

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ  
TALITA FERREIRA GONÇALVES  
YASMIN ANTONIETTI**

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA AUMENTO  
DE CAPACIDADE DE PRODUÇÃO**

**Taubaté - SP  
2018**

**TALITA FERREIRA GONÇALVES  
YASMIN ANTONIETTI**

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA AUMENTO  
DE CAPACIDADE DE PRODUÇÃO**

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

Orientador: Prof. Me. Leandro Maia  
Nogueira

**Taubaté – SP  
2018**

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

G635u    Gonçalves, Talita Ferreira  
          Utilização do método DMAIC para aumento de capacidade de produção /  
          Talita Ferreira Gonçalves; Yasmin Antonietti. -- 2018.  
          39 f. : il.

          Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de  
          Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.  
          Orientação: Prof. Me. Leandro Maia Nogueira, Departamento de  
          Engenharia Mecânica.

          1. DMAIC. 2. Melhoria contínua 3. Produtividade. I. Título.  
          II. Antonietti, Yasmin. III. Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD – 658.5

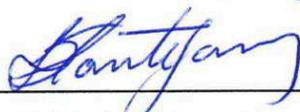
Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

**TALITA FERREIRA GONÇALVES  
YASMIN ANTONIETTI**

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA AUMENTO DE CAPACIDADE DE  
PRODUÇÃO**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO  
EM ENGENHARIA 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. Leandro Maia Nogueira  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Me. Ivair Alves dos Santos  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

08 de novembro de 2018

Dedicamos este trabalho a Deus, a  
nossas famílias e amigos queridos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por nossas vidas, famílias, amigos por ter nos proporcionado chegar até aqui.

Aos nossos pais Ledilson, Angelita, Odilon e Nilcéia por incentivarem nossos estudos e acreditarem nos nossos sonhos.

Ao parceiro Ryan Furukawa por todo apoio e companheirismo no decorrer desta jornada.

Ao grande amigo Clovis Lezzo por todo aprendizado, incentivo, motivação e força para enfrentarmos todos os obstáculos.

Ao nosso orientador Prof. Me. Leandro Maia Nogueira por auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Me. Ivair Alves dos Santos por toda ajuda, todo incentivo e motivação na realização deste trabalho.

Aos participantes da banca examinadora pela disponibilidade.

Aos amigos que nos apoiaram, ajudaram e incentivaram nos permitindo chegar hoje ao final desse ciclo.

A comunidade acadêmica da Universidade de Taubaté – UNITAU que contribuiu de maneira satisfatória com nosso desenvolvimento acadêmico.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação.

*“Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você jamais a terá. A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de experiência e de competência.”*

*(Henry Ford)*

## RESUMO

Amplamente adotada atualmente por várias empresas, a metodologia Seis Sigma tem como finalidade reduzir os custos organizacionais, aumentar expressivamente a qualidade e a produtividades de produtos e serviços. Para implementar a metodologia Seis Sigma nas empresas, devem ser aplicadas diversas técnicas e ferramentas para a análise e solução de problemas. Uma ferramenta para auxiliar a definir e identificar a causa do problema é o DMAIC. Com esta ferramenta é possível mapear o processo atual, melhorar e controlar o desempenho do processo. O objetivo exposto neste trabalho remete-se à avaliação da eficiência desta ferramenta, tratando-se de redução de tempo de ciclo de uma determinada operação, considerada o gargalo da linha de produção. A utilização da ferramenta também tem como objetivo a representação da melhoria contínua, podendo ser aplicada em diversos tipos de produtos e processos. Este trabalho foi desenvolvido a partir da coleta de dados para a realização de um estudo de caso, sendo este, um estudo profundo de um objeto em questão de modo que seja obtido amplo e detalhado conhecimento a seu respeito. Os dados coletados tornaram explícita a necessidade de otimização de uma operação com tempo de ciclo elevado, tal coleta resultou em análises que evidenciam as causas raízes e possibilitam a resolução do problema apresentado. Os resultados obtidos concluem a eficácia da aplicação da ferramenta, apresentando resultados positivos expressos em reduções de tempo, aumento da capacidade produtiva e melhoria dos resultados de eficiência da linha de produção.

**Palavras chave:** DMAIC. Produtividade. Melhoria Contínua.

## **ABSTRACT**

Widely adopted by several companies today, the Six Sigma methodology aims to reduce organizational costs, increase significantly the productivity and quality of products and services. To implement the Six Sigma methodology, should be applied several techniques and tools for analysis and troubleshooting. A tool to help define and identify the cause of the problem is DMAIC. With this tool it is possible to map the current process, improve and control the performance of the process. The goal exposed in this work refers to the evaluation of the effectiveness of this tool, in this case a reduction cycle time of a particular operation, considered the bottleneck of production line. The use of the tool also aims at the representation of the continuous improvement and can be applied in various types of products and processes. This work was developed from data collection for a case study, this being, a deep study of a object in question so that broad and detailed knowledge is obtained. The data collected have made explicit the need for optimization of an operation with high cycle time, such resulted in reviews that highlight the root causes and make possible the resolution of the problem presented. The results prove the effectiveness of the application of the tool, showing positive results expressed in time reductions, increased productive capacity and improving the results of efficiency of the production line.

**KEYWORDS:** DMAIC. Productivity. Continuous Improvement.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema ilustrativo das etapas da metodologia DMAIC.....	24
Figura 2 – Diagrama de Ishikawa.....	26
Figura 3 – Gráfico do tempo de ciclo de operação.....	26
Figura 4 – Fluxo do processo.....	27
Figura 5 – Ferramenta de usinagem do furo.....	31
Figura 6 – Ferramenta de chanfro da vela.....	32
Figura 7 – Ferramenta conjugada.....	32
Figura 8 – Ferramentas responsáveis pela usinagem do furo e pelo chanfro do tensionador.....	33
Figura 9 – Dispositivo conjugado.....	33
Figura 10 – Tempo de ciclo da operação 270.....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – SIPOC .....	27
Tabela 2 – Cronoanálise 1 .....	28
Tabela 3 – Cronoanálise 2 .....	29

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNC	Comando Numérico Computadorizado
CTQ	<i>Criticals To Quality</i> (Crítico para a Qualidade)
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i> (Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar)
DPMO	Defeitos Por Milhão de Oportunidades
JPH	<i>Jobs Per Hour</i> (Produto Por Hora)
SIPOC	<i>Supplier, Input Process, Output, Customer</i> (Fornecedores, Entradas, Processo, Saídas, Clientes)
VOC	<i>Voice Of Customer</i> (Voz do Cliente)

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
2.1	QUALIDADE .....	14
2.2	RAZÕES PARA IMPLEMENTAR O SEIS SIGMA .....	15
2.3	DMAIC .....	16
2.3.1	Definir .....	17
2.3.2	Medir .....	17
2.3.3	Analisar.....	18
2.3.4	Melhorar.....	18
2.3.5	Controlar .....	18
2.4	FERRAMENTA DE USINAGEM .....	19
2.5	FERRAMENTAS DE USINAGEM E O CUSTO DE PRODUÇÃO .....	20
3	METODOLOGIA .....	21
3.1	DEFINIÇÃO DOS MÉTODOS DE PESQUISA .....	21
3.1.1	Conforme a abordagem .....	21
3.1.2	Conforme o objetivo.....	22
3.1.3	Conforme os procedimentos técnicos.....	22
3.2	Estudo de caso .....	23
4	DESENVOLVIMENTO .....	24
4.1	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA.....	24
4.2	APLICAR A METODOLOGIA .....	25
4.2.1	Definir o escopo.....	25
4.2.2	Medir e Mapear a Situação Atual.....	28
4.2.3	Analisar.....	28
4.2.4	Melhorar.....	29
4.2.5	Controlar .....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
6	CONCLUSÃO .....	35
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	36
	REFERÊNCIAS .....	37

## 1 INTRODUÇÃO

A atual aproximação dos mercados financeiros entre países torna a competição entre as indústrias cada vez maior, essa interação faz com que as empresas busquem inovações e aperfeiçoamento de modo a enfrentar os crescentes desafios. A necessidade de maior controle no processo produtivo passa a ser uma grande preocupação entre as instituições que buscam novas estratégias e mecanismos para interceptar problemas e situações que possam tornar-se desconhecidos no cotidiano da produção.

No setor de Usinagem, que evidentemente apresenta maior complexidade no processo, o cenário torna-se ainda mais agravante, resultando em problemas que podem se tornar não tão facilmente detectáveis.

A contratação de empresas responsáveis por gerenciamento de ferramentas que possam auxiliar no processo produtivo torna-se cada vez mais frequente. A finalidade é utilizar as ferramentas de modo a atender situações específicas de modo eficaz e obter maior controle dos itens produtivos, sendo assim, a necessidade de aplicação de fluxos para o processo torna-se essencial. Todavia, os fornecedores de ferramentas desejam apenas vender seus produtos, sem que haja necessidade de se importar com a identificação de pontos resultantes dos levantamentos de resultados da produção.

O entusiasmo para a realização deste trabalho se baseou no contexto anterior e tem como finalidade a apresentação de um estudo de caso sobre a aplicação da metodologia Seis Sigma, tornando evidente como a utilização de tal método é eficaz, não sendo necessário depender apenas da gestão apresentada pelos fornecedores de ferramentas.

A metodologia Seis Sigma vinculada à ferramenta DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) é uma estratégia adotada por empresas para aprimorar a qualidade de seus produtos e serviços.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir será abordado a utilização da metodologia DMAIC e serão descritas as suas principais fases: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar.

### 2.1 QUALIDADE

Devido a competição global, o desempenho dos processos de fabricação nas linhas de usinagem tornou-se o escopo dos gestores das empresas do ramo visto que é um impacto no custo do produto final. De acordo com Harry e Schroeder (2000), há estudos comprovados que empresas que implementaram a metodologia DMAIC, obtiveram uma redução de custo mais rapidamente do que empresas que não aderiram ao modelo, além de atingirem maiores margens de lucro e clientes mais satisfeitos.

Segundo Scatolin (2005) é necessário um investimento inicial, porém o retorno gerado é maior do que o investido. Para Hoerl (2001) a metodologia DMAIC tem se tornado popular em virtude das bem sucedidas aplicações em grandes organizações mundiais como a IBM e a Motorola. A Motorola conquistou o Prêmio *Malcolm Baldrige* de Qualidade em 1988 em virtude dos resultados que obteve e a metodologia Seis Sigma foi identificada como responsável do sucesso alcançado pela organização. (BREYFOGLE III *et al* 2001).

Para Bisgaard e Freiesleben (2001) o sucesso da metodologia DMAIC se deve a redução de custos e melhora da produtividade por meio de pesquisa de dados, monitoramento de defeitos e maior constância do sistema produtivo.

De acordo com Sanders e Hild (2001) o DMAIC considera que a variação no desempenho dos processos e na qualidade dos produtos influencia no tempo e no custo de fabricação, interferindo de modo direto na satisfação dos clientes.

Para Dambhare *et al* (2013), o Seis Sigma é uma popular metodologia aplicada em inúmeros setores das empresas, trabalhando para aumentar a produtividade e

melhorar a qualidade. Para aplicar a metodologia são realizadas análises detalhadas do processo para que sejam determinadas as causas prováveis do problema. Encontradas as causas, indica-se o aprimoramento dos problemas encontrados.

Conforme cita Werkema (2013), o DMAIC emprega uma escala Sigma, esta escala é um parâmetro estatístico que mede a diferença entre um processo e sua execução, é utilizada para avaliar o nível de qualidade de um processo, convertendo a quantidade de defeitos por milhão. Quanto maior o valor na escala Sigma, melhor será seu nível de qualidade. De acordo com o nível Sigma alcançado por milhão de oportunidades de falhas que ocorrem no processo, é possível realizar um comparativo e posicionar a empresa com relação aos seus concorrentes.

Grande parte das empresas imaginam que reduzir entre 10% a 20% das perdas é satisfatório para concorrer no atual mercado. Através da medição do nível Sigma é possível constatar melhores oportunidades de melhoria de forma mais econômica. A maioria das grandes empresas possuem níveis inferiores a 4 (quatro) Sigma (WERKEMA, 2013).

Segundo Antony e Banuelas (2002) para uma organização aumentar os lucros, é imprescindível a aplicação do DMAIC para que seus resultados sejam financeiramente atraentes, além de reduzir os indicadores de rejeitos, diminuir o retrabalho, melhorar o processo e por consequência aumentar a produção.

## 2.2 RAZÕES PARA IMPLEMENTAR O SEIS SIGMA

De acordo com Rotondaro (2002), os objetivos principais do Seis Sigma são:

- a) minimizar a oscilação dos processos, particularmente dos mais críticos;
- b) minimizar os custos eliminando as atividades não relacionadas ao processo;
- c) otimizar a qualidade do produto final, buscando atingir lucros em níveis ótimos;
- d) eliminar as causas centrais de “variação” para minimizar os “defeitos” nas operações diárias.

Para Rotondaro (2002), as principais vantagens que o Seis Sigma apresenta para as empresas são:

- a) maior agilidade e aumento da produtividade;
- b) melhoria e contenção dos processos internos;
- c) exclusão de defeitos;
- d) menor custo de transações (necessidade de menos conferências e reparos);
- e) diminuição dos custos de Má Qualidade dos processos;
- f) maior satisfação dos clientes.

### 2.3 DMAIC

Para Mim (2014), no sistema Seis Sigma, a metodologia DMAIC indica como corrigir os problemas, por meio de um método padrão para resolver irregularidade e aprimorar o processo. A ferramenta DMAIC é tida como modelo de aprendizagem, mesmo tendo o intuito de “agir” (isto é, realizar melhorias), do mesmo modo que cita que antes de implementar qualquer melhoria deve-se colher os dados atuais.

Segundo Jaglan (2012), no caso da metodologia de resolução de problemas não ser suficientemente ampla, há grande chance da solução encontrada ser ineficiente e como consequência o problema identificado reaparecerá com tempo.

A fim de que a implementação do DMAIC aconteça de maneira eficiente é essencial que haja supervisão mediante a planos de ações, adequando conforme o escopo da empresa (SANTOS, 2010).

O DMAIC é uma metodologia predeterminada e decomposta em cinco etapas padronizadas definir, medir, analisar, implementar e controlar (KUAN, 2012). Analisando essas etapas, nota-se que as cinco etapas são interdependentes. Cada etapa tem um efeito cumulativo sobre a anterior. (MANDAL, 2012).

As etapas que compõem a metodologia DMAIC, serão indicadas nos itens a seguir.

### 2.3.1 Definir

Para Jaglan (2012) esta fase consiste em definir o que o cliente exige.

A etapa Definir inicia com a indicação da equipe bem como suas obrigações, o escopo do projeto, o cronograma, a finalidade e o impacto financeiro previsto. (MIM, 2014).

O processo inicia-se identificando e definindo o processo, o problema ou a oportunidade de melhoria a ser implementada.

É recomendado apontar os processos críticos responsáveis pela origem de resultados insatisfatórios nesta etapa, como por exemplo: reclamações de clientes e internas, altos custos de mão de obra, custos de não qualidade, alto índice de scrap, etc. (CARVALHO; PALADINI, 2005).

### 2.3.2 Medir

De acordo com Lin *et al* (2013), o intuito desta fase é estabelecer técnicas para coletar dados acerca do desempenho atual do setor em estudo. A coleta é feita através de análises qualitativas e quantitativas mediante a indicadores de desempenho, análises de sistema de medição, entrevistas, etc.

Segundo Kuan (2012) é nesta etapa que são definidos aspectos críticos para a qualidade, em variável de processo.

Os dados coletados devem conter informações que evidenciem oportunidades de melhoria. Aspectos do processo que não foram notados anteriormente devem ter especial atenção já que nunca foram identificados como possível falha.

Os dados levantados serão imprescindíveis para ratificar e quantificar o problema e/ou a oportunidade, visando determinar as prioridades e as tomadas de decisões (LIN *et al* 2013).

### **2.3.3 Analisar**

Segundo Jaglan (2012), a fase Analisar tem como finalidade, indicar variáveis que podem interferir nos indicadores do processo. Por essa razão, os dados coletados na etapa anterior (Medir) são examinados por meio de ferramentas estatísticas que contribuem para as análises.

O principal objetivo desta fase é definir a causa raiz do problema, sendo de extrema importância a elaboração de um plano de ação que interfira de forma direta na causa real do problema, e não somente nos possíveis efeitos (MIM, 2014).

### **2.3.4 Melhorar**

Após todas as informações serem analisadas e os possíveis problemas apresentados, define-se a melhor ação com objetivo de diminuir os níveis de falha do processo.

Segundo Santos (2006), a confirmação de melhoria do processo está relacionada a uma solução adequada para eliminar e prevenir que ocorram novos problemas.

### **2.3.5 Controlar**

Na última etapa do processo DMAIC é validada a implantação da melhoria, a solução dos problemas, a comprovação dos benefícios, executadas as modificações necessárias no processo em geral e implantadas as ferramentas de controle necessárias (MATOS, 2003).

## 2.4 FERRAMENTA DE USINAGEM

Grande parte dos produtos fabricados dependem do processo de usinagem em alguma etapa do seu processo de fabricação tanto de forma direta quanto indireta (WALKER, 2000). Por esse motivo as indústrias metalúrgicas investem de forma estratégica em tecnologias de máquinas e ferramentas para fabricar peças usinadas (ZONTA JUNIOR, 2008).

De acordo com Zonta Junior (2008), antes de introduzir as máquinas de Comando Numérico Computadorizado, eram utilizadas somente máquinas convencionais, que eram gerenciadas durante toda a execução de uma tarefa. Com a implantação das máquinas de CNC, dentre outras tecnologias no ramo da Usinagem o tempo de usinagem diminuiu, o que gerou um aumento significativo na produtividade. Em razão disso, as empresas expandiram a utilização de novos ferramentais, provocando o aumento das informações que devem administradas.

Boehs e Castro (2008) cita que com o desenvolvimento das ferramentas de usinagem houve um aumento dos itens que devem ser controlados, levando ao aparecimento de inúmeros problemas, assim como o gerenciamento de estoque. Com o objetivo de resolver esses problemas, apareceu a necessidade da utilização de um sistema computacional capaz de efetuar o controle das ferramentas de usinagem.

Com o gerenciamento de ferramentas, ocorre a redução de custos e variação dos problemas gerados durante os processos de usinagem (FAVARETTO, 2005).

Em empresas onde há uma grande variedade de peças para a montagem final do produto é exigido um maior controle dos itens por meio de um sistema computacional, uma vez que ter inúmeras peças para usinar requer inúmeros tipos de ferramentas, dispositivos, acessórios, entre outros.

De acordo com Hillmann (2014), é indispensável utilizar ferramentas capazes de analisar os indicadores e identificar as possíveis causas raiz do problema. Formar parcerias com instituições qualificadas para gerenciar ferramentas torna mais fácil a tarefa de administrar as ferramentas utilizadas pela produção. Segundo Castro (2004), uma boa estratégia é contratar empresas capazes de auxiliar no gerenciamento de ferramentas.

## 2.5 FERRAMENTAS DE USINAGEM E O CUSTO DE PRODUÇÃO

Castro (2004) cita que o objetivo principal do gerenciador é obter eficiência no emprego das ferramentas de corte assim como melhorar o processo de produção na usinagem, escolher corretamente os parâmetros do processo, impedir o desgaste excessivo da ferramenta, ausência de máquina devido a quebras no processo e paradas não programadas.

De acordo com Castro (2004) o gasto fixo com ferramentas de corte, podem representar uma variação de 3% a 5% do custo total do processo de fabricação de um produto. Os outros 95% correspondem à utilização de forma eficiente das ferramentas de corte visto que estas interferem diretamente no custo de fabricação.

Em se tratando de melhorias, deve-se considerar o valor agregado ao produto, sendo que a gestão de ferramentas facilita e identifica em quais pontos o DMAIC pode auxiliar a reduzir os custos. A vantagem de aplicar essa metodologia está no levantamento de práticas empíricas a fim de aumentar a competitividade entre as empresas por meio de redução do prazo, redução de custo e aumento da qualidade (SÁNCHEZ; PÉREZ, 2001).

Os indicadores de processos geralmente se baseiam no tempo de ciclo e no custo médio, o que pode ocasionar falhas por não serem consideradas as variações do processo. A ênfase do Seis Sigma está nas variações dos produtos e processos, que podem afetar diretamente na satisfação do cliente, tendo como exemplo o tempo de fabricação, a qualidade e o custo (SANDERS; HILD, 2001).

De acordo com Slack *et al* (2009), há uma concorrência acirrada entre as empresas relacionada aos preços e custos da produção. Uma vez que quanto menor o custo de fabricação de um produto ou serviço, menor será o preço final pago pelo consumidor. Quanto menor o preço final do produto ou serviço mais competitiva esta empresa será.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 DEFINIÇÃO DOS MÉTODOS DE PESQUISA**

Conforme Gil (1991) evidencia em seus trabalhos, uma pesquisa pode ser definida como um procedimento racional e sistemático que tem como objetivo apresentar propostas para os problemas propostos. A pesquisa torna-se necessária quando não se dispõe de informação suficiente ou a mesma encontra-se disposta de forma desordenada e não pode ser relacionada corretamente ao problema.

Para Gil (1991) a pesquisa é desenvolvida mediante aos recursos disponíveis, informação e a utilização correta de métodos e técnicas. A pesquisa é um processo, e é dividida em diversas fases. Estas fases decorrem desde a apresentação e organização das informações e correta formulação do problema até o desfecho e apresentação satisfatória de resultados, e conseqüentemente a resolução dos problemas.

##### **3.1.1 Conforme a abordagem**

Após a definir o problema, a etapa seguinte consiste na escolha do modelo de pesquisa que será base para futuras atividades. Segundo Gil (1991) o modelo de pesquisa pode ser classificado como qualitativo ou quantitativo.

A pesquisa é considerada quantitativa quando os problemas podem ser quantificados em busca de soluções, por meio de técnicas e ferramentas da qualidade, como por exemplo em testes de hipótese e testes de correlação. Já a pesquisa qualitativa é considerada menos formal, e depende de muitos fatores como a natureza dos dados coletados e extensão da amostra, esse processo é definido como uma sequência de atividades, como por exemplo análise de conteúdo e análise de discurso (GIL, 1991).

### **3.1.2 Conforme o objetivo**

Quanto aos objetivos, as pesquisas classificam-se em Pesquisa Exploratória, Pesquisa Descritiva e Pesquisa Explicativa (GIL, 1991).

De acordo com Gil (1991), a pesquisa exploratória tem o propósito de gerar maior proximidade com o problema e deixá-lo satisfatório uma vez que o mesmo pode ser construído com base em hipóteses ou intuições que abrangem o levantamento bibliográfico, exemplos e citações que colaborem para a clareza do assunto, além de entrevistas com pessoas que tiveram conhecimento prático do problema pesquisado. Estudos de caso e pesquisas bibliográficas são amplamente utilizados nas pesquisas exploratórias, visto que a intuição do pesquisador é muito utilizada.

A Pesquisa Descritiva descreve cuidadosamente o objeto de estudo, que pode ser um fenômeno, população ou problema, por exemplo, e utiliza a coleta e o levantamento de dados qualitativos, mas sobretudo dados quantitativos (GIL, 1991).

A pesquisa explicativa tem como objetivo identificar e explicar o que causa determinado problema em estudo, mostrando a realidade ao explicar o porquê das coisas. Costumam dar sequência a pesquisas descritivas e exploratórias, visto que oferecem uma visão mais minuciosa do assunto e do tema abordado (GIL, 1991).

### **3.1.3 Conforme os procedimentos técnicos**

Segundo Gil (1991), os procedimentos técnicos classificam-se em:

- a) pesquisa bibliográfica, baseia-se em materiais elaborados anteriormente, é composta especialmente por livros e artigos científicos;
- b) pesquisa documental, similar a bibliográfica, no entanto refere-se a materiais que ainda não foram avaliados criticamente;
- c) pesquisa experimental, compreende em determinar formas de observação e controle dos resultados gerados pela variável.

### 3.2 ESTUDO DE CASO

Este trabalho trata-se de um estudo de caso.

Para Gil (1991) estudo de caso significa o estudo profundo e exaustivo de um objeto de estudo, de modo que seja obtido amplo e detalhado conhecimento a seu respeito.

De acordo com Gil (1991), o estudo de caso era a princípio considerado um procedimento transigente e somente era aplicado para pesquisas exploratórias. Entretanto, atualmente é adotado como método mais conveniente para investigar um fenômeno atual dentro de seu real contexto, onde os limites entre o fenômeno e o contexto não são percebidos claramente (YIN, 2001).

Segundo Gil (1991), algumas das finalidades relevantes do estudo de caso são:

- a) expor o contexto da investigação;
- b) desenvolver hipóteses ou elaborar teorias;
- c) explicar causas de fenômenos complexos que não permitem levantar dados ou realizar experimentos.

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

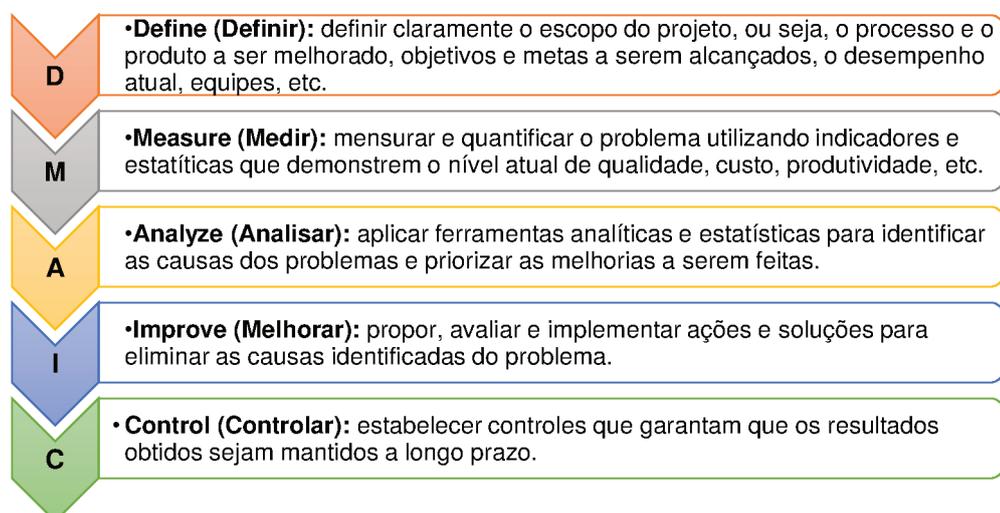
O estudo de caso exposto foi executado mediante ao levantamento de dados por meio do acompanhamento da produção, indicadores de desempenho e outras ferramentas fundamentais para a realização desta análise.

O projeto foi realizado em uma empresa de grande porte situada na região do Vale do Paraíba que atua no ramo de produção de peças usinadas com o objetivo de aumentar a capacidade de produção da operação em estudo.

Segundo Hillmann (2014), para o sucesso de uma empresa ser possível, é imprescindível que seus processos possuam alta qualidade. Tal circunstância demanda ferramentas adequadas para que seja possível analisar todas as prováveis causas raízes da adversidade encontrada e posteriormente realizar a aplicação de metodologias capazes de solucionar os problemas de forma eficaz.

No presente caso, a metodologia DMAIC foi considerada a mais apropriada para ser aplicada devido ao alto custo do setor de usinagem. A Figura 1 expõe as cinco etapas do DMAIC.

Figura 1 – Esquema ilustrativo das etapas da metodologia DMAIC



Fonte: Werkema (2013) – adaptado pelo autor

## 4.2 APLICAR A METODOLOGIA

A seguir serão detalhados os passos da metodologia DMAIC, conforme o projeto definido para desenvolvimento deste trabalho. Serão apresentadas as etapas Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar aplicadas com o intuito de aumentar a capacidade de uma determinada operação de usinagem.

### 4.2.1 Definir o escopo

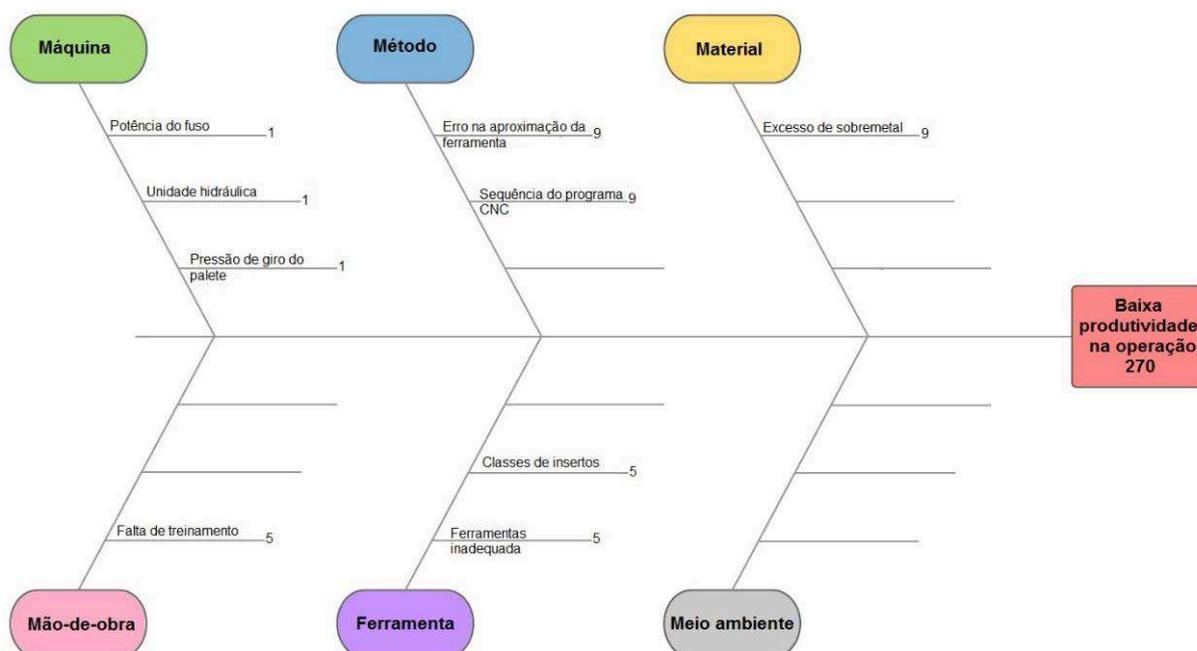
A primeira etapa da metodologia resume-se em definir qual a razão pela qual determinada operação estava inibindo a produtividade da operação posterior.

Nesta fase foi discutido com os *champions* do processo com o objetivo de definir os indicadores e a etapa que estava contribuindo para a perda de produção, sendo que o escopo foi a identificação do gargalo, conforme requisito do cliente:

- a) custo por qualidade (requerido pelo cliente): gross acima de 56 JPH;
- b) definição do defeito para o Y (métrica de engenharia): operação inibindo produtividade da operação posterior;
- c) problema, escopo e objetivo: redução do ciclo máquina.

Após ouvir a voz do cliente (VOC) e definir o escopo e o objetivo foi desenvolvida uma discussão e através de uma espinha de peixe, foram levantadas as principais variáveis que poderiam contribuir para esse modo de falha, conforme Figura 2.

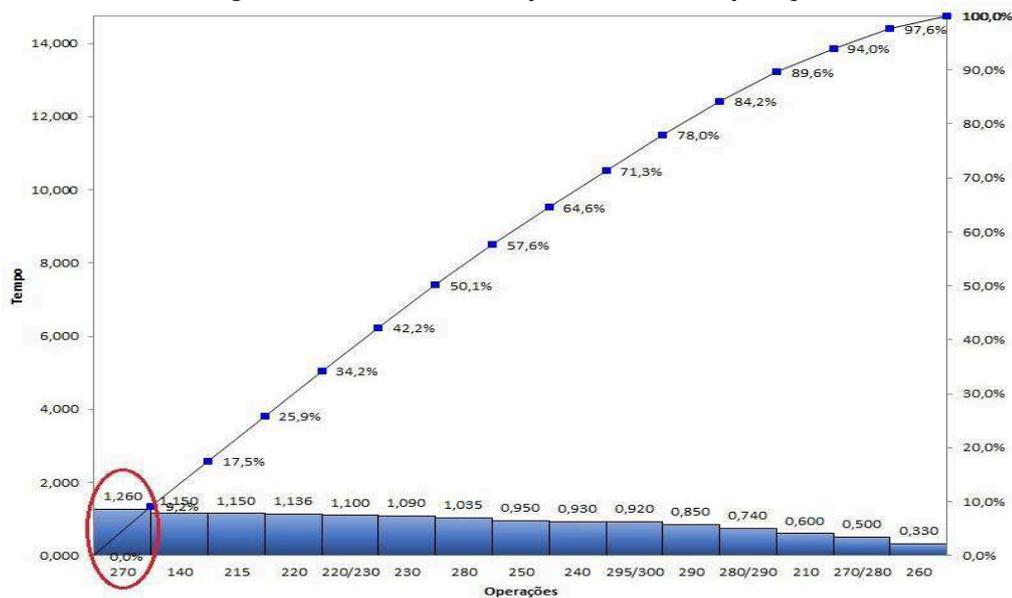
Figura 2 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Elaborado pelo autor

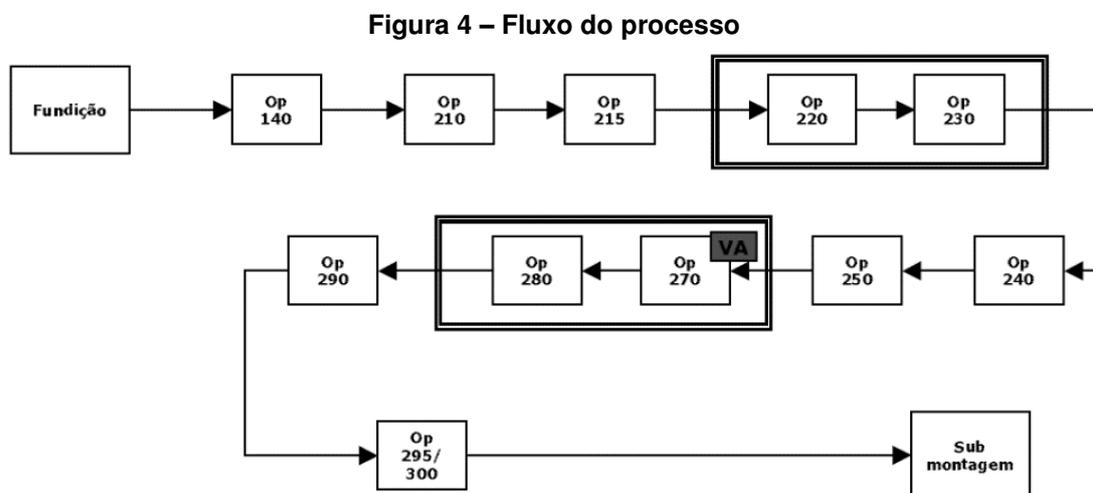
Após a análise do gráfico de Pareto (Figura 3), foram identificadas as possíveis variáveis e observou-se a presença de um gargalo na linha de produção, além de facilmente constatar que o seu tempo de ciclo da operação em estudo é superior ao tempo das outras operações presentes no processo. O objeto de estudo foi a operação 270, responsável por parte da usinagem do cabeçote do motor.

Figura 3 – Gráfico do tempo de ciclo de operação



Fonte: Elaborado pelo autor

Foi realizado um mapeamento do processo de usinagem identificando o escopo do projeto conforme figura abaixo (Figura 4).



Fonte: Elaborado pelo autor

Para simplificar a visão do processo foi elaborado um SIPOC (*Supplier-Input-Process-Output-Customer*), traduzido para o português como Fornecedores, Entradas, Processo, Saídas e Clientes (Tabela 1). Esta ferramenta busca melhorar o entendimento do processo definindo suas partes principais.

Tabela 1 – SIPOC

S (fornecedor)	I (entrada)	P (processo)	O (saída)	C (Cliente)
Fundição; TCM;	Cabeçote fundido Máquina Heller	Usinagem do assento da vela; Rosqueamento da vela; Rosca do suporte do coxim; Acabamento da face traseira; Furo de lubrificação do tensionador.	Gross de 56 JPH	Submontagem

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.2 Medir e Mapear a Situação Atual

Após medir o tempo de ciclo desta máquina ela foi identificada como a máquina com maior tempo de ciclo, ou seja, gargalo.

Foi realizada uma cronoanálise do processo conforme Tabela 2.

**Tabela 2 – Cronoanálise 1**

Cabeçote – máquina					
OP#	M/C	Ciclo tempo Maquina	Capacidade JPH		Ranking de Gargalo
	QTY		Total 100%	Total 85%	
Op 140	1	1,15	52,2	44,3	2
Op 210	1	0,60	100,0	85,0	13
Op 215	2	2,30	52,1	44,3	3
Op 220	5	5,68	52,8	44,9	4
Op 220/230	1	1,10	54,5	46,4	5
Op 230	6	6,54	55,1	46,8	6
Op 240	1	0,93	64,7	55,0	9
Op 250	1	0,95	63,2	53,7	8
Op 260	1	0,33	180,2	153,2	15
<b>Op 270</b>	<b>2</b>	<b>2,52</b>	<b>47,6</b>	<b>40,5</b>	<b>1</b>
Op 270/280	1	0,50	120,0	102,0	14
Op 280	4	4,14	57,9	49,2	7
Op 280/290	1	0,74	81,4	69,2	12
Op 290	1	0,85	70,9	60,3	11
Op 295/300	1	0,92	65,2	55,4	10

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.3 Analisar

Por meio do diagrama de Ishikawa e do gráfico de Pareto foram identificados três principais contribuintes para esse modo de falha. São eles:

- a) ciclo máquina fora do desejado;
- b) excessos de giros de mesa alternados;
- c) ferramentas não capazes para operação.

#### 4.2.4 Melhorar

As ações realizadas foram as seguintes:

- a) alterada seqüência de usinagem para que o giro da mesa fosse sempre no mesmo sentido, eliminando eventuais problemas de folga na mesa CNC;
- b) foi implementado um novo conceito de usinagem para essa operação;
- c) conjugado ferramenta de usinagem do furo com o rebaixo do chanfro da rosca da vela;
- d) conjugado ferramenta do furo do tensionador.

As ferramentas conjugadas foram as seguintes:

- e) usinagem do tensionador;
- f) usinagem da vela do motor.

Após executar as ações propostas, foi realizada uma nova cronoanálise do processo, assim ficou evidenciado que o objetivo do estudo de caso que foi a identificação e realização de ações para eliminar o gargalo na operação 270 foi cumprido com sucesso. Conforme demonstra a Tabela 3.

**Tabela 3 – Cronoanálise 2**

(continua)

Cabeçote – Máquina					
OP#	M/C	Ciclo tempo Máquina	Capacidade JPH		Ranking de Gargalo
	QTY		Total 100%	Total 85%	
Op 140	1	1,15	52,2	44,3	2
Op 210	1	0,60	100,0	85,0	13
Op 215	2	2,30	52,1	44,3	1
Op 220	5	5,68	52,8	44,9	3
Op 220/230	1	1,10	54,5	46,4	4
Op 230	6	6,54	55,1	46,8	6
Op 240	1	0,93	64,7	55,0	9
Op 250	1	0,95	63,2	53,7	8
Op 260	1	0,33	180,2	153,2	15
<b>Op 270</b>	<b>2</b>	<b>2,18</b>	<b>56,0</b>	<b>47,6</b>	<b>5</b>
Op 270/280	1	0,50	120,0	102,0	14

Tabela 4 – Cronoanálise 2

(conclusão)

Cabeçote – Máquina					
OP#	M/C	Ciclo tempo Máquina	Capacidade JPH		Ranking de Gargalo
	QTY		Total 100%	Total 85%	
Op 280	4	4,14	57,9	49,2	7
Op 280/290	1	0,74	81,4	69,2	12
Op 290	1	0,85	70,9	60,3	11
Op 295/300	1	0,92	65,2	55,4	10

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.5 Controlar

Na etapa controlar foram identificadas as seguintes ações:

- a) manter *float* de ferramenta na tcm;
- b) realizar geometria nos dispositivos e máquinas;
- c) implementar ficha de manutenção preventiva para revisão dos parâmetros de usinagem;
- d) realizar auditoria de ciclo máquina da engenharia industrial.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

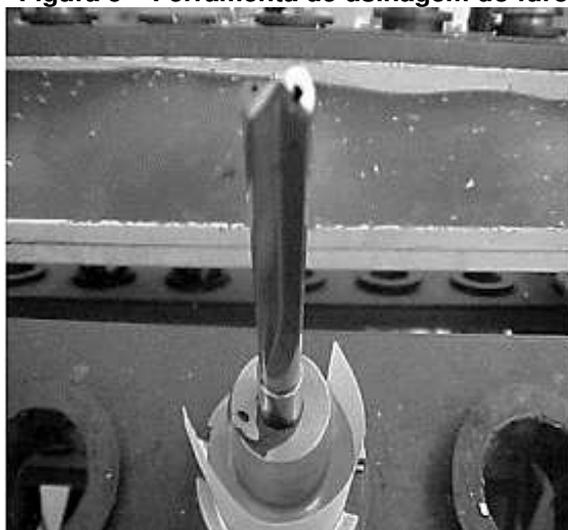
A seguir serão evidenciadas as ações realizadas, os resultados obtidos e suas respectivas aplicações no estudo de caso.

### 5.1 AÇÕES REALIZADAS

Primeiramente, a sequência de usinagem da operação foi alterada, de modo que o giro da mesa fosse realizado sempre no mesmo sentido, extinguindo assim a realização de giros desnecessários e eliminando assim a possibilidade de eventuais problemas de folga na mesa CNC.

Em seguida, novos conceitos de usinagem foram aplicados para a realização desta operação. Ao analisar o ferramental, um novo dispositivo foi implementado permitindo a unificação de dois tipos de atividades presentes na operação, sendo estas: ferramenta de usinagem do furo (Figura 5) e ferramenta de chanfro da vela (Figura 6).

**Figura 5 – Ferramenta de usinagem do furo**



Fonte: O autor

**Figura 6 – Ferramenta de chanfro da vela**



Fonte: O autor

Após a unificação das atividades, a ferramenta conjugada (Figura 7) foi implementada.

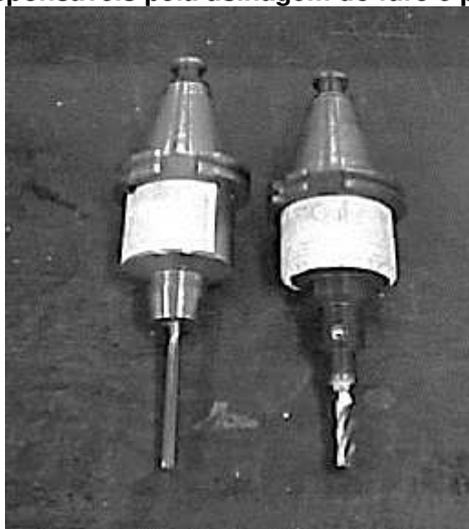
**Figura 7 – Ferramenta conjugada**



Fonte: O autor

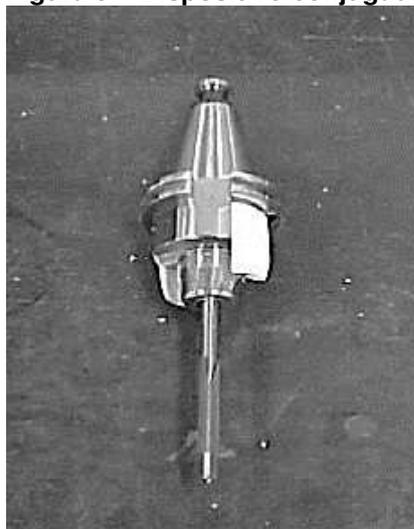
O procedimento de aplicação do novo conceito de usinagem foi igualmente aplicado na ferramenta responsável pelo chanfro do tensionador. Conforme pode ser observado, as ferramentas responsáveis pela usinagem do furo e pelo chanfro do tensionador (Figura 8), foram substituídos por um dispositivo conjugado (Figura 9).

**Figura 8 – Ferramentas responsáveis pela usinagem do furo e pelo chanfro do tensionador**



Fonte: O autor

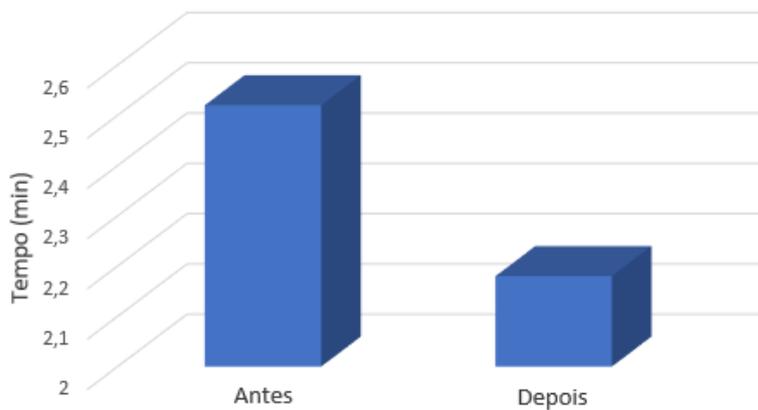
**Figura 9 – Dispositivo conjugado**



Fonte: O autor

Evidenciou-se que houve uma melhora significativa após implementadas as ações para melhoria do processo produtivo. As ações resultaram na otimização do tempo de ciclo máquina, eliminando assim o gargalo, aumentando a capacidade produtiva da operação e melhorando os resultados da eficiência da linha de produção.

No gráfico (Figura 10) é possível observar a comparação entre o tempo de ciclo da operação antes e depois da aplicação da ferramenta DMAIC para melhoria do processo. Inicialmente, a operação apresentava 2,52 minutos para realização do trabalho e após a aplicação da ferramenta, a mesma obteve redução e apresentou tempo de ciclo de 2,18 minutos.

**Figura 10 – Tempo de ciclo da operação 270**

**Fonte: O autor**

Com a redução de 13,5% do tempo de usinagem, e 15% de aumento de produção, o nível Sigma do processo que antes era avaliado em 1,04 sigma apresentou melhoria e atingiu o valor de 6,56 sigma.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho, apresentado por meio de um estudo de caso, tornou possível a aplicação da metodologia Seis Sigma atrelada às fases do DMAIC em uma linha de produção de usinagem. A otimização do processo produtivo, redução do tempo de operação, eliminação de gargalo e aumento da eficiência da linha de produção são resultados decorrentes da aplicação desta metodologia.

Após a realização das análises necessárias, afim de eliminar o gargalo e aumentar a produtividade das operações, permitiu-se realizar as seguintes conclusões:

- a) é notável que a ferramenta DMAIC pode ser aplicada em diversas atividades presentes na linha de produção. Nas demais operações, a mesma pode atuar na realização de uma análise pontual, pois mesmo que a máquina seja devidamente planejada, sempre existirão variáveis que podem ser aperfeiçoadas, permitindo reduções de tempo e outras melhorias adversas;
- b) a ferramenta DMAIC atingiu o objetivo proposto e proporcionou resultados positivos, comprovando que a aplicação da metodologia é eficaz. Os indicadores de eficiência e produtividade da operação apresentaram melhoria, resultando desta forma, em maior desempenho do processo;
- c) a ferramenta mostrou-se significativamente prática, atuando diretamente em problemas pontuais, apresentando análises de fácil entendimento e boa orientação para apresentação das soluções necessárias.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho em questão foi desenvolvido por um grupo de pessoas voltadas ao gerenciamento da metodologia Seis Sigma, o presente problema apresentado trata-se de uma operação específica contida em uma linha de produção de usinagem.

No entanto, futuros desenvolvimentos podem surgir a partir da experiência relatada sobre o manuseio da ferramenta DMAIC contida neste trabalho, podendo assim aperfeiçoar outras operações e processos existentes no ambiente fabril.

A ferramenta também pode ser aplicada em diversos tipos de processos e produtos existentes em diferentes setores e empresas, com o objetivo de apresentar soluções para eventuais modos de falha e auxiliar na busca pela melhoria contínua.

## REFERÊNCIAS

- ANTONY, J.; BANUELAS, R. **Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program**: Measuring Business Excellence, v. 6, n. 4, p. 20-27, 2002.
- BISGAARD, S; FREIESLEBEN, J. **Economics of Six Sigma. Quality Engineering**. Monticello. New York: Marcel Dekker. V.13, n.2, p.325-331. 2000-01.
- BOEHS, L.; CASTRO, P. R. A. **Planejamento Técnico no Gerenciamento de Ferramentas - Estudos de caso em empresas do setor metal-mecânico brasileiro**. In: V - CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2008, Salvador. Anais -V - CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Rio de Janeiro: ABCM, 2008. v. 1. p. 1-10.
- BREYFOGLE III F. W.; CUPELLO J. M.; MEADOWS, B. **Managing Six Sigma: a practical guide to understanding, assessing, and implementing the strategy that yields bottom-line success**. New York: John Wiley e Sons, Inc., 2001.
- CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- CASTRO, P. R. A. **O que é exatamente o Gerenciamento de Ferramentas**. Revista Máquinas e Metais, Aranda Editora, p.108-110, mar. 2004.
- DAMBHARE, SUNIL **Productivity Improvement of a Special Purpose Machine Using DMAIC Principles: A Case Study**. Journal of Quality and Reliability Engineering, 2013.
- FAVARETTO, A. S. **Estudo do Gerenciamento de Ferramentas de Corte na Indústria Automotiva de Curitiba e Região Metropolitana**. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) PUC-PR. Curitiba, 2005.
- GIL, A. C., **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª edição, São Paulo. Editora Atlas, 1991.
- HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations**. Nova York: Currency, 2000.
- HILLMANN, M. *et al* **Improving small-quantity assembly lines for complex industrial products by adapting the Failure Process Matrix (FPM): a case study**. Graduate School of advanced Manufacturing Engineering. Stuttgart, Germany, 2014.
- HOERL, R. **Six Sigma black belts: what do they need to know**. Journal of Quality Technology, v. 33 (4), 2001.

JAGLAN P.; KAUSHIK P.; KHANDUJA D.; MITTAL K. **A case study: Application of Six Sigma methodology in a small and medium-sized manufacturing enterprise.** The TQM Journal, Vol. 24 Issue: 1, pp.4-16. 2012.

KUAN, Chi-Ming. **Research on product reliability improvement by using DMAIC process: A case study of cold cathode fluorescent lamp,** Asian Journal on Quality, Vol. 13 Issue: 1, pp.67-76. 2012.

LIN, C. *et al.* **Continuous improvement of knowledge management systems using Six Sigma methodology.** Robotics and Computers-Integrated Manufacturing, v.29, p. 93-103, 2013.

MANDAL, P. **Improving process improvement: executing the analyze and improve phases of DMAIC better,** International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 3 Iss 3 pp. 231 – 250. 2012.

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

MIM, P. L.; REYES, J. A. G.; KUMAR, V.; LIM, M. K. **A Six Sigma and DMAIC application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process,** International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 5 Iss 1 pp. 2 – 21. 2014.

ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma estratégia gerencial para a melhoria dos processos, produtos e serviços.** São Paulo: Atlas, 2002, p. 17-22.

SÁNCHEZ, A. M.; PÉREZ, M. P. **Lean indicators and manufacturing strategies.** International Journal of Operations e Production Management. Vol. 21, n. 11, p. 1433-1451, 2001.

SANDERS, D.; HILD, C. R. **Common myths About Six Sigma. Quality Engineering.** Monticello. N.Y.: Marcel Dekker. V.13, n.2, p.269-276, 2000-01.

SANTOS, A. B. **Modelo de referência para estruturar o programa de qualidade Seis Sigma: proposta e avaliação.** Tese (Doutorado), UFSCAR, 2006.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. **Contribuições do Seis Sigma: estudo de caso em multinacionais.** Produção, v.20, n.1, jan./mar. 2010.

SCATOLIN, A. C. **Aplicação da metodologia seis sigma na redução das perdas de um processo de manufatura.** São Paulo: [s.n.], 2005.

SLACK, N. **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 2009. p. 48,49.

WALKER, J. **Machining Fundamentals.** GW Publisher, USA: 2000.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZONTA J. A. **Gerenciamento de ferramentas: muito além do controle logístico**. Revista O Mundo da Usinagem. Publicação Divisão Coromant Sandvik do Brasil. 53.2008, p.12-16, 2008.