

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**RAFAEL NICOLINI DOS SANTOS**

**DESGASTE PREMATURO DE INSERTOS DE METAL  
DURO NO TORNEAMENTO DEVIDO Á  
PARÂMETROS DE CORTE INADEQUADOS**

**Taubaté - SP**  
**(2018)**

**RAFAEL NICOLINI DOS SANTOS**

**DESGASTE PREMATURO DE INSERTOS DE METAL  
DURO NO TORNEAMENTO DEVIDO Á  
PARAMETROS DE CORTE INADEQUADOS**

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

Orientador: Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani

Coorientador: Prof. Msc. Ivair Alves dos Santos

**Taubaté – SP  
2018**

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

S237d Santos, Rafael Nicolini dos  
Desgaste prematuro de insertos de metal duro no torneamento devido á parâmetros de corte inadequados / Rafael Nicolini dos Santos. -- 2018.  
35 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.  
Orientação: Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani, Departamento de Engenharia Mecânica.  
Coorientação: Prof. Me. Ivair Alves dos Santos, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Custos. 2. DMAIC. 3. Insertos. I. Título. II. Graduação em Engenharia Mecânica.

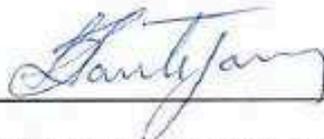
CDD – 658.5

**RAFAEL NICOLINI DOS SANTOS**

**DESGASTE PREMATURO DE INSERTOS DE METAL DURO NO TORNEAMENTO  
DEVIDO À PARAMETROS DE CORTE INADEQUADOS**

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

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



Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani

Coordenador de Trabalho de Graduação

**BANCA EXAMINADORA:**



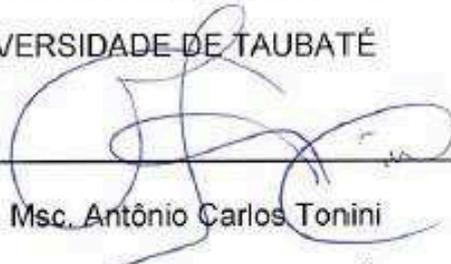
Prof. Me. Fabio Henrique Fonseca Santejani

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Msc. Ivair Alves dos Santos

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Msc. Antônio Carlos Tonini

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

04/Dezembro/2018

*Dedico este Trabalho de conclusão de curso a todos os Professores do Curso de Engenharia, aos meus Orientadores Professor Fábio Henrique Fonseca Santejani e Ivair Santos Alves, aos meus familiares, amigos e todos aqueles que de certa forma contribuíram para a realização deste trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades presentes no decorrer do curso, que não foi nada fácil.

Aos meus pais José Amarildo dos Santos e Giovana Nicolini dos Santos, que sempre me apoiaram e torceram por mim e me ajudaram durante esses cinco anos de faculdade. A minha irmã Juliana Nicolini dos Santos, que sempre esteve do meu lado me dando forças para continuar.

A minha namorada, Luciana Cursino Franco, que é a razão para eu sempre me esforçar e crescer na minha vida profissional e pessoal.

Aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado e em especial, dois dos quais eu tenho grande admiração, o meu orientador e grande amigo Fábio Henrique Fonseca Santejani e meu co-orientador Ivair Alves dos Santos por todo conhecimento repassado.

A toda comunidade acadêmica da Universidade de Taubaté que contribuíram até o final desse ciclo de maneira satisfatória.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

*“Quando tudo tiver parecendo ir contra você, lembre-se que o avião decola contra o vento, e não a favor dele”.*

*Henry Ford*

## RESUMO

Devido à alta competitividade do mercado atual, a necessidade de se praticar uma manufatura mais ágil e eficiente, com processos de manufatura baseados em informações mais precisas, torna-se uma necessidade para a existência de qualquer indústria. Nos processos de usinagem, a otimização dos parâmetros de corte já vem sendo realizada há muito tempo, baseada principalmente na redução do tempo e custo de fabricação, que é alcançada com a utilização da ferramenta correta, de avanços e parâmetros de corte adequados com a capacidade da máquina. O aumento da profundidade de corte também permite obter uma maior taxa de remoção de cavaco e, assim sendo, reduz o tempo de usinagem, entretanto o aumento do mesmo tenha um efeito excelente sobre a questão tempo de usinagem, também diminui a vida útil da ferramenta, o qual implica no aumento da frequência de troca de insertos de metal duro. A finalidade deste trabalho é aplicar a metodologia DMAIC nos processos de torneamento a CNC em uma empresa no vale do paraíba, que percebeu descarte excessivo de ferramental, após trocar o fornecedor atual, por um de preço inferior, afim de reduzir custos com insertos de metal duro de alta performance para a fabricação das peças que não exijam muita precisão e aspecto superficial, adequando os parâmetros de corte das mesmas com a realidade da máquina em que se está trabalhando. Depois da aplicação da metodologia DMAIC, foi possível encontrar resultados que mostraram a viabilidade de introdução, na cultura da empresa, e possibilitou uma redução de vinte por cento de redução de gastos com ferramentas de corte, devido ao novo fornecedor que foi qualificado na empresa. Além disso, o trabalho pode ser útil como base para trabalhos futuros em outros setores da empresa.

**Palavras-chave:** DMAIC. Custos. Insertos. Profundidade de corte

## **ABSTRACT**

Due to the high competitiveness of the current market, the need to practice more agile and efficient manufacturing, with manufacturing processes based on more precise information, becomes a necessity for the existence of any industry. In machining processes, the optimization of the cutting parameters has been carried out for a long time, mainly based on the reduction of the time and cost of manufacture, which is achieved with the use of the correct tool, of advances and cutting parameters adequate with the capacity of the machine. Increasing the cutting depth also allows for a higher chip removal rate and, therefore, reduces the machining time, however, the machining time has an excellent effect on the machining time, it also decreases tool life, which implies in increasing the frequency of exchange of carbide inserts. The purpose of this work is to apply the DMAIC methodology in the CNC turning processes in a company in the Vale do Paraíba, which noticed excessive tooling discarding after switching from the current supplier to a lower price in order to reduce costs with metal inserts hard high performance for the manufacture of parts that do not require much precision and surface appearance, adjusting the cutting parameters of the same to the reality of the machine in which it is working. After applying the DMAIC methodology, it was possible to find results that showed the feasibility of introduction in the company's culture, and enabled a reduction of twenty percent reduction of expenses with cutting tools due to the new supplier that was qualified in the company. In addition, the work can be useful as a basis for future work in other sectors of the company.

**Keywords:** DMAIC. Costs. Inserts. Cutting depth

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Anomalias e suas complicações para o processo de torneamento.....	22
Figura 2 – Demonstração do desgaste de flanco (a) e dos desgastes de entalhe (b) e (c).....	23
Figura 3 – Demonstração do desgaste de cratera, e como é visualmente.....	23
Figura 4 – Sistemáticas dos desgastes por abrasão e por Aresta postiza no torneamento .....	24
Figura 5 - Esquema ilustrativo das etapas do método (6 $\sigma$ ) /DMAIC. ....	28
Figura 6 – Insertos de metal duro de alta performance .....	30
Figura 7 – Insertos de metal duro de baixa performance .....	30
Figura 8 – Cavacos de fita.....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$V_c$	-	Velocidade de Corte (m/min)
$AP$	-	Profundidade de Corte (mm)
$K_s$	-	Pressão específica de corte (kg/mm <sup>2</sup> )
$F$	-	Avanço (mm/rotação)
$CNC$	-	Controle numérico computadorizado
$APC$	-	Aresta Postiça de corte
$DMAIC$	-	Definir, Medir, Analisar, Implementar e Melhorar
$RPM$	-	Rotações Por Minuto
$K$	-	Vida útil da Ferramenta

## LETRAS GREGAS

$\sigma$	-	Sigma
----------	---	-------

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
1.1 OBJETIVO.....	15
1.1.1 Objetivo geral .....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....	15
1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO .....	16
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	16
2 REVISÃO DA LITERATURA .....	17
2.1 QUALIDADE.....	17
2.2 DMAIC.....	18
2.3 MOTIVOS PARA IMPLEMENTAR A METODOLOGIA SEIS SIGMA.....	18
2.3.1 Fase definir.....	19
2.3.2 Fase medir .....	19
2.3.3 Fase analisar.....	19
2.3.4 Fase implementar.....	20
2.3.5 Fase controlar .....	20
2.4 CUSTO DA USINAGEM.....	20
2.5 ANOMALIAS E DESGASTES DE FERRAMENTAS .....	21
2.5.1 Anomalias nas ferramentas.....	21
2.5.2 Desgastes .....	22
2.5.3 Sistemática de desgastes.....	24
2.5.4 Vida útil das ferramentas.....	25
3 METODOLOGIA.....	27
3.1 A EMPRESA .....	27

4 DESENVOLVIMENTO .....	28
4.1 DEFINIR.....	29
4.2 MEDIR.....	29
4.3 ANALISAR.....	31
4.4 IMPLEMENTAR .....	33
4.5 CONTROLAR.....	33
5 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS.....	35

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de redução de tempo de usinagem de peças, é um assunto cada vez mais é falado em chão de fábrica atualmente, com o intuito de encontrar novas maneiras de se obter resultados otimizados nos processos, principalmente nos processos de torneamento, onde são obtidas, na maioria das vezes, peças cilíndricas de pequeno, médio e grande porte e com vários graus de complexidade.

Atualmente, devido a busca continua para minimização de custos e aumento de produtividade, tem-se o hábito de utilizar ferramentas mais baratas, que são oferecidas pelos concorrentes, e que são vendidas como de classe igual ou superior e de parâmetros de rotação e velocidade de corte maiores, que atraem os compradores das mesmas.

É comum realizar o cruzamento de ferramentas entre concorrentes nos processos e modificações de estratégias para que o processo se torne mais rápido, econômico e que respeite as especificações do cliente, porém deve-se atentar para o padrão de qualidade que se deseja alcançar, e qual tipo de máquina em que se está trabalhando.

É fato que a necessidade de se praticar um processo de usinagem mais eficiente, com decisões acertadas baseadas em informações mais precisas, estas vindas das caixinhas de ferramentas dos fornecedores e manuais de operações de máquinas, são fatores que influenciam diretamente na sobrevivência de qualquer indústria do ramo metalúrgico.

Como dito anteriormente, os processos de usinagem estão passando por otimizações de parâmetros dia a dia, baseada principalmente na redução do tempo de fabricação, que basicamente é alcançado simplesmente modificando o tipo da ferramenta, utilização de avanços e profundidades de corte coerentes com a capacidade da máquina. Dito isto, não adianta colocar ferramentas de alta performance em máquinas que não estão de acordo para alcançar tais resultados, e ou tão pouco se utilizar de máquinas de altíssimo padrão, com ferramentas de baixa qualidade.

A intenção deste trabalho, é mostrar que se pode alcançar uma boa eficiência nos resultados de um processo de torneamento, através da metodologia seis sigma e utilizando a ferramenta DMAIC (definir, medir, Analisar, Implementar e Controlar), atuando positivamente na vida útil da ferramenta, reduzindo as trocas de insertos de

metal duro, na qualidade das peças e nas exigências de acabamento superficial e geometrias, trabalhando dentro das especificações de cada máquina e com base no tipo de serviço que se está habituado a fazer, e não apenas a utilizar VC, AP, RPM fornecidos pelos fabricantes de ferramentas.

De acordo com Sunil *et al* (2013), metodologia DMAIC, é um método estatístico de estudar problemas de modo a ser mais assertivo nos resultados obtidos, e deste modo, ajuda toda a equipe e aos gestores a tomarem decisões que sejam mais eficazes, visando qualidade, economia e produtividade.

## 1.1 OBJETIVO

### 1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho de Graduação, tem como objetivo principal, desenvolver um estudo de caso utilizando a metodologia seis sigmas (DMAIC), na extração de diferentes ocorrências que podem acontecer com as ferramentas de metal duro durante o torneamento, objetivando aumentar a vida útil da ferramenta, a produção, diminuir o número de trocas de insertos, sendo assim, tornar os custos de fabricação cada vez menores para a empresa.

### 1.1.2 Objetivos específicos

O objetivo específico deste trabalho de graduação, consiste em aplicar a metodologia seis sigma (DMAIC) nos processos de torneamento, mostrando que os parâmetros de corte como VC, RPM, AP e F, podem ser medidos, analisados e melhorados em chão de fábrica de acordo com a realidade de cada máquina e de cada empresa, e não apenas generalizados para todos os clientes de acordo com o classe do inserto de metal duro.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa do ramo de usinagem localizada no distrito industrial de Taubaté. A empresa trabalha com processos de

usinagem em geral, como torneamento, fresamento, serviços de ajustagem e ferramentaria e caldeiraria leve há mais de 9 anos, e é voltada para a produção de peças para manutenção, estampos e moldes.

Costuma-se ter reuniões semanalmente, e percebeu-se descarte excessivo e prematuros de insertos de metal duro, então após análises, percebeu-se oportunidade da implementação da metodologia DMAIC, nos processos de torneamento a CNC, para que pudesse ser identificado com mais facilidade as causas para o desgaste prematuro dos insertos de metal duro em um torno CNC ROMI GL 280.

### 1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

O Assunto estudado neste trabalho, tem como principal objetivo a aplicação da metodologia DMAIC, para a análise e soluções dos problemas encontrados nos processos de torneamento a CNC, buscando assim, mais eficiência e minimizando os custos com ferramentas de corte, através da melhoria nos parâmetros de corte e redução de trocas de insertos de metal duro.

Com a metodologia DMAIC empregada no processo, pode-se identificar, qualificar e quantificar as causas geradoras do desgaste prematuro dos insertos de metal duro.

### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho de graduação está estruturado em capítulos e subcapítulos. No capítulo um, são exibidos a motivação do estudo, o propósito do trabalho, as metas e a metodologia utilizada.

O capítulo dois, aborda a síntese da literatura sobre qualidade, DMAIC, custos da usinagem, anomalias e desgastes de ferramentas.

Já o capítulo três, descreve a metodologia empregada no trabalho, mostrando como foi feita a coleta de dados, e também mostra como foi dirigida a pesquisa na empresa de usinagem.

No capítulo quatro, descreve o desenvolvimento do trabalho em geral, etapa por etapa da metodologia seis sigma DMAIC.

Sendo assim, o capítulo cinco mostra o resultado final do trabalho e as

conclusões de acordo com os resultados obtidos. E também são mostradas as referências bibliográficas.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo explica sobre como funciona a metodologia seis sigma DMAIC, e explica sobre cada etapa desta técnica, que são: Definir, Medir, Analisar, Implementar e controlar, nos processos de usinagem, visando qualidade, custos da usinagem, avarias e desgastes de ferramentas e Setup de máquina.

### 2.1 QUALIDADE

Devido ao cenário atual do mercado, a alta concorrência, e exigências por cada vez mais qualidade e baixos custos de produção, os processos de usinagens são cada vez mais alvos dos líderes em empresas do ramo, para fazer aplicações de projetos usando a metodologia DMAIC visando abaixar custos de produção e aumentar a eficiência dos processos, visto que o total dos custos para a produção, envolvem uma grande parcela do custo do produto final, o que acaba influenciando diretamente nos lucros da empresa. Segundo Scatolin (2005), um investimento inicial é necessário para fazer a aplicação da metodologia DMAIC, porem os frutos que se pode colher dos resultados de uma melhoria como esta, são bem maiores do que o investido.

De acordo com Sordi (2008), as empresas atualmente estão buscando a se adaptar conforme as exigências dos clientes, buscando soluções mais assertivas, baseadas em metodologias, e não apenas a fazer mudanças aleatórias de processos

Para Rout *et al* (2014), nas condições atuais meio as mudanças drásticas do mercado, a máxima exigência dos clientes por produtos de qualidade, minimização das oportunidades de rendimento e redução dos prazos de entrega, são fatores que causam grande impacto em industrias manufactureiras. Sendo assim, é imprescindível que as empresas de hoje em dia usem de um método eficaz de melhoria, e ferramentas de gerenciamento e controle de processos.

## 2.2 DMAIC

O DMAIC, é uma ferramenta utilizada na metodologia seis sigma, a qual é uma iniciativa organizacional projetada para criar processos de manufatura, serviço ou administrativo que gerem no máximo 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO). Segundo Mim (2014), a metodologia seis sigma, seguido do uso da ferramenta DMAIC, que representa (definir, medir, analisar, implementar e melhorar) é a busca inflexível e rigorosa da redução da variação em todos os processos críticos para alcançar melhorias contínuas que impactam os índices de uma organização e aumentam a satisfação e lealdade dos clientes.

De acordo com Jaglan (2012), caso alguma empresa utilize algum método de soluções e análise de problemas que não seja amplo o necessário, há uma chance bem grande de os problemas persistirem, ou até mesmo, gere um resultado eficaz no início, mas que não será duradouro, devido a falhas nas etapas de controle e implementação de uma melhoria.

De acordo com Santos (2010), o DMAIC, é um método de solução de problemas bem simples de ser usado e que gera grandes resultados, mas como qualquer outra metodologia, exige uma abundância do acompanhamento dos processos, via planos de ação, adaptados de acordo com a meta de cada empresa e de acordo com o tipo de processo que se deseja aplicar uma melhoria.

## 2.3 MOTIVOS PARA IMPLEMENTAR A METODOLOGIA SEIS SIGMA

De acordo com Rotondaro (2002), as metas principais do seis sigma são:

- a) Minimizar a oscilação dos processos, com foco nos mais críticos;
- b) Minimizar os custos, retirando as tarefas não pertinentes ao processo;
- c) Alavancar a qualidade dos produtos, buscando a máxima eficiência e reduzindo os custos de fabricação;
- d) Eliminar os fatores que são responsáveis por fechar a janela de processos, e conseqüentemente, reduzir os defeitos;
- e) Sendo assim, os resultados que a metodologia seis sigma traz para as empresas são:
- f) Mais agilidade e eficiência nos processos;

- g) Melhoria e redução de operações em determinados processos;
- h) Redução de peças com defeitos;
- i) Minimização de custos extras com retrabalhos.

### **2.3.1 Fase definir**

A fase Definir de um projeto, ou estudo de caso começa com a motivação da equipe e também com as suas atribuições, propósito do projeto, cronograma e os objetivos e metas a serem alcançadas (MIM, 2014).

De acordo com Carvalho e Paladini (2005), é na etapa “definir”, que se deve buscar pela raiz das reclamações, motivos de insatisfação dos clientes, excessos de retrabalho, alto volume de sucata, e etc.

### **2.3.2 Fase medir**

Segundo Lin *et al* (2013), o objetivo desta etapa é definir técnicas para se poder coletar os dados do cenário atual em que se encontra o processo em análise. A junção dos dados se dá por meio de análises qualitativas e quantitativas, por meio da análise dos indicadores de desempenho, análises de sistema de medição e etc.

Com os resultados das medições em mãos, é possível saber para qual direção seguir com o projeto, e quais problemas vai se dar foco primeiramente, e quais técnicas serão adotadas para sanar tais defeitos (LIN *et al.* 2013).

### **2.3.3 Fase analisar**

De acordo com Jaglan (2012), o propósito da fase Analisar é indicar as variáveis que estão interferindo no processo. E, devido a este fato, deve-se analisar os dados coletados com o auxílio de uma ferramenta estatística, afim de se obter melhores resultados nas análises e tome uma solução que seja eficaz.

Segundo LIN *et al.* (2013), é a parte da metodologia que os profissionais identificam as constantes que mais influenciam no processo, fazendo com que os envolvidos no projeto encontrem as raízes do problema para dar foco nos detalhes.

### 2.3.4 Fase implementar

Segundo Coppini, Santos (2015), as variáveis que afetam o funcionamento dos processos, são os fatores que influenciam no modo como são introduzidas as melhorias no processo. Em alguns casos, pode-se iniciar pequenos projetos paralelos, juntamente com o DMAIC, e depois, implementar os procedimentos de melhoria.

### 2.3.5 Fase controlar

De acordo com MATOS (2003), para manter a eficácia do projeto, é necessário tomar planos de ação e adotar procedimentos para que a melhoria implementada vire rotina da empresa, e fazer sistemas de auditorias constantes, pois quando um projeto de melhoria envolve pessoas, é importante treina-las de modo que as mesmas comecem a trabalhar do mesmo modo e seguindo a nova metodologia adotada.

## 2.4 CUSTO DA USINAGEM

Segundo Slack *et al* (2009), para toda empresa manufatureira que disputa pelo preço de seus produtos, os insumos irão sempre ser a meta de produção. Quanto mais baixo for o gasto com seus bens de consumo e serviços, menor será o preço para o cliente final.

Os gastos no ramo de usinagem, são vários, desde o material que se pretende usinar, até os mais altos custos, que são de máquinas com altas tecnologias embarcadas e ferramentas de alta performance também para alcançar tal padrão de máquina. Os insertos de metal duro (ferramenta de corte), são insumos consideráveis dentro de uma empresa no dia a dia, e que afetam no seu balanço anual, e para controlar estes gastos, não é apenas se ter em mente o pensamento de que é o certo economizar, mas sim, comprar produtos de qualidade e fazer uma boa gestão das mesmas, e de acordo com Kohlberg, (2000), de 30 a 60% dos estoques de insertos e suportes para as ferramentas não são gerenciados.

Conforme Afsharizand *et al* (2014), o nascimento dos procedimentos de usinagem de forma consciente, realmente é uma necessidade imediata, pois devido ao cenário atual, qualquer coisa já é lucro, então nasce a necessidade de cada vez mais, os processos de fabricação serem aprimorados.

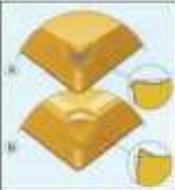
## 2.5 ANOMALIAS E DESGASTES DE FERRAMENTAS

Segundo Coppini, Santos (2015), de modo geral, desgastes e avarias estão presentes em todos os tipos de ferramentas de usinagem.

### 2.5.1 Anomalias nas ferramentas

Existem diversas formas de anomalias nas ferramentas, mas os conceitos básicos são quaisquer danos que ocorram de maneiras acidentais no ângulo de cunha da ferramenta, ou com a sua aresta cortante, fazendo com que a mesma, perca suas propriedades cortantes, Coppini, Santos (2015). A Figura 1 mostra os tipos de avarias que acontecem, e como prevenir os insertos das mesmas.

Figura 1 – Anomalias e suas complicações para o processo de torneamento.

AVARIA	ILUSTRAÇÕES	DIAGNÓSTICO	COMO EVITAR
Microtrincas devido à variação intermitente de temperatura		As microtrincas são aproximadamente perpendiculares à aresta. Ferramenta quebra prematuramente. Para diagnosticar é necessário observar a ferramenta antes da quebra em microscópio.	Adequar a forma pela qual o fluido de corte está sendo aplicado ou cortar sem fluido de corte.
Microtrincas devido à variação dos esforços de corte		As microtrincas são aproximadamente paralelas à aresta. Ferramenta quebra prematuramente. Para diagnosticar é necessário observar a ferramenta antes da quebra, em microscópio.	Reduzir os esforços de corte e sanar fontes de vibração do sistema máquina, ferramenta, dispositivos de fixação e peça.
Deformação plástica da cunha da ferramenta		Perda das dimensões iniciais.	Redução da velocidade e dos esforços de corte. Utilizar material de ferramenta de dureza elevada.
Quebra da aresta de corte ou micro lascas		Quebra prematura da ferramenta. Surge devido à presença de incrustações duras geralmente presente no material da peça, principalmente quando o material da ferramenta não está adequado.	Utilizar material da ferramenta mais dúctil e verificar a possibilidade de desenvolver o fornecedor do material da peça sem incrustações duras.
Quebra ou queima da cunha cortante da ferramenta )		Perda massiva e prematura do material da ferramenta na ponta da sua cunha. Ocorre devido à choques mecânicos e ou velocidade de corte muito alta e ou como consequência de outra avaria ou desgaste exagerados.	Reduzir velocidade de corte e ou realizar alívio no momento do início do corte.

Fonte: Pires (1997)

### 2.5.2 Desgastes

Desgaste é uma coisa que todos os tipos de ferramentas e mecanismos estão sujeitos a ter, todo tipo de dispositivo, ferramenta e mecanismos em geral que trabalham com atrito e ou em contato com outra superfície, irá se desgastar.

De acordo com Coppini, Santos (2015), o desgaste está sujeito a acontecer na face exterior da ferramenta, que são chamados de Desgaste de Flanco (Figura 2).

**Figura 2 – Demonstração do desgaste de flanco (a) e dos desgastes de entalhe (b) e (c).**



**Fonte: Diniz, Marcondes e Coppini, 2013.**

Também existem desgastes que ocorrem no ângulo de saída da ferramenta, chamados de Desgaste de Cratera (Figura 3).

**Figura 3 – Demonstração do desgaste de cratera, e como é visualmente**



**Fonte: Diniz, Marcondes e Coppini, 2013.**

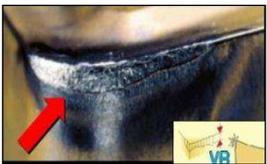
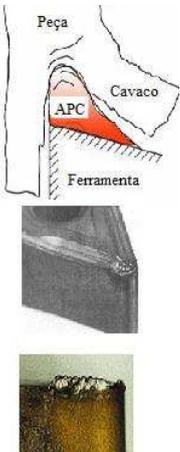
De acordo com Koike *et al* (2014), é ideal que nas máquinas de usinagem, sejam evitadas colisões com ferramentas, para não danificar a máquina e também os insertos de metal duro.

Segundo Stemmer (2001), quando existe vibração na usinagem ou o aumento da mesma, o desgaste da ferramenta é prematuro, pois partículas milésimas da ferramenta se lascam e o acabamento superficial da peça tende a sofrer também, devido a vibração da ferramenta.

### 2.5.3 Sistemática de desgastes

A equivalência com que foi apresentado as anomalias, a Figura 2 e a Figura 3, sintetizam as sistemáticas dos desgastes que, de certa maneira, acontecem nas ferramentas nos processos de usinagem. Como dito anteriormente, todo mecanismo, dispositivo ou ferramenta que trabalhe em contato com outra superfície, não está passível de desgastes, mas o intuito deste trabalho, é mostrar como estes desgastes podem ser controlados e amenizados, de forma com que os procedimentos de torneamento sejam mais eficazes, e que gerem menos gastos com ferramentas que estão apresentando desgastes prematuros. As Figuras 3 e 4, mostram outros tipos de desgastes, como trata-los e como minimiza-los, de forma a manter um processo mais eficiente.

**Figura 4 – Sistemáticas dos desgastes por abrasão e por Aresta postiça no torneamento**

MECANISMO	ILUSTRAÇÕES	DIAGNÓSTICO MOTIVO	COMO CONTROLAR	INCIDÊNCIA
Abrasão Mecânica(1)		Presença de partículas duras no material da peça e ou temperaturas elevadas. Devido ao movimento relativo entre ferramenta/peça e ferramenta/cavaco ocorrem deformações plásticas cisalhantes incentivadas pelos esforços de corte existentes.	Maior a dureza a quente da ferramenta Menores velocidades de corte.	Presente.
Desgaste em presença de Aresta Postiça de Corte(1).		O acabamento superficial da peça e a forma inclinada do desgaste denunciam a presença da APC. Material da peça fica soldado na superfície de saída da ferramenta. Por ficar encruado e endurecido o material substitui a aresta de corte original. Ocorre para velocidades de corte/temperaturas mais baixas e desaparece quando estas aumentam.	Evitar a faixa de velocidades que provoca a presença da APC, que é a temperatura de recristalização do material da peça.	Pode estar presente se não for evitada a faixa de velocidade típica de sua ocorrência.

Fonte: Pires (1997)

#### 2.5.4 Vida útil das ferramentas

De acordo com Diniz, *et al.* (2013), o aumento dos desgastes tem relação direta com a VC (Velocidade de Corte), em seguida pelo F (Avanço) e depois pelo AP (Profundidade de Corte). Deste modo, o desgaste prematuro dos insertos de metal duro, são mais causados devido ao aumento da velocidade de corte, do que se um operador resolver aumentar a profundidade de corte, ou até mesmo decidir aumentar o avanço da ferramenta.

Segundo Coppini, Santos (2015), isto se dá, devido a relação que a VC tem com o fator temperatura que é transmitido para a ponta da ferramenta que está em contato com a peça sendo torneada. Por outro lado, se o avanço for aumentado, também irá aumentar a temperatura gerada pelo atrito da ferramenta com a peça, porém, a mesma será dissipada devido ao aumento da área que será colocada em contato com a peça, fazendo com que o calor não fique concentrado na ponta da ferramenta. Este mesmo fator também se explica para o caso de a profundidade de corte ser aumentada.

O tempo de vida útil de uma ferramenta, segundo Diniz, *et al.* (2013), é medido através do tempo que ela realmente foi utilizada, retirando-se as usinagens passivas, aquelas em que a ferramenta só faz deslocamento, e não retira material da peça.

Outro fator que também influencia bastante no desgaste da ferramenta, é não fazer o uso de fluídos refrigerantes e ou de corte, e as ferramentas que mais são influenciadas pela temperatura, são as que não possuem arestas de corte tão resistentes TELES (2007).

Para o cálculo da vida útil da ferramenta, existe uma equação que foi criada por volta de 1900, por Taylor (1911), que é utilizada até os dias de hoje.

$$T = K.v_c^{-x} \quad (1)$$

Onde:

T = Vida útil da ferramenta [min];

K e x = Coeficientes da equação de Taylor;

Vc = Velocidade de Corte [m/Min].

Os valores atribuídos a x, representam o coeficiente da aresta com a sua sensibilidade com relação a VC ao usinar um material qualquer. Deste modo, entende-

se que quanto maior for o valor de  $x$ , o material desgasta mais a ferramenta do que a ferramenta usina o material, causando assim, um maior desgaste na ferramenta em um curto espaço de tempo ativo de usinagem. Os valores atribuídos a  $K$ , podem ser interpretados de modo como se fosse a vida específica para o conjunto inserto/material, já que, a vida útil da ferramenta é igual a  $K$  sendo este com  $VC$  igual a 1 m/min, Coppini, Santos (2015).

O método de vida da ferramenta, é crucial de ser acatado, tanto para lidar diretamente com desgastes ou também com fatores que irão implicar no cliente final, como por exemplo: rugosidade, acabamento da superfície, aparência da peça, e tolerâncias geométricas e dimensionais, Coppini, Santos (2015).

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo tem o objetivo de mostrar brevemente sobre a empresa onde o estudo de caso foi realizado, e apresentar a metodologia DMAIC sendo aplicada nos processos de torneamento com o intuito de reduzir desgastes prematuros nas mesmas.

#### 3.1 A EMPRESA

O método com que este trabalho foi desenvolvido foi o estudo de caso. Este método foi escolhido porque, o foco deste trabalho é coletar os dados de um ambiente fabril e analisa-los, afim de se fazer uma melhoria nos processos de usinagem.

Como já foi citado no capítulo anterior, este estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa no Vale do Paraíba, que atua com processos de usinagem em geral, como torneamento, fresamento, serviços de ajustagem e ferramentaria e caldeiraria leve há mais de 9 anos, e é voltada para a produção de peças para manutenção, estampos e moldes.

Este estudo de caso foi feito, devido a uma demanda de produção que chegou até a empresa, e que não se enxergava muita margem de lucro usando as mesmas ferramentas de torneamento que eram usadas para outros serviços de maior precisão, ou seja, teria que ser usada uma ferramenta de custo inferior, para que gerasse uma maior margem de lucro para a empresa. Devido a esta exigência da gerencia da empresa, observou-se um gasto maior com ferramentas, pois as mesmas estavam sendo descartadas prematuramente devido a desgastes. Então nas reuniões semanais, foi abordado o tema de se fazer um estudo de caso para verificar as possíveis causas que estavam influenciando o desgaste prematuro nos insertos de metal duro. Para isso, foi designada uma pequena equipe de três pessoas, no caso, dois programadores e operadores de CNC e o Coordenador de produção da usinagem, que iriam ser responsáveis de implementar a metodologia DMAIC na área da tornearia. A figura 5 tem o objetivo de ilustrar as fases da metodologia DMAIC, como explicadas no capítulo anterior.

Figura 5 - Esquema ilustrativo das etapas do método (6 $\sigma$ ) /DMAIC.



Fonte: LINDGREN, (2010).

Como esta é uma metodologia nova na empresa, e nunca foi utilizada, foram feitos dois dias de treinamento com todo o pessoal da empresa, e não apenas no pessoal que iria participar do estudo de caso, afim de instruir os profissionais das outras áreas da empresa sobre uma ferramenta importante da área de qualidade e melhoria contínua.

#### 4 DESENVOLVIMENTO

Após o treinamento dado para os colaboradores da empresa, deu-se início ao estudo de caso, onde já se sabia o propósito do estudo, que era reduzir o descarte de insertos de metal duro devido á desgastes prematuros e, os resultados obtidos serão mostrados a seguir:

#### 4.1 DEFINIR

Nesta etapa, foi feito um brainstorming com a equipe que está envolvida no estudo de caso, e foi definido os alvos a serem atacados primeiramente pela metodologia DMAIC.

Após o Brainstorming, definiu-se um roteiro para atuar nas ferramentas de torneamento:

- Coletar os dados de parâmetros de corte das ferramentas do antigo fornecedor com as do fornecedor atual.

- Se os parâmetros forem diferentes, certificar se os parâmetros foram alterados para os novos modelos de ferramentas, ou se ainda continuam os parâmetros da ferramenta anterior, que era uma de maior qualidade e performance.

- Coletar os dados de quantas peças eram fabricadas antes com o mesmo inserto de metal duro, e quantas peças são fabricadas atualmente com o mesmo inserto, após troca de fornecedor.

- Verificar se estamos trabalhando com o mesmo tipo de material, ou se não foi trocado por um de dureza superior ou inferior.

Se tratando de Torneamento, não existem muitas variáveis que possam afetar os mecanismos de desgaste de ferramenta, mas necessita-se de atacar na variável correta. Então, após o brainstorming feito pela equipe responsável pelo estudo de caso, chegou à conclusão que, os pontos mencionados acima devem ser verificados para que se tenha uma melhoria definitiva nos processos de torneamento desta empresa.

#### 4.2 MEDIR

Esta é a etapa mais importante do projeto, pois medindo-se corretamente os dados de um processo, consegue-se saber com exatidão os pontos que são mais impactantes e que geram mais falhas durante um processo. O líder do projeto, deve ficar a par de todas as medições que foram realizadas, e sempre estar analisando os dados, afim de saber se os mesmos são verdadeiros, pois se não, pode-se perder o foco do projeto e acabar gerando gastos desnecessários para a empresa.

O primeiro tópico do brainstorming já foi verificado, e de acordo com as

informações nas caixinhas das ferramentas, os parâmetros são diferentes, como mostram as Figuras 6 e 7.

**Figura 6 – Insertos de metal duro de alta performance**



Fonte: O próprio autor.

**Figura 7 – Insertos de metal duro de baixa performance**



Fonte: O próprio autor.

Verificando a segunda parte estabelecida pela equipe, os parâmetros haviam sido diminuídos e adaptados para a nova ferramenta, porém a única informação que o novo fornecedor não informava, era sobre o AP, ou seja, isso tinha que vir do feeling do operador do torno CNC, que eram responsáveis e tinham a liberdade de fazer pequenas alterações e melhorias nos programas oriundos dos programadores. Este era um dos pontos que chamou a atenção dos líderes do projeto, pois mesmo reduzindo os parâmetros de corte das novas ferramentas, não houve alteração significativa do tempo de usinagem das peças, ou seja, de algum modo as peças estavam sendo produzidas mais rapidamente.

A terceira parte estabelecida no brainstorming, foi coletada durante o processo de torneamento com as ferramentas do novo fornecedor, e eram capazes de produzir entre 22 e 24 peças com cada ferramenta. E quando colocamos a ferramenta que era usada antes de entrar este novo fornecedor, o processo de torneamento teve uma melhoria em torno de 17%, fazendo entre 28 e 29 peças entre cada troca de inserto de metal duro. A meta não era superar a quantidade de peças que eram feitas com as ferramentas de alta performance, mas sim valer o preço das ferramentas que eram compradas do novo fornecedor. No caso as ferramentas de alta performance eram R\$ 45,00 reais cada, e as do novo fornecedor eram R\$ 30,00 reais cada.

A quarta parte estabelecida na fase definir, também foi esclarecida, pois estamos usando o mesmo tipo de material, pois esta é uma exigência de propriedades mecânicas em que o cliente estabeleceu, então não foi alterado o material.

#### 4.3 ANALISAR

Após a coleta dos dados na fase medir, encontrou-se oportunidade de focar primeiramente nos parâmetros de corte, pois não fazia sentido diminuí-los e ao final de cada dia, ter a meta de produção alcançada. Então, diante deste cenário, foi feita uma análise dos cavacos que estavam saindo das peças sendo usinadas com as novas ferramentas, e os mesmos estavam saindo sem serem quebrados, os chamados cavacos de fita, como é mostrado na Figura 8, oriundos de parâmetros de corte incorretos, fato que, em uma máquina CNC não pode acontecer.

**Figura 8 – Cavacos de fita.**

**Fonte: O próprio autor.**

Sabendo que a profundidade de corte na ferramenta de alta performance era 2,5 mm, era esperada um AP menor, para a ferramenta de qualidade inferior, mas quando foi verificado seus parâmetros de corte, constatou-se que estava sendo usado um AP de 3,5 mm a cada passe que a ferramenta usinava, ou seja, os operadores aumentaram 1 mm a mais na profundidade de corte, afim de aumentar a velocidade de produção. Diante deste cenário, foi feito um cálculo de custo de cada peça, apenas em função do custo da ferramenta, para se saber o custo de cada peça em função do valor da ferramenta de cada fornecedor. O Resultado foi que, com as ferramentas de alta performance com um custo R\$ 45,00 e produzindo 29 peças entre trocas de insertos, saiam a um custo de R\$ 1,55 cada, e com as ferramentas de baixa performance custando R\$ 30,00, conseguia-se produzir 24 peças entre trocas de insertos, saiam a um custo de R\$ 1,25 cada, ou seja, mesmo baixando a produção diária de peças, valia a pena optar por ferramentas do novo fornecedor para fazer este serviço, que não eram peças de precisão e que não era exigido um alto aspecto superficial e que ainda nos gerava 20% de redução de gastos com ferramentas.

#### 4.4 IMPLEMENTAR

Então, de acordo com as análises feitas pela equipe responsável pelo estudo de caso, constatou-se que era necessário fazer uma reunião com a gerência da empresa e com a parte de coordenação da linha de usinagem, relatando o fato de que seriam produzidas menos peças por dia, afim de baixar o custo de produção das mesmas. Após a chefia da empresa ter ficado sabendo que para baixar os custos das peças, as mesmas teriam que levar mais tempo para serem feitas, baixou-se a pressão em cima dos operadores de máquina, para que produzissem o máximo possível e o estudo de caso foi eficaz.

#### 4.5 CONTROLAR

Esta fase, é onde a melhoria que foi implementada, deve se manter e continuar a gerar os resultados do estudo de caso. Embora os operadores de CNC tinham total liberdade para fazerem pequenas alterações de melhoria nas programações dos tornos CNC's, foi tomada uma ação para que os programas ficassem bloqueados para edição e, qualquer suposta melhoria deveria ser acordada antes com o coordenador da linha de usinagem e com os programadores de CNC.

## 5 CONCLUSÃO

Não era de grande domínio do líder deste estudo de caso, o conhecimento da metodologia DMAIC seis sigma, porem ao longo do estudo, percebeu-se que um problema maior, e que não se enxerga uma solução, pode-se sim, ser dividido em problemas menores e que sejam capazes de serem medidos, analisados e melhorados por meio de um passo a passo que a metodologia nos fornece.

Outro fator que contribuiu muito para o sucesso deste estudo de caso, foi o envolvimento de toda a fábrica em prol da melhoria a ser realizada. A gerência da fábrica estava sempre de portas abertas para nos receber e nos ouvir a respeito das medições dos dados e das medidas que precisavam ser tomadas para o sucesso do estudo de caso. E principalmente, os operadores dos tornos CNC estavam dispostos a adotar novos métodos de trabalho, afim de contribuir com o controle de gastos com ferramentas desta empresa. Além dos resultados obtidos no estudo de caso, que foram excelentes, o autor teve a oportunidade de conduzir esta metodologia do início ao fim, dando a si mesmo mais segurança para aplica-la em trabalhos futuros.

Este trabalho, permitiu chegar as seguintes conclusões e resultados:

- a) Verificou-se ser possível identificar de forma adequada que nem sempre é necessário utilizar de ferramentas de alta performance para atingir resultados satisfatórios na usinagem;
- b) A aplicação da metodologia DMAIC resultou em uma redução de custo em cerca de 20%, fazendo com que sejam utilizadas ferramentas de baixa performance para peças que não exijam alto grau de precisão e de aspecto superficial;
- c) A utilização da metodologia DMAIC se mostrou eficiente e bem simples de ser aplicada aos processos fabris, e que geram resultados muito promissores.
- d) Percebeu-se que não é necessário ser um trabalho de uma grande equipe, mas sim de pessoas que entendem do processo, e de pessoas com hierarquia suficiente para fazer tomadas de decisões.

## REFERÊNCIAS

- AFSHARIZAND, B. *et al.* **Determination of machinability considering degradation of accuracy over machine tool life cycle** Mechanical United Kingdom, 2014.
- CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- Coppini N., Santos I. A. **Aplicação da metodologia DMAIC na usinagem automobilística**. DMAIC aplicado a utilização racional de ferramentas para o setor de usinagem em indústria de grande porte, 2015.
- DE SORDI, J. O. **Gestão por processos: uma abordagem da moderna administração**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Saraiva, 270 p, 2008.
- DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. Campinas: Artiber Editora Ltda, 8ª Edição, p.230-248, 2013.
- JAGLAN, Prabhakar Kaushik Dinesh Khanduja Kapil Mittal Pawan (2012), "**A case study**", The TQM Journal, Vol. 24 Iss 1 pp. 4 – 16
- KOHLBERG, Gerhard. F. **Gerenciamento de ferramentas: modismo ou mal necessário? Máquinas e Metais**. Ed. Aranda; n. 417, p.22-37. Outubro/2000.
- KOIKE, RYO *et al.* **Tool collision detection in high-speed feeding based on disturbance observer**, Department of System Design Engineering Keio University, Japan 2014.
- 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.
- 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, Ploytip Lirasukprasert Jose Arturo Garza Reyes Vikas Kumar Ming K. (2014), "**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
- PIRES, J. R.; DINIZ, A. E. **Evitando o Desperdício de Ferramentas de Torneamento em uma Produção Não Automatizada**, III Congresso Iberoamericano de Ingenieria Mecanica, Cuba , 1, 1-6, 1997.

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

ROUT, S. I. **Implementation of Six Sigma Using DMAIC Methodology in Small Scale Industries for Performance Improvement**. Journal Of Modern Engineering Research, 2014.

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. 48,49 p.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte I**. 5. ed., Florianópolis: UFSC, 2001, 249 p.

SUNIL *et al.* **Productivity Improvement of a Special Purpose Machine Using DMAIC Principles: A Case Study** Journal of Quality and Reliability Engineering, 2013.

TAYLOR, F. W. **The Principles of Scientific Management and Testimony Before the Special House Committee**. Harper e Row, 1911.

TELES, J. M. **Torneamento de Ferro Fundido Nodular Ferritizado com Nióbio Utilizando Ferramentas de Metal Duro**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Itajubá: 124.p, 2007.