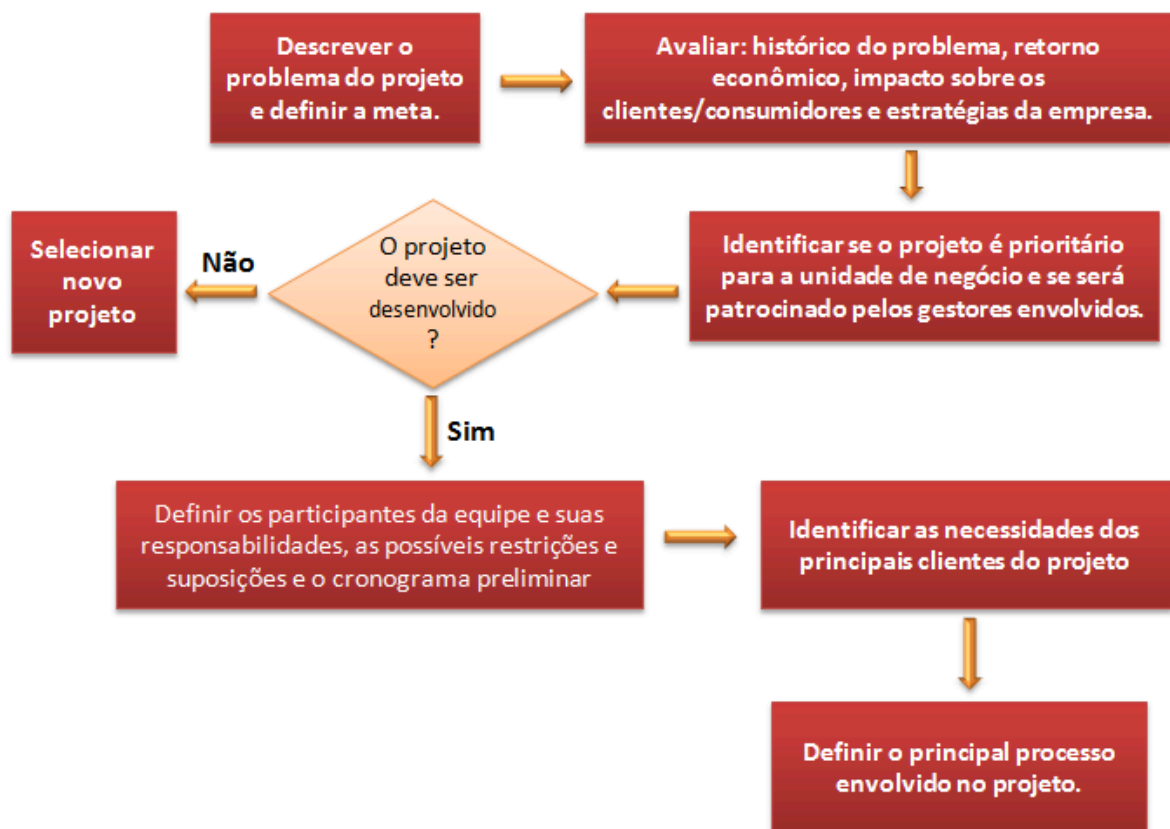
LEAN: PDCA		SEIS SIGMA: DMAIC	
PLAN (Planejar)	Detectar uma anormalidade, rapidamente fazer análise de causa raiz, identificar potenciais causas radicais e contramedidas cirúrgicas que abordam as causas raiz	Definir problema, ter patrocinador e campeão, agendados; Estabelecer métricas críticas para a qualidade e declaração preliminar do <b>problema</b>	Definir
		Escolha indicador de resultado, métricas de linha de base, pareto apontando para áreas de oportunidade, pareto levando ao "por quê?"	Medir
		Análise de causa raiz e teste de hipóteses (espinha dorsal, teste de hipóteses estatísticas, se necessário)	Analisar
DO (Fazer)	Implementar as contramedidas; Teste para verificar se as contramedidas trouxeram a mudança esperada.	Soluções por brainstorm para verificar causas raízes; Identificar e soluções de entrega para o comitê de direção para aprovação durante a entrega.	Melhorar
CHECK (Checar)	Reveja os resultados do experimento	Revise e relate os resultados da implementação da solução e ajuste para que a causa raiz seja abordada mais especificamente.	Controlar
ACT (Agir)	Ajuste a contramedida para melhor abordar a causa raiz		

Fonte: adaptado de www.shmula.com (acessado em 15/05/17)

### 2.5.1 Definir

Nesta fase deve-se determinar o problema, definir o alcance e limite do projeto, as metas de melhoria e determinar o que é um desempenho inaceitável ou um defeito, além de definir as equipes e seus líderes e estimar os impactos financeiros. Também é necessário mapear o processo ao qual o projeto está vinculado. Segundo WERKEMA (2002), define-se claramente a meta e o escopo do projeto, por meio do *Business Case* (caso de negócio) elaborado pelo *Champion*. Ainda segundo WERKEMA (2004) definem-se os passos dessa etapa, de acordo com o fluxograma da Figura 5:

**Figura 5 – Etapa DEFINIR**



Fonte: adaptado de WERKEMA, 2004

Algumas ferramentas, como o *Project Charter*, cartas de controle e análises econômicas são utilizadas nesta fase.

### 2.5.2 Medir

Nesta fase coletam-se dados para verificação do estado atual do processo, garantido que a sistemática de medição esteja adequada. É também o momento onde se estabelece a capacidade corrente do processo, não devendo haver falha, pois todos os restantes das fases

se basearão nestas informações. Um estudo apurado de como os dados serão coletados e armazenados é vital antes de ir para campo na obtenção das informações.

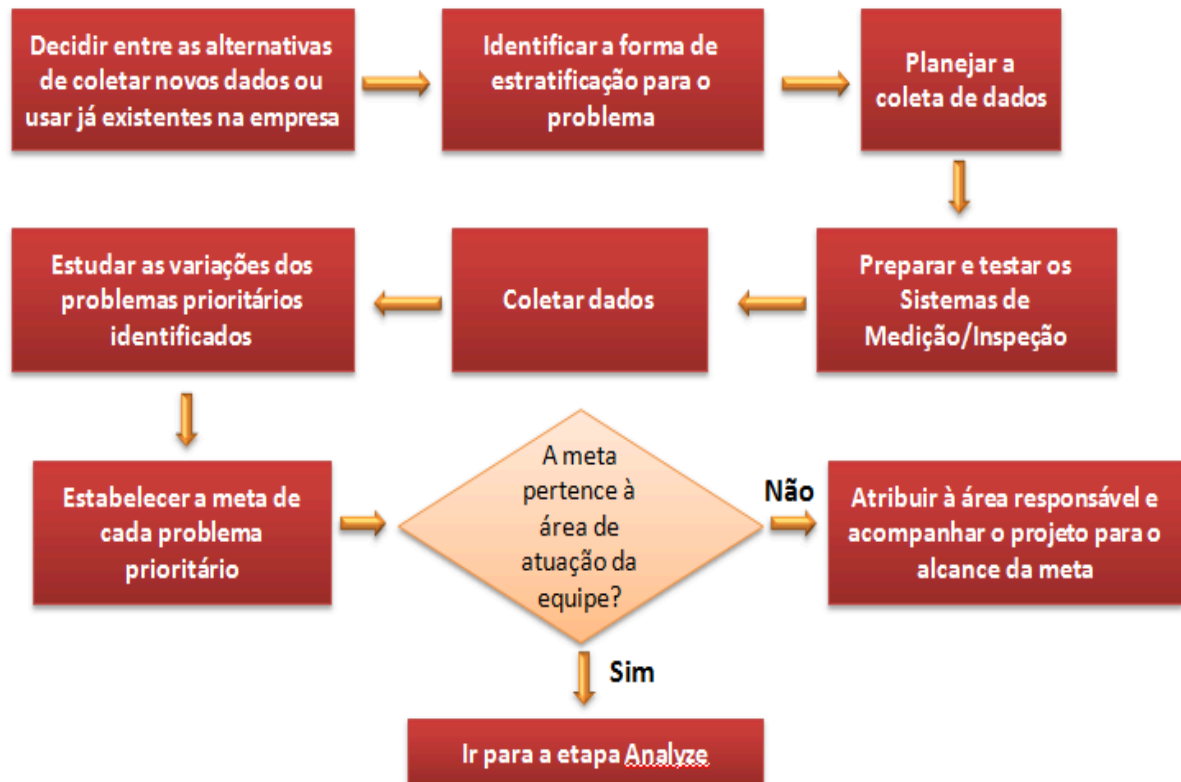
Segundo WERKEMA (2002), na fase Medir, o problema deverá ser refinado ou focado, onde duas questões básicas devem ser respondidas:

Quais resultados devem ser medidos para obtenção de dados úteis à focalização do problema?

Quais são os focos prioritários do problema? Estes são indicados pela análise dos dados gerados pela medição de resultados associados ao problema.

A Figura 6 mostra os passos para esta etapa, de acordo com WERKEMA (2004).

**Figura 6 – Etapa MEDIR**



Fonte: adaptado de WERKEMA, 2004

Ferramentas estatísticas como estratificação, folha de verificação, diagrama de Pareto, histograma e cartas de controle são úteis para que se possa analisar o problema em estudo WERKEMA (2001).



### 2.5.3 Analisar

A Fase Analisar possui caráter decisório no processo de melhoria do Seis Sigma, pois nele têm-se as respostas para os problemas. Nesta fase, realizam-se as inferências sobre o problema e realizam-se os respectivos testes de hipóteses para comprovação das inferências. Na maioria das vezes trata-se da fase que demanda em termos de tempo, a maior parcela se comparada com as outras fases.

Segundo WERKEMA (2002), nesta fase deverão ser determinadas as causas fundamentais do problema prioritário associado a cada uma das metas definidas na fase anterior, ou seja, para cada meta deve ser respondida a pergunta: Por que o problema prioritário existe? A Figura 7 descreve as atividades a serem realizadas.

**Figura 7 – Etapa ANALISAR**



Fonte: adaptado de WERKEMA, 2004

Para analisar os dados do problema podem ser utilizadas ferramentas como diagrama de Pareto, histogramas e diagrama de dispersão. Para analisar os processos utilizam-se mapas de processo e fluxogramas, por exemplo. Ferramentas como *Brainstorming*, diagrama de causa e efeito, cartas de controle, testes de hipóteses, planejamento de experimentos e análise de variância são importantes para se definir as causas que mais influenciam no problema, segundo ECKES (2003) e WERKEMA (2001).

### 2.5.4 Melhorar

Nesta fase, colocam-se em prática as soluções potenciais escolhidas para serem testadas. Trata-se da fase onde se planejam as soluções, e também a de maior expectativa, tanto por parte dos *Green* ou *Black Belts*, quanto dos donos do processo e demais integrantes, explorando na prática a verificação da eficácia de boa parte do experimento executado.

Segundo WERKEMA (2002), na quarta fase, devem ser geradas idéias sobre soluções potenciais para eliminação das causas fundamentais do problema prioritário detectadas na fase analisar. Na Figura 8 estão relacionadas as atividades que compõem esta fase.

**Figura 8** – Etapa MELHORAR



Fonte: adaptado de WERKEMA, 2004

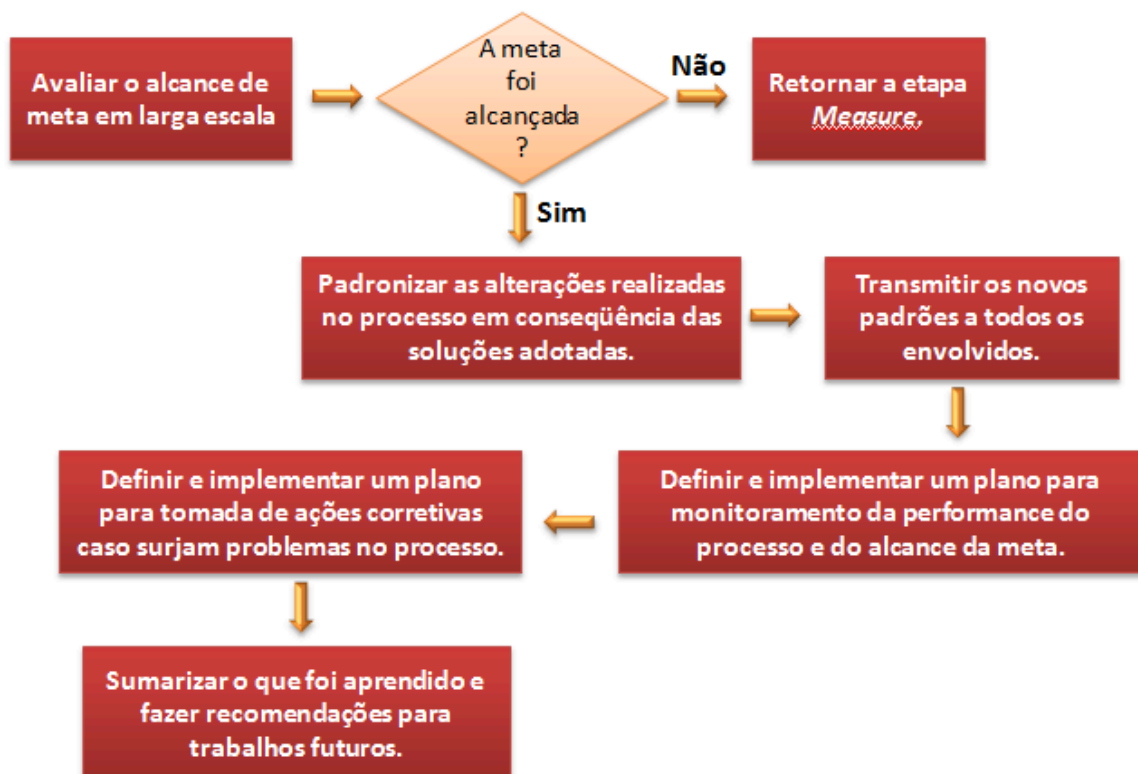
WERKEMA (2001) considera que é neste momento que devem ser geradas idéias sobre soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais dos problemas detectadas na etapa anterior, bem como estas soluções devem ser testadas a fim de verificar se a solução pode ser implementada em larga escala. Ferramentas como o *Brainstorming*, o diagrama de causa e efeito, *FMEA*, simulação e 5W2H dão suporte a esta fase do método DMAIC.

### 2.5.5 Controlar

A Fase Controlar possui como finalidade garantir que o processo irá operar dentro dos limites de especificação com uma mínima variação, minimizando a necessidade de novos ajustes no processo. A quinta fase consiste na avaliação do alcance da meta em larga escala. Com esse objetivo, os resultados após a ampla implementação das soluções devem ser monitorados para a confirmação do alcance do sucesso.

A implementação correta da metodologia Seis Sigma por meio das cinco fases faz com que a empresa atinja importantes resultados, além de criar uma identidade comum entre os processos no que diz respeito à metodologia utilizada para prover melhorias. Cada fase deve ser seguida na íntegra para que os resultados apareçam de forma rápida e consistente. Os passos desta etapa estão descritos na Figura 9.

**Figura 9 – Etapa CONTROLAR**



Fonte: adaptado de WERKEMA, 2004

A etapa final do DMAIC é Controlar. Para ECKES (2003), esta etapa nada mais é do que a aplicação das soluções da quarta etapa em larga escala e o controle do desempenho do processo ao longo do tempo. WERKEMA (2001) adiciona a padronização das alterações

realizadas no processo com a adoção das soluções e a definição de um plano de ações corretivas caso surjam problemas no processo, bem como a transferência dos conhecimentos adquiridos durante o projeto para outros membros da organização. Estas atribuições são similares às etapas de controle das ações implementadas e de implementação de ações corretivas e/ou padronização do ciclo PDCA.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 TIPOS DE PESQUISA**

Definir uma abordagem de pesquisa é estritamente importante para prover crédito às informações pertencentes ao desenvolvimento da pesquisa. Todo tipo de pesquisa deve ser feito com base nos objetivos gerais de estudo e mediante algum critério. Assim é possível classificar as pesquisas em três grandes grupos:

- a) pesquisa exploratória: visa tornar o problema mais explícito, construindo hipóteses e melhorando idéias;
- b) pesquisa descritiva: visa descrever as características de uma determinada população e possíveis relações entre as variáveis;
- c) pesquisa explicativa: visa identificar fatores que determinam a ocorrência dos fenômenos, enriquecendo a realidade dos acontecimentos, explicando os fatos.

Segundo GIL (1999) muitas vezes as pesquisas exploratórias constituem a primeira etapa de uma investigação mais ampla. Quando o tema escolhido é bastante genérico, tornam-se necessário seu esclarecimento e delimitação, o que exige revisão da literatura, discussão com especialistas e outros procedimentos. O produto final deste processo passa a ser um problema mais esclarecido, passível de investigação mediante procedimentos mais sistematizados.

### **3.2 MÉTODOS DE PESQUISA**

Analisando-se a literatura quanto aos métodos de pesquisa empregados, tem-se as seguintes classificações:

- a) Pesquisa Quantitativa: análise entre as variáveis levando em consideração os dados levantados.
- b) Pesquisa Qualitativa: leva-se em consideração as relações entre as variáveis, bom, ruim, melhor ou pior.
- c) Pesquisa de Estudo de Caso: análise detalhada sobre situações complexas nos quais estão envolvidos diversos fatores.
- d) Pesquisa-Ação: sua principal característica se dá por haver uma relação intensa entre o pesquisador e o tema proposto.

e) Pesquisa Experimental: aplicada em ambientes controlados, como pesquisas de campo e de laboratório.

### **3.3 APLICAÇÃO DA PESQUISA DE ESTUDO DE CASO**

Segundo YIN (1984), a estratégia de pesquisa depende do tipo de questão levantada, o grau de controle que o pesquisador tem sobre os eventos ou o foco temporal (contemporâneos vs. históricos).

Embora este trabalho apresente um pouco de cada uma das características descritas acima ao longo da aplicação e cumprimento das etapas do modelo *DMAIC*, a metodologia central utilizada foi a de estudo de caso único, a qual, segundo MARTINS (2002), não tem que ser meramente descritiva, podendo ter um profundo alcance analítico, interrogar a situação, confrontar a situação com outras já conhecidas e com as teorias existentes, ajudando a gerar novas teorias e novas questões para futuras investigações.

YIN (1984) aponta as seguintes aplicações do estudo de caso:

- Explicar ligações casuais em intervenções ou situações da vida real que são complexas demais para tratamento através de estratégias experimentais ou de levantamento de dados;
- Descrever um contexto de vida real no qual uma intervenção ocorreu;
- Avaliar uma intervenção em curso e modificá-la com base em um estudo de caso ilustrativo;
- Explorar aquelas situações nas quais a intervenção não tem clareza no conjunto de resultados.

### **3.4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO**

O Seis Sigma é uma metodologia que depende de indicadores e dados confiáveis, para verificar a qualidade de um processo em termos estatísticos e segue um rigoroso modelo: o *DMAIC*, que garante uma sequência ordenada, lógica e eficaz no gerenciamento do projeto. Portanto foram seguidas cada fase deste modelo conforme descritas em suas etapas:

#### **3.4.1 Definir**

Inicialmente, ao se analisar os indicadores de desempenho de rejeito foi verificado a oportunidade de um projeto seis sigma para redução da variabilidade da espessura da torre do primeiro mancal do cabeçote do motor ZR (figura 10). Diminuindo assim também o custo gerado pela má qualidade.

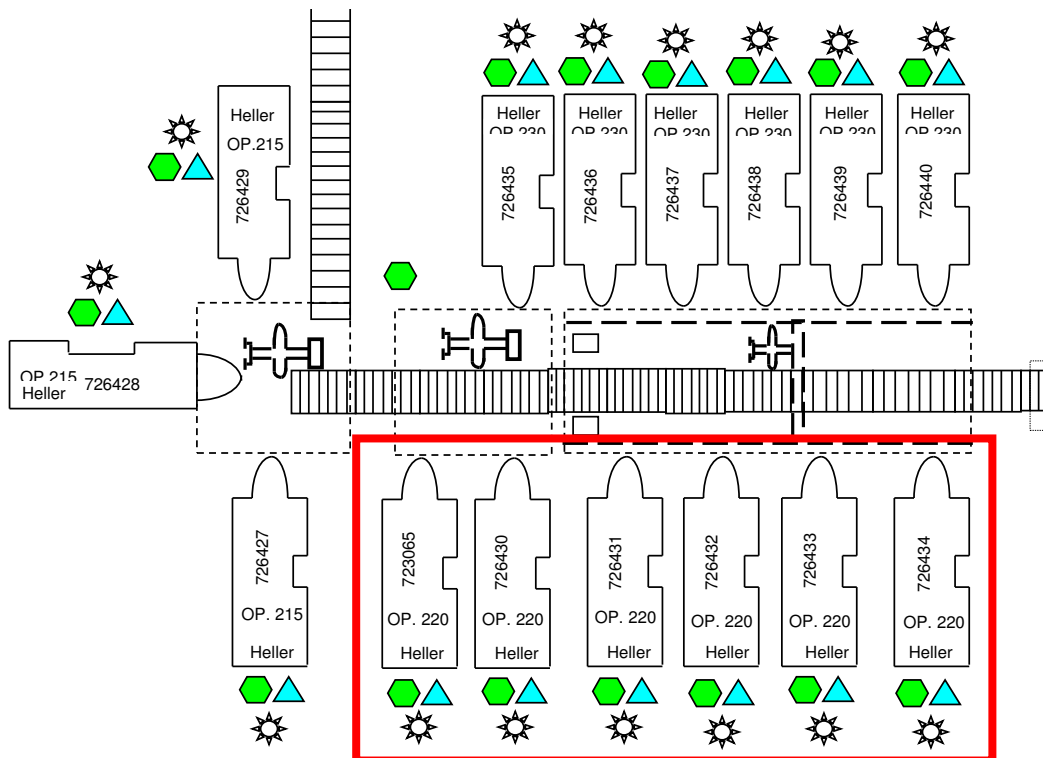
**Figura 10 – Torre do Primeiro Mancal**



Fonte: Autor, 2017

Para se determinar o problema, foi ouvida a voz do cliente e analisado o que seria crítico para qualidade, definindo-se o defeito “Y” (a espessura fora do especificado). Foi feito o mapeamento do processo, e análise SIPOC para entender as entradas e saídas do processo, assim como as possíveis fontes geradoras de erros. Optou-se então por limitar o projeto e suas possíveis ações de melhoria, na própria operação de usinagem da torre do primeiro mancal, op. 220, conforme a figura 11.

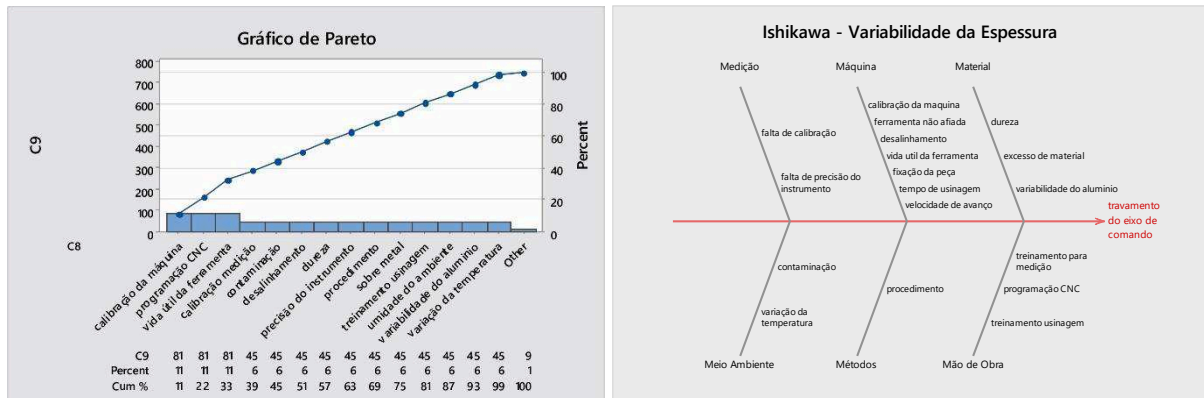
**Figura 11 – Mapeamento do Processo**



Fonte: Autor, 2017

Avaliando o histórico do problema e o mapeamento do processo, foi possível criar um diagrama de Ishikawa e um gráfico de Pareto (Figura 12), priorizando suas possíveis causas “x<sub>s</sub>” e definindo claramente o escopo do projeto, seu alcance e metas de melhoria, estimando uma melhoria de 30%.

**Figura 12 – Gráficos de Ishikawa e Pareto**



Fonte: Autor, 2017

### 3.4.2 Medir

Nesta etapa, foram medidas, com o auxílio de um gabarito, a variabilidade na espessura das peças, para a verificação do estado atual do processo e sua capacidade, conforme figura 13.

**Figura 13 – Processo de medição - Gabarito**

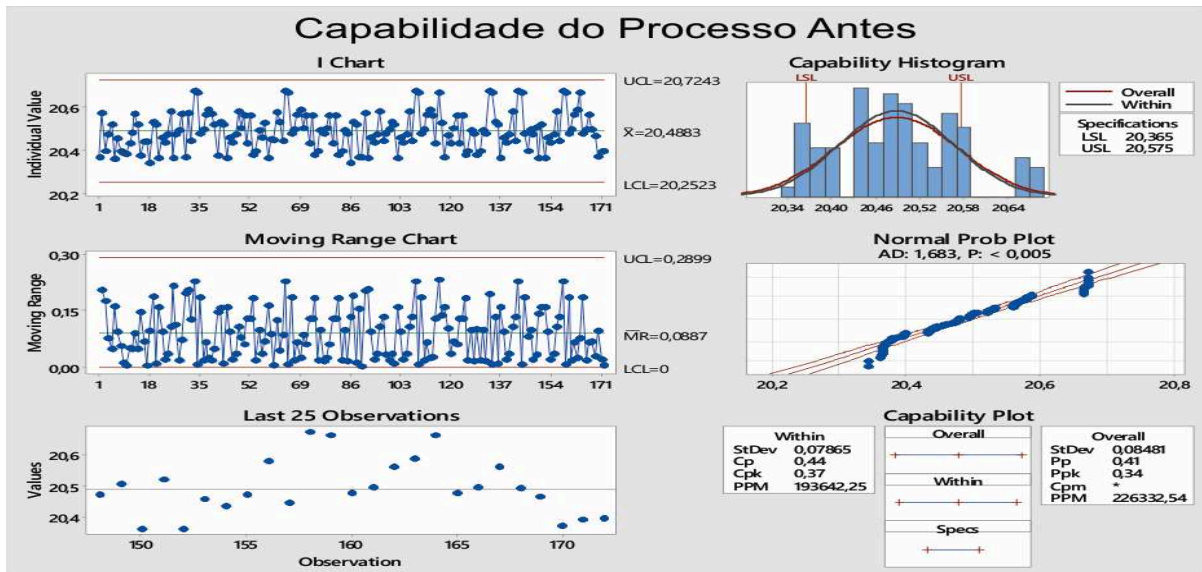


Fonte: Autor, 2017

Coletados os dados, foram, então, construídos gráficos de desvio padrão, capacidade, dispersão e normalidade, ilustrados na figura 14, tendo sido observado que trata-se de uma distribuição normal e aplicável à metodologia de melhoria Seis Sigma.



Figura 14 – Gráficos do Processo Antes



Fonte: Autor, 2017

Também foram registrados índices de rejeitos mensais, rendimento, DPMO e nível sigma, para analisar seu comportamento inicial, conforme ilustrado à Figura 15.

Figura 15 – Planilha de Rendimento Antes

<b>Amostragem</b>	65604	<b>Unidades</b>
<b>Oportunidades de Erro</b>	1	<b>Oportunidades</b>
<b>Unidades com Erro</b>	523	<b>Unidades</b>
<b>Total de oportunidades</b>	65604	<b>Erros</b>
<b>Rendimento</b>	99,2028	<b>%</b>
<b>Rejeição</b>	0,79721	<b>%</b>
<b>DPU</b>	0,00797	
<b>DPO</b>	0,007972	
<b>DPMO</b>	7972,07	
<b>NIVEL SIGMA</b>	2,41	<b>LONGO PRAZO</b>
	3,91	<b>CURTO PRAZO</b>

Fonte: Autor, 2017

### 3.4.3 Analisar

Analisando os dados coletados e o comportamento do processo foi realizado um *brainstorming* confrontando os dados coletados nas medições com as possíveis causas levantadas na fase inicial.

Foram identificadas e priorizadas as potenciais causas do problema, pela análise de modo e efeitos de falha potencial (FMEA), ilustrado na figura 16, confirmando as definições do escopo como as principais fontes geradoras de erros e proposto ações de melhorias, podendo, assim, seguir para a próxima fase.

**Figura 16 – Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial**

Código do Evento: \_\_\_\_\_ Nome do \_\_\_\_\_  FMEA de Processo Emitente: \_\_\_\_\_  
 Data de Emissão: \_\_\_\_\_ Data de \_\_\_\_\_  FMEA de Produto Número da Folha: \_\_\_\_\_  
 Equipe Multidisciplinar: \_\_\_\_\_  
 Função do Sistema / Peça: \_\_\_\_\_

Nº da Característica / Descrição	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais da Falha	S E V	Class. da Carac.	Causas & Mecanismo da Falha	Controles de Prevenção	O C O	Controle de Detecção	D E T	N P R	Ações Recomendadas	Responsável / Data de Conclusão	Ações Implementadas	RESULTADO DAS AÇÕES			
														Índices Atuais			
														S E V	O C O	D E T	N P R
Calibração da Máquina	1º Mancal do cabeçote travado	Espessura do 1º mancal fora do especificado	8		Falta de Preventiva	NA	6	Peças deslocadas	5	240	Implementar Manutenção Preventiva	29/03/2017	Implementado Manutenção Preventiva	8	3	2	48
Desalinhamento da Máquina	1º Mancal do cabeçote travado	Espessura do 1º mancal fora do especificado	8		Falta de Preventiva	NA	6	Peças deslocadas	5	240	Implementar Manutenção Preventiva	29/03/2017	Implementado Manutenção Preventiva	8	3	2	48
Programação CNC	1º Mancal do cabeçote travado	Espessura do 1º mancal fora do especificado	8		Falta de Preventiva	NA	6	Peças deslocadas	5	240	Implementar Manutenção Preventiva	29/03/2017	Implementado Manutenção Preventiva	8	3	2	48
Vida útil da Ferramenta	1º Mancal do cabeçote travado	Espessura do 1º mancal fora do especificado	8		Falha no controle de vida útil da ferramenta	Experiencia do operador	7	Torque de giro alto na submontagem	8	448	Implementar controle de vida útil	29/03/2017	Implementado controle de vida útil	8	3	1	24

Fonte: Autor, 2017

### 3.4.4 Melhorar

Priorizadas as principais causas do problema foi criado um plano de ação para checar a calibração e alinhamento da máquina CNC, sua programação e a vida útil das ferramentas, conforme ilustrado na figura 17. Da mesma forma, também houve a implementação de manutenções preventivas, e optou-se, igualmente, pela substituição das ferramentas de usinagem.

**Figura 17 – Cronograma Plano de Ação**

PLANO DE AÇÃO - CRONOGRAMA													
Estudo nº :		Data conclusão real :		Emitente :		Emissão :		Página : 01 / 02					
Estudo n Implementação de Projeto Green Belt - Espessura da Torre						Revisão :							
ÍTEM	AÇÕES PROPOSTAS	CLASSIFIC	RESPONSÁVEL	DATA DE IMPLEMENTAÇÃO			PROGRESSO (%)					OBSERVAÇÕES	
				PREVISTA	INICIO	REAL	20	40	60	80	100		
1	Checar calibração da máquina		.....	14/03/17	16/03/17	30/03/17							
2	Checar desalinhamento		.....	14/03/17	16/03/17	30/03/17							
3	Checar programa CNC		.....	14/03/17	16/03/17	30/03/17							
4	Checar vida útil da ferramenta		.....	14/03/17	16/03/17	30/03/17							
5	Implementar manutenção preventiva calibração da máquina		.....	14/03/17	16/03/17	30/03/17							
6	Implementar manutenção preventiva para desalinhamento		.....	14/03/17	16/03/17	30/03/17							
7	Implementar manutenção preventiva para programa CNC		.....	14/03/17	16/03/17	30/03/17							
8	Realizar substituição da ferramenta		.....	14/03/17	16/03/17	30/03/17							

Classificação : 1 - Ação Corretiva 2 - Ação Preventiva 3 - Abrangência 4 - Confirmação 5 - Reocorrência

Participantes :

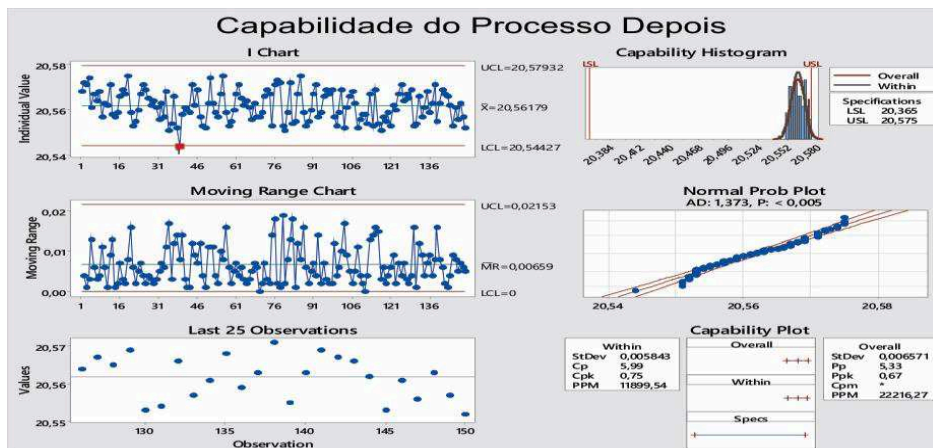
C.c. Srs. :

Fonte: Autor, 2017

**3.4.5 Controlar**

Após as aplicações das soluções propostas, o desempenho do processo foi controlado e, por meio de novas medições, foi possível constatar o alcance das metas do projeto, conforme figura 18.

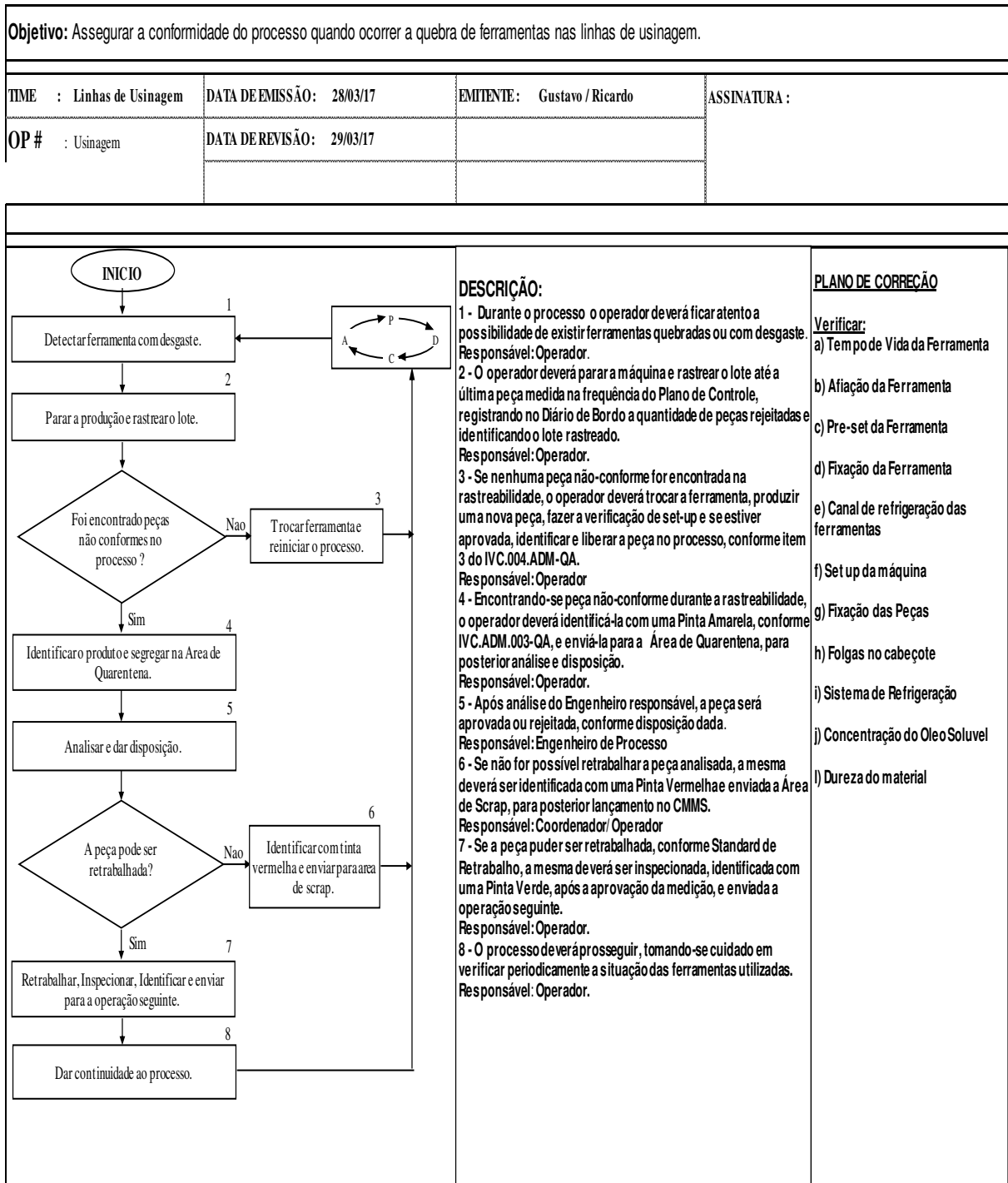
**Figura 18 – Gráficos do Processo Depois**



Fonte: Autor, 2017

A padronização das alterações foi garantida pelo novo plano de controle do processo e a realização de planos de ação para garantir a vida útil das ferramentas, figura 19.

**Figura 19 – Plano de Reação Para Quebra de Ferramenta**



Fonte: Autor, 2017

Evidenciando-se a comprovação do sucesso do projeto, foi possível apresentar ainda uma etapa a mais no processo DMAIC, que seria a replicação (R) destas mudanças para operações semelhantes, na mesma ou em outras plantas da empresa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As novas medições na fase controlar mostraram uma redução no índice de rejeição de peças e DPMO de 7.962,07 para 5.258,83, assim como um aumento no nível sigma do processo de 2,41 para 2,56, mostrado na figura 20.

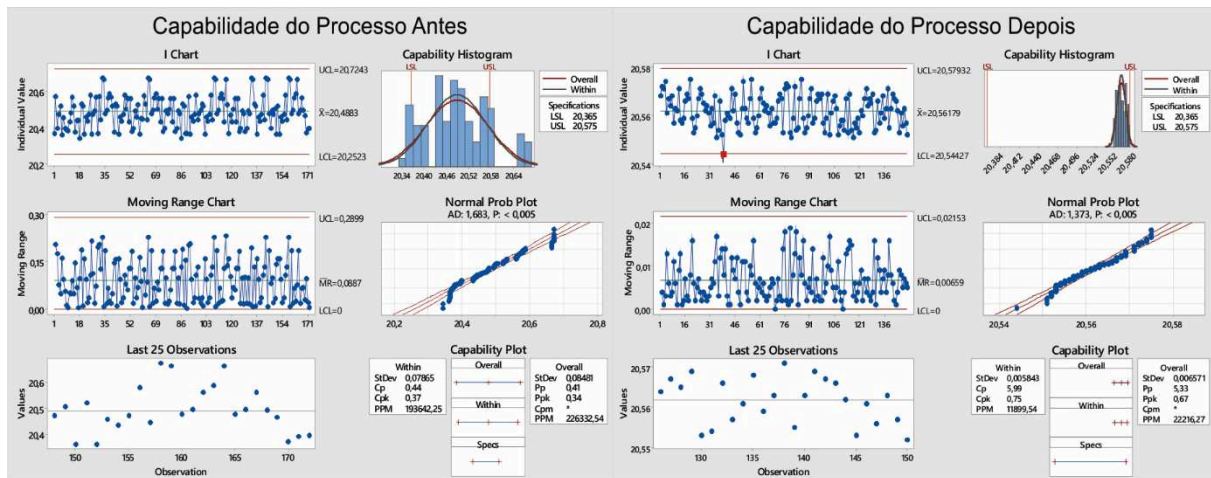
**Figura 20** – Planilha de Rendimento Depois

<b>Amostragem</b>	65604	<b>Unidades</b>
<b>Oportunidades de Erro</b>	1	<b>Oportunidades</b>
<b>Unidades com Erro</b>	345	<b>Unidades</b>
<b>Total de oportunidades</b>	65604	<b>Erros</b>
<b>Rendimento</b>	99,4741	<b>%</b>
<b>Rejeição</b>	0,52588	<b>%</b>
<b>DPU</b>	0,00526	
<b>DPO</b>	0,005259	
<b>DPMO</b>	5258,83	
<b>NIVEL SIGMA</b>	2,56	<b>LONGO PRAZO</b>
	4,06	<b>CURTO PRAZO</b>

Fonte: Autor, 2017

Além da diminuição da variabilidade na espessura e um aumento nos índices de capacidade e performance respectivamente de  $C_p=0,46$  para  $C_p=5,99$  e  $P_p=0,42$  para  $P_p=5,33$ , pode -se ver através dos gráficos do processo de antes e depois uma amostra muito mais uniforme e concentrada, mostrados na figura 21.

**Figura 21 – Gráficos do Processo Antes e Depois**



Fonte: Autor, 2017

Conforme o proposto no escopo do projeto foi obtido uma redução de 33% no índice de rejeito das peças. Gerando para empresa uma economia anual de R\$136.272,73 de reais, conforme mostrado na Tabela 4, podendo ser ampliada ainda mais, agindo sobre outras oportunidades de melhoria que não fizeram parte do escopo deste projeto e replicando estas ações em processos semelhantes como as operações subsequentes.

**Tabela 4 – Valores sobre o Rejeito**

<b>GASTO DO REJEITO</b>	<b>Até o mês de Março</b>
<b>Volume de Produção</b>	65604
<b>Quantidade de Rejeito</b>	523
<b>Porcentagem de Rejeito</b>	<b>0,80%</b>
<b>Custo/Peça</b>	R\$ 125,00
<b>Valor Rejeito diário (média)</b>	R\$ 990,53
<b>Valor Rejeito semanal (média)</b>	R\$ 4.952,65
<b>Valor Rejeito mensal (média)</b>	R\$ 19.810,61
<b>Valor Rejeito anual (média)</b>	<b>R\$ 237.727,27</b>
<b>Volume de Produção</b>	65604
<b>Quantidade de Rejeito</b>	346
<b>Porcentagem de Rejeito</b>	<b>0,53%</b>
<b>Custo/Peça</b>	R\$ 125,00
<b>Valor Rejeito diário (média)</b>	R\$ 655,30
<b>Valor Rejeito semanal (média)</b>	R\$ 3.276,52
<b>Valor Rejeito mensal (média)</b>	R\$ 13.106,06
<b>Valor Rejeito anual (média)</b>	<b>R\$ 157.272,73</b>
<b>Custo da Ferramenta</b>	<b>R\$ 21.000,00</b>
<b>ROI ESTIMADO</b>	<b>R\$ 136.272,73</b>

Fonte: Autor, 2017

## **5 CONCLUSÃO**

A metodologia Seis Sigma mostrou-se muito eficiente não apenas para a redução da variabilidade no processo apresentado, mas também para a condução de negócios, sua filosofia é melhorar a satisfação do cliente, evitando custos pela eliminação e prevenção de defeitos e aumento da eficiência e qualidade, proporcionando ganhos financeiros para empresa. Sua abordagem é baseada em projetos e seu sucesso depende da metodologia claramente definida DMAIC e do cumprimento disciplinado de todas suas etapas, assim como a criação de papéis e as responsabilidades que os acompanham, garantem o cumprimento desta sequência. Ter uma metodologia clara, concisa e compreensível é um dos requisitos para que seja viável manter o Seis Sigma em uma organização e alcançar seus objetivos.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001:2015**. Sistemas de Gestão da Qualidade – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 32p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9004:2010**. Gestão para o Sucesso Sustentado de uma Organização – Uma abordagem da gestão da qualidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 47p
- BARNEY, M. **Motorola's second generation**. *Six Sigma Forum Magazine*. Milwaukee, v. 1, n. 3, May 2002
- BERDEBES, G. **Introduction to six Sigma**: for internal service departments and professional services organizations. Quebec: Working Paper, 2003
- CAMPOS, M. S. **Seis Sigma gerencial**. Porto Alegre: Siqueira Campos, 2005. Apostila.
- CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da Qualidade Total**: No Estilo Japonês. Nova Lima – MG: INDG TECNOLOGIA E SERVIÇOS LTDA, 1992
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- CORONADO, R. B.; ANTONY, J. **Critical success factors for the successful implementation of six Sigma projects in organizations**. *The TQM Magazine*, v. 14, n. 2, 2002.
- ECKES, George. **A Revolução Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2001
- FEIGENBAUM, A. V. **Controle da Qualidade Total**. São Paulo: Makron Books, 1994. v. 1
- HENDERSON, K., & EVANS, J. **Successful implementation of Six Sigma**: benchmarking General Electric Company. *Benchmarking and International Journal*, vol. 17, no.4, 260-281. 2000
- HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations**. New York: Currency, 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. 35-39, out. 2002
- Indiana, Q. C. (2006). *The Six Sigma Green Belt Primer*. Quality Council of Indiana
- ISO 13053-1 (2011). **Quantitative methods in process improvement - Six Sigma - Part 1: DMAIC methodology**. International Organization for Standardization.
- ISO 13053-2 (2011). **Quantitative methods in process improvement - Six Sigma - Part 2: Tools and techniques**. International Organization for Standardization



- JURAN, J. M. **Juran on quality design**: the new steps for planning quality into goods and services. 1992
- MARANHÃO, M. **ISO Série 9000**: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1994.
- PALADINI, E. P., **Controle de Qualidade**: uma abordagem abrangente. São Paulo: Atlas, 1990.
- PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade no processo**: a qualidade na produção de bens e serviço. São Paulo: Atlas, 1995.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **The six sigma way**: how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance. New York: McGraw-Hill, 2000
- ROTONDARO, R. G. Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. São Paulo: Atlas, 2008.
- SCATOLIN, A. C. **Aplicação da metodologia seis sigma na redução das perdas de um processo de manufatura**. São Paulo, 2005.
- SLACK, Nigel et al. Administração da Produção. São Paulo. Atlas. 1999.
- STANDARDIZATION, I. O. (2013). **The ISO Survey of Management System Standard Certifications** – 2013. International Organization for Standardization.
- WAXER, C. **Is Six Sigma just for large companies? What about small companies?** Disponível em: <http://www.isixsigma.com>. Acesso em: 10/05/2017
- WERKEMA, M. C. C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Nova Lima: WERKEMA. 2004.
- WERKEMA, C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 25