

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

FRANCISCO SOARES DA COSTA

**ESTUDO DE GANHOS DE PRODUTIVIDADE E DE QUALIDADE EM MÁQUINAS
CNC COM O USO DE SISTEMAS *TOOLSETTER LASER***

**São Paulo
2014**

FRANCISCO SOARES DA COSTA

**ESTUDO DE GANHOS DE PRODUTIVIDADE E DE QUALIDADE EM MÁQUINAS
CNC COM O USO DE SISTEMAS *TOOLSETTER LASER***

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Professor orientador:

Prof. Dr. Milton Vieira Junior.

**São Paulo
2014**

Costa, Francisco Soares da.

Estudo de ganhos de produtividade e de qualidade em
máquinas CNC com o uso de sistemas *toolsetter laser*.
/Francisco Soares da Costa. 2014.

97 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho -
UNINOVE, São Paulo, 2014.

Orientador (a): Prof. Dr. Milton Vieira Junior.

1. Presetting. 2. Toolsetter. 3. Qualidade. 4. Produtividade.
I. Vieira Junior, Milton. II. Titulo

CDU
658.5

FRANCISCO SOARES DA COSTA

**ESTUDO DE GANHOS DE PRODUTIVIDADE E DE QUALIDADE EM MÁQUINAS
CNC COM O USO DE SISTEMAS *TOOLSETTER LASER***

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Professor orientador:

Prof. Dr. Milton Vieira Junior.

São Paulo, 06 de março de 2014

Presidente: Prof. Milton Vieira Junior, Dr. – Orientador, UNINOVE

Membro: Prof. Reginaldo Teixeira Coelho, Dr. – São Carlos, UFSCAR

Presidente: Prof. Elesandro Antônio Baptista, Dr., UNINOVE



São Paulo, 06 de março de 2014.

TERMO DE APROVAÇÃO

Aluno: Francisco Soares da Costa

Título da Dissertação: ESTUDOS DE GANHOS DE PRODUTIVIDADE E DE QUALIDADE EM MÁQUINAS CNC COM O USO DE SISTEMAS TOOLSETTER LASER.

Presidente: PROF. DR. MILTON VIEIRA JUNIOR

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Milton Vieira Junior". It is placed over a horizontal line.

Membro: PROF. DR. REGINALDO TEIXEIRA COELHO

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Reginaldo Teixeira Coelho". It is placed over a horizontal line.

Membro: PROF. DR. ELESANDRO ANTONIO BAPTISTA

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Elesandro Antonio Baptista". It is placed over a horizontal line.

Em primeiro lugar dedico este trabalho a Deus, que sempre me deu força para vencer os desafios.

A minha mãe Antônia, minha irmã Nice e meu irmão José, que sempre acreditaram em mim.

Em especial ao meu pai João, (in memoriam), que nas nossas pescarias, quando eu falava do trabalho que estava desenvolvendo no mestrado, sempre me apoiava, embora de assunto pouco entendesse.

A minha querida esposa Joana, meus filhos Eduardo, Edgar, Elaine e minha nora Priscila, que em todos os momentos me incentivam a vencer os desafios.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela saúde, força e motivação para a continuidade dos estudos.

A Joana, companheira, mãe dedicada dos meus filhos Eduardo, Edgar e Elaine, agradeço pela paciência e motivação para realização deste trabalho, a quem me ouviu e sequer me deixou pensar em desistir.

Ao meu orientador professor Prof. Dr. Milton Vieira Junior, pela a orientação, estímulo e motivação durante o trabalho e acima de tudo o suporte prestado nas minhas maiores dificuldades.

Aos meus amigos da IOPE que me apoiaram nos estudos, me incentivando a cada dia estudar mais.

A todos os professores do programa de mestrado da UNINOVE que de alguma forma contribuíram com esta dissertação.

Ao Prof. Dr. Elesandro Antônio Baptista, o qual contribuiu muito para elaboração deste trabalho, dando suporte e motivação.

Agradeço também a Universidade Nove de Julho pela oportunidade de cursar este programa de Mestrado.

À empresa GeoTecno, por disponibilizar seus equipamentos e espaço físico para execução do processo de medição das amostras do ensaio de qualidade.

Ao grande amigo Paulo Cesar e os seus colaboradores da empresa Usinagem Diadema pelo apoio e confiança que me dedicaram.

Agradeço, enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para realização desta dissertação.

“Não são nossas habilidades que revelam quem realmente somos, mas sim as nossas escolhas”

J.K. Rowling

RESUMO

Num mercado cada vez mais competitivo, a busca crescente por qualidade, flexibilidade e aumento de produtividade, entre outros, está proporcionando transformações que refletem em todas as áreas da manufatura. O avanço da tecnologia acompanha tal situação com novos equipamentos e novos produtos, e as empresas são estimuladas a buscarem métodos de produção inovadores e que as tornem mais flexíveis e sem que haja perda da qualidade ou aumento nos custos de produção. No campo da usinagem, as empresas utilizam-se de técnicas e recursos que permitem a redução de perdas em seu sistema produtivo pela otimização de tempos, redução do consumo de materiais e de energia, e a produção de peças com níveis de qualidade cada vez maiores, e dentre estas ações estão àquelas relacionadas à redução dos tempos de setup. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo principal avaliar os ganhos de produtividade e de qualidade nas máquinas CNC com o uso de sistemas de *toolsetter laser*, utilizados durante o setup para realizar a medição de ferramentas (*Presetting*). Como resultado deste trabalho, conclui-se que é possível obter melhor precisão na medição de ferramentas, bem como a redução do tempo de máquina parada para setup, gerando como consequência o aumento da produtividade e da qualidade das dimensões das peças usinadas.

Palavras-chave: *Presetting*, *Toolsetter*, Qualidade, Produtividade.

ABSTRACT

In an increasingly competitive market, the growing quest for quality, flexibility and increased productivity, among others, is providing transformations that reflect in all areas of manufacturing. The advancement in technology follows this situation with new equipment and new products, and companies are encouraged to seek innovative methods of production that makes them more flexible and without loss of quality or increase in production costs. In the machining field, companies make use of techniques and resources that enable the reduction of losses in its production system for the optimization of time, reducing the consumption of materials and energy, and the production of parts with high quality levels, and among these actions are those related to reducing setup times. In this context, the present study aims to evaluate the gains in productivity and quality in CNC machines, with the use of toolsetter laser systems used during setup to perform sizing tools (Presetting). As a result of this study, it is concluded that it is possible to obtain better accuracy in measuring tools, as well as reducing downtime for setup, creating the effect of increasing productivity and quality dimensions of machined parts.

Key words: Presetting, Toolsetter, Quality, Productivity

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Célula flexível de manufatura.....	23
Figura 2 - Sistemas de produção: custos x produtividade x investimento.....	24
Figura 3 - Custos fixos e variáveis.....	27
Figura 4 - Aumento do valor da esfera de rolamento ao longo do processo.....	27
Figura 5 - Classificação dos processos de fabricação.....	30
Figura 6 – Fatores envolvidos na usinagem de peças geometricamente aceitáveis.	31
Figura 7 - Modelo esquemático de máquina-ferramenta com 3 eixos.....	34
Figura 8- Avarias e desgastes de ferramentas de corte.....	41
Figura 9 - Parâmetros utilizados para medir os desgaste das ferramentas.....	42
Figura 10 - <i>Setup</i> com e sem uso de sistema de <i>toolsetter</i>	48
Figura 11 - Sistema de ajuste manual.....	49
Figura 12 - <i>Presetter</i> para verificação de comprimento de ferramenta	51
Figura 13 - <i>Presetter</i> com capacidade de medição de ferramenta de perfil definido. .	55
Figura 14 - Modelo de <i>toolsetter</i> disponíveis no mercado, posicionado na mesa da máquina-ferramenta.....	57
Figura 15 - Sistema de medição de ferramenta por contato em centros de torneamento.....	58
Figura 16 - <i>Presetter</i> de contato (sistema <i>wireless</i>), executando medição de fresa de topo.	58
Figura 17 - <i>Presetter</i> de contato realizando medição de fresa de topo.....	59
Figura 18 - Feixe laser interrompido pelo contato com a ferramenta.....	61
Figura 19 - Influência da velocidade do eixo árvore na precisão do laser.....	62
Figura 20 - Equipamento atuando na presença de fluido de corte.....	63
Figura 21 - Medições múltiplas com tolerância de dispersão aplicada.....	64
Figura 22 - Desenho de ferramenta de corte.	66
Figura 23 – Centro de Usinagem modelo D 600	71
Figura 24 – Equipamento de <i>toolsetter laser</i> - ModeloTSG-130	72
Figura 25 - Calibrador de Altura - Modelo - LH-600C.....	73
Figura 26 - Equipamento de Laringoscopia.....	75
Figura 27 – Fases de fabricação de componente de um Laringoscópio.	76
Figura 28 – Peças fixadas para usinagem do rebaixo lateral no ensaio de produtividade.....	77
Figura 29 – Montagem e desmontagem da fresa de topo.....	78

Figura 30 – Operação de faceamento da amostra.....	82
Figura 31 – Desenho com detalhe da amostra usinada.....	83
Figura 32 – Operação de <i>presetting</i> manual.....	83
Figura 33 – Usinagem da amostra do ensaio de qualidade	84
Gráfico 1 – Tempo de <i>presetting</i> x operação	91
Gráfico 2 - Tempos da operação manual x operação com uso do <i>toolsetter</i>	92
Gráfico 3 – Tempo médio de <i>presetting</i> de ferramentas utilizadas no ensaio.....	93
Quadro 1 – Simulação de um processo produtivo – Cenário I.....	94
Quadro 2 – Simulação de um processo produtivo - Cenário II.....	95
Gráfico 4 – Nivelamento para medição após a usinagem – método manual	98
Gráfico 5 – Nivelamento para medição após usinagem – <i>toolsetter laser</i>	98
Gráfico 6 – Resultados da medição – ensaio de qualidade - - método manual.....	100
Gráfico 7 – Resultados da medição – ensaio de qualidade - - com uso do <i>toolsetter</i> <i>laser</i>	100
Gráfico 8 – Resultados da medição – ensaio de qualidade – com uso do <i>Toolsetter</i> <i>Laser</i>	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Crescimento do número de maquinas CNC em empresas Brasileiras.....	33
Tabela 2 - Distribuição de pré-ajustagem empresas no mercado brasileiro.....	56
Tabela 3 – Desbaste e acabamento lateral.....	88
Tabela 3.1 – Dados agrupados da operação de desbaste e acabamento lateral.	88
Tabela 4 – Desbaste do chanfro duplo das laterais.	89
Tabela 4.1 – Dados agrupados da operação de desbaste das laterais.....	89
Tabela 5 – Desbaste e acabamento do chanfro superior.....	90
Tabela 5.1 – Dados agrupados da operação de desbaste e acabamento do chanfro superior.....	90
Tabela 6 – Tempo de <i>presetting</i> x operação.....	91
Tabela 7 – Tempos da operação manual x operação <i>presetting</i>	92
Tabela 8 – Tempo médio de <i>Presetting</i> das ferramentas utilizadas no ensaio.	93
Tabela 10 – Dimensões de usinagem do ensaio de qualidade com método manual.	
.....	96
Tabela 11 – Dimensões de usinagem do ensaio de qualidade com o uso de <i>toolsetter laser</i>	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ap - profundidade de corte [mm]

CN - Controle Numérico

CNC - *Computer Numeric Control*

DIN - *Deutsches Institut für Normung*: em Português - Instituto Alemão para Normatização

f - avanço [mm/min]

FC - Custos Fixos [\$/ano]

FMS - *Flexible Manufacturing System*

HSM - *High Speed Machiney*

HSC - *High Speed Cutting*

HSS - *High Speed Steel*

IHM - Interface Homem-Máquina

I_c - Percurso de Corte [Km]

I_f - Percurso de Avanço [mm]

ISO - *International Standardization Organization*

JIS - *Japanese Industrial Standards*

LASER - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

KT - Profundidade de Cratera [mm]

n - rotação por minuto [RPM]

Q - Volume Produzido [peças concluídas/ano]

SMED - *Single-Minute Exchange of Die*

T – Tempo de Vida da Ferramenta de Corte [min]

TC - Custo Total [\$/ano]

TRF – Troca Rápida de Ferramentas

VB_B . Desgaste de Flanco Médio [mm]

$VB_{B\max}$. Desgaste de Flanco Máximo [mm]

VB_N . Desgaste de Entalhe [mm]

TG - Tecnologia de Grupos

VC - Custos Variáveis [\$/peças produzidas]

V_c - Velocidade Corte [m/min]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Formulação do Problema	16
1.2 Hipóteses	17
1.3 Objetivo Geral	17
1.4 Objetivos Específicos	17
1.5 Delimitação do Estudo	18
1.6 Relevância	18
1.7 Estrutura do Trabalho	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Produtividade e demais objetivos do sistema de produção	20
2.1.1 Qualidade	20
2.1.2 Flexibilidade	22
2.1.3 Velocidade e Confiabilidade	24
2.1.4 Custos.....	25
2.1.5 Produtividade	28
2.2 Usinagem	29
2.2.1 Aspectos econômicos da usinagem.....	31
2.2.3 Usinagem CNC	32
2.2.3.1 Conformidade Geométrica em Máquinas CNC.....	35
2.3 Ferramentas de usinagem	36
2.3.1 Compensação de ferramentas.....	38
2.3.2 Desgaste e avarias de ferramentas	39
2.3.3 Classificação de ferramentas para uso em máquinas CNC.....	43
2.4 Setup.....	44
2.4.1 Setup em máquina CNC	48
2.5 Troca Rápida de Ferramenta	51
2.6 <i>Presetters</i> e <i>Toolsetters</i>	52
2.6.1 Aparelhos para pré-ajustagem externa (<i>presetter</i>)	53
2.6.2 Aparelhos para pré-ajustagem interna (<i>toolsetters</i>).....	56
2.6.2.1 <i>Toolsetter</i> por contato	57
2.6.2.2 <i>Toolsetter laser</i>	60
2.6.3 Problemas relacionados ao sistema de medição de ferramenta por <i>toolsetter laser</i>	65

3 MATERIAIS E MÉTODOS	67
3.1 Método de pesquisa	67
3.2 Produtividade e Qualidade	70
3.3 Materiais utilizados nos ensaios para a verificação da produtividade e da qualidade	70
3.3.1 Equipamentos de usinagem	70
3.3.2 Equipamento para a medição das ferramentas	71
3.3.3 Ferramentas utilizadas nos experimentos	73
3.3.3.1 Ferramentas usadas no ensaio de produtividade	73
3.3.3.2 Ferramentas usadas no ensaio de qualidade	74
3.3.4 Amostras do ensaio de produtividade	74
3.3.5 Amostras do ensaio de qualidade	74
3.4 Ensaios	74
3.4.1 Ensaio 1 – produtividade	74
3.4.1.1 Procedimento do ensaio de produtividade com processo de <i>presetting manual</i>	76
3.4.1.2 Procedimento do ensaio de produtividade com processo de <i>toolsetter laser</i>	79
3.4.1.3 Procedimento do ensaio de qualidade com processo de <i>presetting manual</i>	80
3.4.1.4 Procedimento do ensaio de qualidade com processo de <i>toolsetter laser</i>	85
3.4.2.1 Medição das amostras dos ensaios de qualidade	85
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4.1 Resultados dos ensaios de produtividade	87
4.1.1 Resultados dos ensaios de produtividade (Simulação)	94
4.2 Resultados dos ensaios de qualidade – medidas de ferramentas	96
4.3 Resultados dos ensaios de qualidade – acabamento superficial	101
5 CONCLUSÕES E ESTUDOS FUTURO.....	104
6 REFERÊNCIAS.....	105

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico e a disputa por novos mercados estão motivando as empresas de todos os setores a uma busca crescente por vantagens competitivas (VIEIRA JR. *et al.*, 2011). Esta disputa é estimulada por uma concorrência cada vez mais bem preparada pelo domínio das técnicas e do conhecimento do mercado em que atuam, no qual a vantagem competitiva torna-se no diferencial necessário para conquistar posições de destaque no mundo corporativo.

A competitividade, associada à qualidade, flexibilidade ou ao aumento de produtividade, tende a permitir o acesso das empresas a um nível de segurança no qual poderá colocar em prática as suas estratégias, visando à lucratividade e a longevidade da marca e do seu negócio (SIMON, 2008; LUCATO *et al.*, 2009; AGUADO *et al.*, 2013; VIEIRA JR. *et al.*, 2013).

O mesmo avanço da tecnologia que está aumentando o fator de competitividade entre as empresas, também está proporcionando transformações na sociedade que refletem em todas as áreas, especialmente no campo da comunicação tornando-se mais acessível e democrático para a maioria das pessoas (MENDONÇA, 2009). Tal transformação faz com que as distâncias sejam reduzidas, possibilitando aos países superarem barreiras que limitam seu desenvolvimento (CORRER et. al., 2006). Este fenômeno expõe as empresas a um universo de possibilidades reveladas pelo acesso à novas tecnologias e novos mercados, criando um cenário cujo aumento da demanda por novos produtos é estimulado por hábitos até então desconhecidos (GROOVER, 2011). Entretanto, estes produtos vêm ao encontro de consumidores cada vez mais seletivos que além do custo, procuram outros atrativos que satisfaçam as suas necessidades.

Atentas à mudança de comportamento dos consumidores, as empresas são estimuladas a buscarem por novos métodos de produção que as tornem, entre outros aspectos, mais flexíveis, e isso sem que haja perda da qualidade ou aumento do custo (JURKO, 2011; LOTT, 2011). Neste contexto, e independente do setor, há uma mentalidade voltada para os conceitos *Lean*, assim as exigências por melhores resultados deixa de ser a única característica desejada, e sim um pré-requisito básico para a sobrevivência das empresas (LIMA, 2008). A busca constante por novas metodologias que melhorem as atividade de produção, torna-se um item

obrigatório na estratégia destas empresas (SANTOS *et al.*, 2006). Sob esta ótica, a manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*) vem contribuindo para que as empresas reduzam os seus custos, procurando por técnicas que permitam operar os seus sistemas de produção de forma simples, otimizando processos e procedimentos, reduzindo desperdícios, buscando maior flexibilidade para operar com lotes pequenos (ANTUNES, 2008; OLIVEIRA, 2011). Para Soares (2008), à ação contínua pela melhoria dos processos e produtos, como o aprimoramento das técnicas de gestão da produção, levam as empresas ao aumento da produtividade e a otimização do *lead time*.

Conforme Aguado *et al.* (2013), as empresas que buscam por vantagens competitivas para melhorar sua posição no mercado, passam também a se interessar por questões relacionadas a sustentabilidade, como economia de energia, fator que agrega valor à marca. Assim muitas empresas, em especial no campo da usinagem, vêm se destacando na busca de soluções que as levem ao aumento da produtividade por meio da redução de perdas de tempo em seu sistema produtivo, otimizando o consumo de materiais e energia. Entre estas ações estão àquelas relacionadas ao melhor aproveitamento do tempo de *setup*, reduzindo os custos, em função do aumento da eficiência operacional e como consequência a redução de insumos (VIEIRA JR. *et al.*, 2011).

O *setup* é a atividade de preparação da estação de trabalho para a execução de um determinado lote de peças, porém existem vários aspectos relacionados a esta atividade no processo de usinagem, como o ajuste de ferramentas, o qual também é composto por diversos fatores (JAHARAH *et al.*, 2009). Entre estes fatores está o associado ao erro do processo de medição de ferramentas e as influências que está submetido. Smith (2008) e Vieira Jr. *et al.* (2011) chamam a atenção para aplicação dos equipamentos de *toolsetters* em máquinas-ferramenta, que tem como objetivo otimizar o custo de fabricação por meio da redução do tempo de preparo da máquina-ferramenta (*setup*), melhorar a precisão do *presetting* e monitoramento das condições da ferramenta entre as etapas do processo de usinagem.

1.1 Formulação do Problema

A tecnologia atual permite aos fabricantes de sistemas de medição de ferramentas para máquinas CNC (*toolsetter*) afirmarem que a precisão desses equipamentos se encontra em tal estágio de desenvolvimento que o erro geométrico característico de cada máquina-ferramenta chega a ser superior dos erros apresentados por esses equipamentos. Dessa forma, a qualidade das dimensões das ferramentas não é prejudicada por esse tipo de erro, porém como a precisão das máquinas sofre diversas influências (como por exemplo, da temperatura entre outros fatores), torna-se necessário a utilização de equipamentos capazes de identificar e realizar a compensação dos erros relacionados às ferramentas, que são gerados no processo de usinagem (BLUM, 2005; TETI *et al.*, 2010).

Para Aronson (2000), o processo de usinagem deve trabalhar tendo como foco a redução do tempo desperdiçado com máquina parada, e para isto a etapa de ajustagem (*setup*) deve ser rápida e precisa. O autor destaca também a importância da medição e do monitoramento das ferramentas para a qualidade do produto, e para a produtividade do processo de usinagem como um todo. A qualidade e a produtividade têm uma relação muito estreita com a precisão das ferramentas de usinagem utilizadas em máquinas-ferramentas com comando CNC. Para que isto ocorra, a máquina-ferramenta necessita da informação exata das dimensões das ferramentas, como diâmetro e comprimento. Tais fatores, como a identificação e correção do desgaste das ferramentas de usinagem e a melhor qualidade do *presetting*, justificam o uso de sistema de medição e compensação das ferramentas.

Este estudo propõe analisar o sistema de ajustes de ferramentas realizadas pelo *toolsetter laser*, e assim avaliar os possíveis ganhos de produtividade e de qualidade com o uso de equipamento de *toolsetter laser* em máquinas CNC. Desta forma, a proposta do presente trabalho é responder a seguinte questão:

Existem ganhos de produtividade e de qualidade em máquinas CNC a partir do uso de sistemas de *toolsetter laser*?

1.2 Hipóteses

Para a resposta provável à questão enunciada, o presente trabalho formula as seguintes hipóteses:

- a) Os tempos despendidos nas operações de *presetting manual* resultam em perdas para o processo;
- b) O uso de equipamentos de *presetting* possibilita a obtenção de ganhos de qualidade em função da melhor precisão na medição das ferramentas;
- c) A eliminação da falha humana na operação de *presetting* possibilita obter ganho de produtividade em função da redução do tempo de máquina parada.

1.3 Objetivo Geral

Para responder à questão acima, o seguinte objetivo foi estabelecido:

Avaliar os ganhos de produtividade e de qualidade em máquinas CNC a partir do uso de sistema de medição de ferramentas, *toolsetter laser*. Para isso os resultados do processo de fabricação realizado com auxílio de dispositivo de medição de ferramentas serão comparados com o mesmo processo, porém sem o uso do equipamento. Para os resultados dos ensaios serão considerados as seguintes métricas:

- a) produtividade – tempos de usinagem e custos do *presetting*;
- b) qualidade – medidas dimensionais

1.4 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) realizar pesquisa em busca de soluções visando a redução de tempos de *setup* e perdas de produção;
- b) realizar ensaios em equipamentos instalados no ambiente de produção para demonstrar o uso de *toolsetter laser* como ferramenta para melhoria na obtenção de ganhos de produtividade e de qualidade no processo de usinagem;

- c) demonstrar a viabilidade técnica do uso de equipamento de *toolsetter laser* para melhorar a precisão das dimensões de ferramentas na operação de *presetting*.

1.5 Delimitação do Estudo

O presente trabalho propõe-se a estudar os ganhos de produtividade e qualidade em máquinas CNC (Centro de Usinagem) a partir do uso de sistema de *toolsetter laser* no ambiente de produção.

1.6 Relevância

A realização deste trabalho está sendo considerado como relevante devido às contribuições que pode gerar, como:

- a) o aumento da produtividade como consequência dos ganhos obtidos com o uso da ferramenta de *toolsetter*;
- b) a busca de soluções visando a redução de tempos de *setup* e perdas de produção;
- c) a correção do desgaste de ferramentas por meio da compensação de dimensões;
- d) a redução do risco de perda de material no *setup* e durante a usinagem;
- e) o aumento no ganho da disponibilidade de máquina;
- f) a demonstração da viabilidade de técnicas de uso de *toolsetter laser* como ferramenta para melhoria da qualidade no processo de usinagem;
- g) a redução do erro humano provocado pela falta de habilidade ou manuseio inadequado do equipamento de usinagem durante a operação de *presetting*;
- h) a contribuição para o aumento do conhecimento sobre o uso de sistemas de auxílio à produção em máquinas CNC.

1.7 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, sendo:

CAPÍTULO I – apresenta a introdução ao trabalho, caracterização do problema, definição dos objetivos e questões de pesquisa, justificativa e relevância;

CAPÍTULO II – faz uma revisão bibliográfica, inicialmente abordando os aspectos básicos e conceitos da produtividade e os objetivos do sistema de produção, e posteriormente apresentando aspectos da usinagem, abordando temas como, ferramentas de usinagem, *setup* e sistemas de troca rápida de ferramenta, os quais se concentram na área de abrangência deste trabalho dentro da engenharia de produção, dando enfoque aos ganhos de produtividade e de qualidade. Ainda neste capítulo, também se explora através da literatura os objetos do estudo, que são os equipamentos de *toolsetter laser*;

CAPÍTULO III – apresenta os aspectos relacionados a metodologia de pesquisa utilizada, descreve como serão produzidos e coletados os dados, assim como sua caracterização e definição para cada um. Apresenta também os materiais utilizados para a realização deste trabalho;

CAPÍTULO IV – apresenta a discussão e análise dos dados obtidos pelo capítulo anterior, bem como o resgate de assuntos relacionados na revisão bibliográfica com o objetivo de evidenciar possíveis analogias ou novas respostas de saídas obtidas por este trabalho;

CAPÍTULO V – são apresentadas as conclusões obtidas pelo trabalho e possíveis oportunidades de estudos futuros;

CAPÍTULO VI – são apresentados as referências bibliográficas utilizadas para realização da pesquisa;

2 REVISÃO DE LITERATURA

O levantamento bibliográfico tem como objetivo proporcionar um maior entendimento sobre o assunto pesquisado (GIL, 2011). Na sequência, será apresentado um referencial teórico delimitado; que aborda os principais conceitos envolvendo os aspectos relacionados ao uso de equipamentos de medição de ferramentas (*presetters*).

2.1 Produtividade e demais objetivos do sistema de produção

Muitas organizações veem o papel da produção como sendo restrito ao trabalho de fabricar produtos ou fornecer serviços aos consumidores, no entanto para que se entenda a função produção, é preciso compreender o papel que a produção desempenha dentro da organização e os objetivos de desempenho específicos utilizados para avaliar a contribuição de cada um destes objetivos na estratégia da organização. As pessoas ou setores de qualquer empresa têm seus próprios papéis a desempenhar para alcançar resultados. Em nível mais prático, é impossível saber se uma operação é bem-sucedida, ou não, se os objetivos de desempenho específicos sobre os quais seu sucesso é mensurado não estão claramente demonstrados (SLACK *et al.* 2009). Os objetivos de desempenho básicos se aplicam a todos os tipos de operações produtivas, os quais são:

- a) qualidade;
- b) flexibilidade;
- c) velocidade e confiabilidade;
- d) custos;
- e) produtividade.

2.1.1 Qualidade

Há várias definições para qualidade, entre elas, se encontram as que definem que o produto deve estar em conformidade com as exigências dos clientes, que tenha valor agregado, que possuam algo que produtos similares não tenham, ou ainda definições como, fazer as coisas do modo certo (SLACK *et al.*, 2009; CEGLIO,

2012). A ISO (*International Standardization Organization*), situado na Suíça e responsável pelas normas de Qualidade da série 9000, tem como definição técnica que a Qualidade é a adequação ao uso.

A norma ISO 9001, publicada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), é implantada em empresas dos mais variados segmentos com objetivo de garantir a manutenção dos sistemas da qualidade. A versão desta norma lançada em 2008 tem como linha central a gestão dos diversos processos e análise da sua eficácia. Ela traz ainda a necessidade de se conscientizar para a busca da qualidade e do reconhecimento da sua importância, tornando a certificação de sistemas de gerenciamento da qualidade indispensável para as organizações uma vez que:

- a) aumenta a satisfação e a confiança dos clientes;
- b) aumenta a produtividade;
- c) reduz os custos internos;
- d) melhora os processos de modo contínuo.

Conforme Slack *et al.* (2009) a qualidade está diretamente relacionada com a redução de custos, pois quanto menos erros se comete nas pequenas operações ou unidade de produção, menos tempo será necessário para a sua correção, ou para reduzir ao mínimo confusões e desgastes na equipe de trabalho.

Para Sousa (2000), a qualidade também pode ser o resultado gerado como consequência do controle do processo de fabricação, o qual deve ser proporcional a importância do produto fabricado, com parâmetros devidamente otimizados, principalmente quando este trabalha com tolerâncias estreitas.

É fato que o mercado seja exigente quando se fala de qualidade do produto, pois este está sempre em busca do custo-benefício que está qualidade lhe proporciona. A redução do custo de produção e o aumento na qualidade das peças usinadas são fatores de competitividade. Assim as operações de usinagem vêm sendo desenvolvidas visando a eliminação de etapas nas sequências de fabricação, e a obtenção de peças acabadas por meio de roteiros mais curtos e eficientes (LIMA, 2008). Contudo, o mesmo autor afirma ainda que as condições de trabalho utilizadas nos processos podem gerar alterações significativas na integridade superficial, especialmente naqueles que visam conferir à peça indicadores de qualidade como, por exemplo, tolerâncias dimensionais e condições finais de acabamento.

Com a adoção de novas tecnologias no processo de usinagem, a detecção automática de desgastes e avarias das ferramentas durante as etapas do processo, tornou-se um motivo de grande interesse para as indústrias e pesquisadores (SCHEFFER, 2004; REPO, 2010; TETI, 2010). Por meio de uma grande variedade de sensores disponíveis no mercado é possível acompanhar o processo de usinagem, praticamente em tempo real, verificando o comportamento das ferramentas durante o ciclo de usinagem, e assim definir critérios para a otimização do processo. Desta forma, o conhecimento das condições de usinagem e do comportamento das ferramentas geram informações que possibilitam melhorar a qualidade do produto tralhado (RENISHAW, 2008; AXINTE, 2004).

2.1.2 Flexibilidade

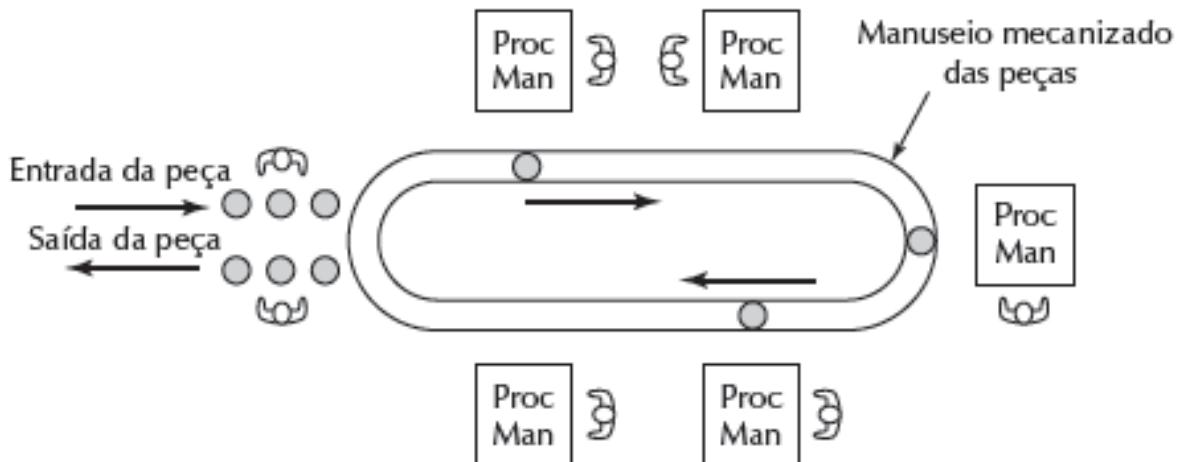
Conforme Slack *et al.* (2009), flexibilidade é a capacidade de mudar a operação, podendo se alterar o que a operação faz, como faz, ou quando se faz, caracterizando a flexibilidade da produção. Groover (2011), apresenta uma definição mais estruturada, baseado no sistema de manufatura flexível (FMS). Este é constituído por células de manufatura automatizadas e formado por um grupo de estações de processamento, geralmente de máquinas-ferramenta de Controle Numérico Computadorizado (CNC), interligadas por um sistema automatizado de manuseio e armazenamento do material (Figura 1). Este sistema é baseado na Tecnologia de Grupos (TG), no qual as peças a serem produzidas são classificadas conforme características comuns que as identificam (DINIZ *et al.*, 2010; GROOVER, 2011).

Para Groover (2011), o motivo de um FMS ser chamado de flexível, se deve ao fato deste sistema ser capaz de processar uma variedade de tipos de peças diferentes simultaneamente nas diversas estações de trabalho e ainda que essas variedades de peças assim como as quantidades de produção possam ser facilmente ajustadas em repostas às mudanças de demanda. A flexibilidade de um de (FMS) é reconhecido quando se é possível identificar três recursos principais, os quais este deve possuir:

- a) capacidade de se identificar e distinguir os diferentes tipos de peças ou produtos processados pelo sistema;
- b) rápida troca de instruções operacionais;

c) configuração física dos equipamentos.

Figura 1 - Célula flexível de manufatura.



Fonte: Groover (2011)

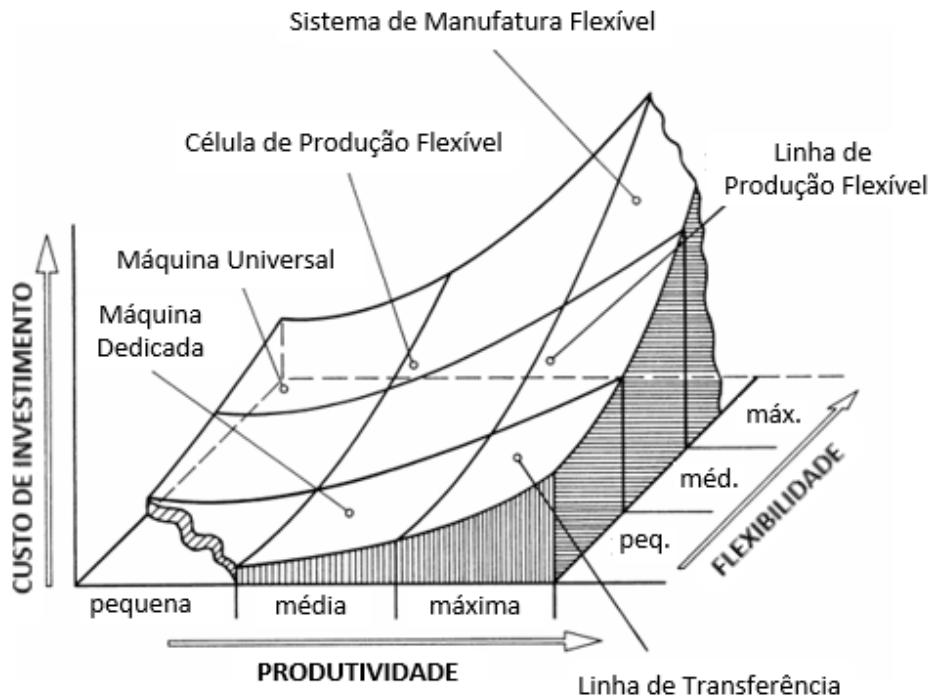
A flexibilidade é um atributo que se aplica tanto aos sistemas automatizados como manuais, sendo que neste último, os próprios trabalhadores são os facilitadores da flexibilidade do sistema. Contudo, conforme alerta Ceglio (2012), deve se ter o cuidado para que antes de introduzir uma nova tecnologia, se analise com muito cuidado se essa mudança não irá afetar negativamente a estabilidade, a confiabilidade ou a flexibilidade do sistema de produção.

Conforme Baptista e Coppini (2007), a otimização do processo de usinagem no sistema de manufatura flexível é um tema que merece destaque, visto que seus resultados, que se expressam principalmente pela redução de custos ou de aumento da produtividade, podem representar um diferencial competitivo importante no mundo globalizado. Porém com estudos nesta área, os autores identificaram lacunas no sistema de manufatura flexível. Eles perceberam que durante a troca de processos ou produtos, este sistema fica vulnerável a subutilização de insumos. Este fato pode comprometer o custo de produção final por conta da não utilização plena do recurso.

De acordo com Smith (2008), as indústrias de manufatura envolvidas nas operações de usinagem abrangem uma ampla variedade de processos de produção, cobrindo extenso campo de níveis de automação. Assim, o custo do investimento não pode ser verificado como único critério na implantação de máquinas-ferramentas CNC, pois no outro extremo, o sistema de manufatura flexível com

outros atributos, tais como, produtividade e flexibilidade desenvolvem um papel fundamental e um ambiente de produção, sujeito à variação de quantidade e tipos de peças produzidas (Figura 2).

Figura 2 - Sistemas de produção: custos x produtividade x investimento.



Fonte: Adaptado de Smith (2008)

2.1.3 Velocidade e Confiabilidade

De acordo com Ceglio (2012), as empresas estão trabalhando em ambiente de grande competitividade no qual a produção em escala é normalmente utilizada. Isto reduz drasticamente os preços praticados pelo mercado obrigando as empresas que pretendem entrar nesta concorrência a buscarem por competências para criar e desenvolver produtos e serviços de baixo custo, ter flexibilidade de manufatura para atender as variações de demanda na velocidade que o mercado exige. Além disto, deve atender ou se possível superar as expectativas de qualidade e funcionalidade que o consumidor espera.

Para Slack *et al.* (2009), não é suficiente que as empresas tenham apenas a preocupação com produtos bem feitos. Elas precisam desenvolver uma relação de empatia com seus clientes, ou seja, pensar como o cliente pensa. Para isto além da qualidade contratada ou aquela que é intrínseca do produto, as organizações

também devem se preocupar com a velocidade do processo para atender a necessidade do cliente em tempo superior a concorrência. Agir com rapidez, não permitindo que o seu cliente interrompa sua atividade por falta do seu produto ou serviço, ou seja, ele deve receber o seu pedido no tempo prometido.

Producir a tempo de atender o cliente no momento certo faz parte do requisito de confiabilidade. Este fator cria fidelização do cliente ao produto e por consequência a marca. Slack *et al.* (2009) também defendem que este resultado só é alcançado quando a empresa reponde as necessidades do seu cliente interno, pois é por meio da velocidade das ações deste, que o seu cliente externo será atendido. Com efeito, similar a confiabilidade na operação interna, faz com que os clientes internos julguem o desempenho uns dos outros. A análise do nível de confiabilidade entre as micro-operações na entrega pontual de materiais e informações, economiza tempo para otimização do processo como um todo.

2.1.4 Custos

O significativo aumento de competitividade que vem ocorrendo na maioria dos mercados seja industriais, comerciais ou de serviços, fizeram com que os custos tornassem altamente relevantes quando da tomada de decisões de uma empresa.

Para Diniz *et al.* (2010), diversos são os custos envolvidos na produção de uma peça. Para estes autores os custos podem ser divididos em duas categorias:

- a) decorrentes do processo propriamente dito, como custo das ferramentas e de ocupação de máquinas e dos operadores;
- b) custos não diretamente envolvidos com o processo, como custo de controle de qualidade, matéria-prima, mão de obra indireta, entre outros.

Conforme Slack *et al.* (2009), para as empresas que concorrem diretamente em preço, o custo será o principal objetivo de produção. Quanto menor o custo de produzir seus bens e serviço, menor será o preço pago por seus consumidores, porém conforme destacado pelos autores, mesmo aquelas empresas que concorrem com outros aspectos que não somente os preços estarão também interessados em manter seus custos baixos. Assim a forma com que a produção influencia os custos dependerá de onde estes são originados:

- a) **custo de funcionários** – relativo ao dinheiro gasto com pessoal empregado;

b) **custos de instalações, tecnologia e equipamentos** – relativo ao dinheiro gasto em compra, conservação, operação e substituição de hardware de produção;

c) **custos de materiais** – referente ao dinheiro gasto nos materiais consumidos ou transformados na produção.

Groover (2011) classifica também, os custos de produção em duas categorias principais, que são:

a) **custos fixos** – é aquele custo que se mantém constante para qualquer nível de resultado da produção;

b) **custo variável** – é aquele que varia em proporção com o nível de resultados da produção. Conforme a produção aumenta os custos aumentam. Para o autor o conceito ideal é que seja diretamente proporcional ao nível de resultados da produção.

Quando os custos de fixos e variáveis são adicionados, tem-se a seguinte equação:

$$TC = CF + VC(Q) \quad [1]$$

Onde:

TC = Custo Total – [\$/ano];

FC = Custos Fixos – [\$/ano];

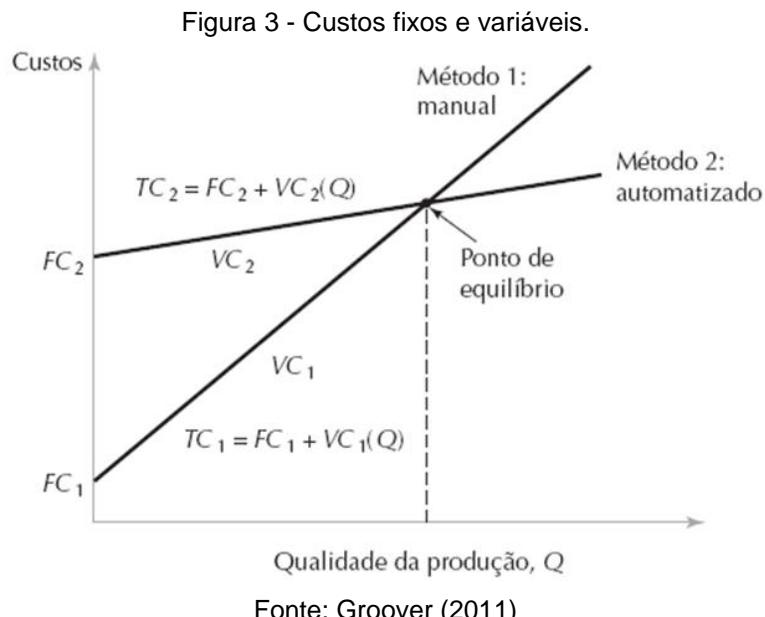
VC = Custos Variáveis – [\$/peças produzidas];

Q = Volume Produzido – [peças concluídas/ano].

Assim o custo total será a soma do custo fixo com os custos variáveis, sendo que os custos variáveis são proporcionais ao volume de produção.

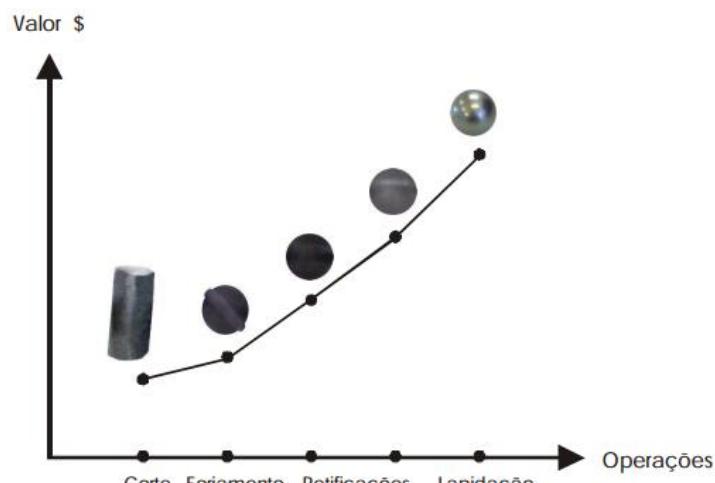
Segundo Groover (2011), as decisões em sistemas de produção e automação são geralmente baseadas nos custos relativos às alternativas adotadas. Quando se compara os métodos de produção manuais com os sistemas automatizados, é típico que o custo fixo do método automatizado, seja mais alto que o método manual e o custo variável da automação sejam baixos em relação ao método manual (Figura 3). Para o autor o método manual tem vantagem de custo em escala de pequenas quantidades, enquanto o método automático tem vantagens para grandes quantidades. Assim deve existir uma adequação do trabalho manual

para determinadas situações de produção, cujo ponto de equilíbrio entre o processo de automação x manual deverá refletir na otimização do custo.



Para Sousa (2000), a usinagem é normalmente um processo terminal, sendo assim todo o prejuízo com o refugo é aumentado na medida em que todos os processamentos anteriores são perdidos junto com as peças fabricadas. Peças produzidas fora das tolerâncias levam ao refugo e retrabalho todo custo das etapas anteriores, provocando como consequência a perda de material, tempo de máquina e aumento significativo dos custos de produção, chamado também de custos da não qualidade (Figura 4).

Figura 4 - Aumento do valor da esfera de rolamento ao longo do processo.



Fonte: Sousa (2000)

2.1.5 Produtividade

Com a introdução das máquinas-ferramentas CNC no final da década de 1970, a unidade de referência passou a ser o tamanho do lote de produção, o qual se tornava cada vez menor. Isso fez com que o uso de alguns tipos de ferramentas de gestão torna-se mais importantes nas operações de usinagem, com o objetivo de manter o tempo de inatividade no mínimo possível (SMITH, 2008).

Garantir a produtividade com sustentabilidade faz parte dos esforços das organizações para alcançarem a redução de custos, com maior flexibilidade e melhor qualidade de fabricação. Esta abordagem global se desenvolve, com base na inovação, eficiência e sustentabilidade, cujo objetivo é agregar valor adicional ao produto, aumentando a competitividade no mercado globalizado do século 21. Estratégias neste sentido devem fazer parte das metas de todas as empresas (AGUADO *et al.*, 2013). Nessa busca as empresas estão adotando inovações tecnológicas, que aplicadas em máquinas e dispositivos de produção, faz com que estas se tornem mais rápidas e precisas, aumentando a sua produtividade. (FELIX, 2008).

Observado também por Macedo (2012), o acirramento da concorrência está fazendo com que a gestão da produtividade nas empresas se torne um dos itens essenciais na formulação das estratégias de competitividade. O autor define a produtividade, como uma medida da eficiência da mão de obra, na qual o seu incremento resulta dos efeitos combinados de um grande número de fatores distintos, e interdependentes, como equipamentos empregados, melhoramentos técnicos, ambiente físico, circulação da matéria-prima, eficácia da direção, utilização eficaz das unidades de produção e de recursos humanos qualificados, e assim contemplando todo o processo produtivo da organização. Já para Sandvik (2013), com visão no processo de usinagem, entende que a produtividade, embora em si possua várias definições, ela também está relacionada com o que entra e o que sai da produção. De uma forma mais simples, porém não menos importante, é fazer mais com menos, na qual esta saída pode ser influenciada por uma série de fatores, como:

- a) seleção do método de usinagem e percurso da ferramenta;
- b) escolha da ferramenta, geometria da pastilha e classe de metal duro;
- c) dados de corte (velocidade, avanço e profundidade de corte);

- d) baixo número de rejeições;
- e) menos troca da ferramenta com mais tempo de usinagem;
- f) redução do tempo de setup;
- g) disponibilidade de produto com menos estoque;
- h) treinamento técnico para melhor compreensão.

2.2 Usinagem

Para Machado *et al.* (2011), nos processos de fabricação, geralmente haverá mais de um método que poderá ser empregado para produzir um determinado componente. A seleção de um método em particular vai depender de um grande número de fatores, entre eles:

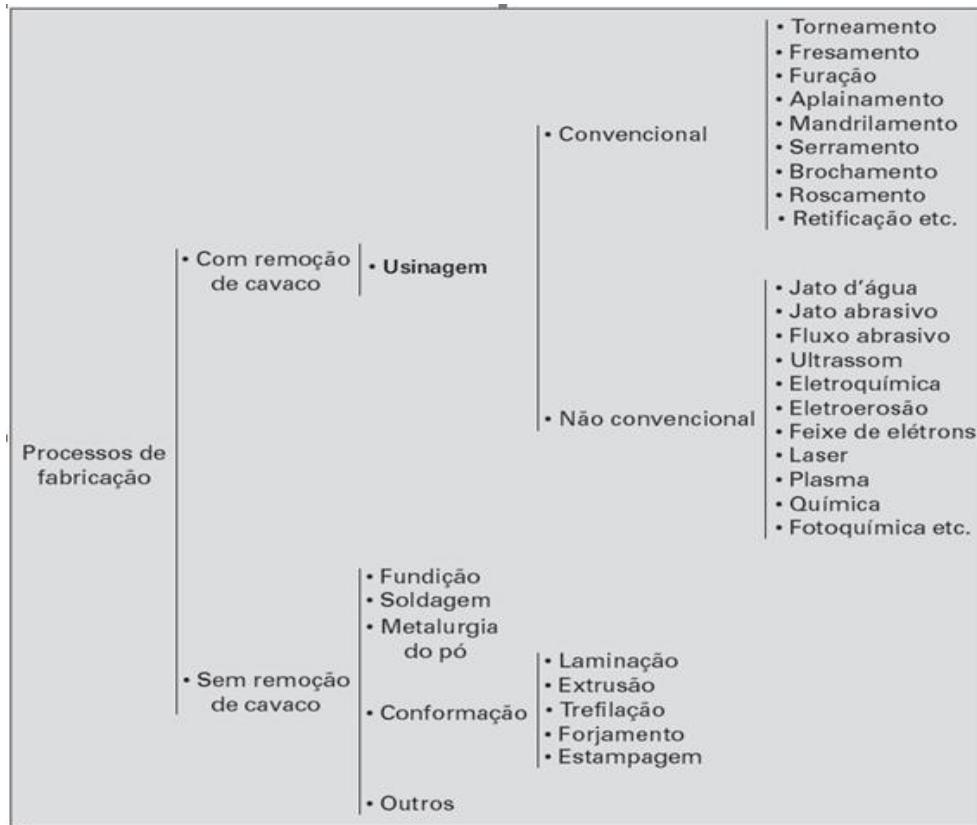
- a) tipo do material e suas propriedades;
- b) propriedades finais desejadas;
- c) tamanho forma e complexidade desejadas;
- d) tolerâncias e acabamentos superficial exigidos;
- e) processo subsequente envolvidos;
- f) projeto e custo do ferramental;
- g) efeito do material na vida da ferramenta ou matriz;
- h) disponibilidade do equipamento;
- i) tempo necessário para a produção;
- j) número de partes requeridas e taxa de produção desejada;
- k) custo total do processamento.

Para Trent (2000), a usinagem, muito utilizada na indústria de manufatura, é considerada como um dos processos de fabricação mais popular em todo o mundo. É um processo que atende boas condições de flexibilidade e produtividade, permitindo fabricar produtos com alto grau de complexidade e tolerâncias dimensionais. O seu desenvolvimento acompanhou a evolução de vários setores, como a engenharia de produção, máquinas-ferramentas e a engenharia de produtos, entre outros.

Os processos de fabricação mecânica são classificados, conforme Ferraresi (2003), entre os que produzem peças com remoção de cavacos e os sem remoção de cavacos (Figura 5). Assim a usinagem é um processo de fabricação realizado por meio da ação da ferramenta sobre a peça trabalhada. Essa operação confere à peça

forma, dimensões ou acabamento, ou ainda uma combinação entre as três, por meio da remoção de material sob a forma de cavaco (DINIZ *et al.*, 2010; MACHADO *et al.*, 2011).

Figura 5 - Classificação dos processos de fabricação.



Fonte: Adaptado de Machado *et al.* (2011)

Conforme Machado *et al.* (2011), as operações de usinagem convencional são executadas com ferramentas de geometria definida e agrupadas de acordo como a máquina-ferramenta empregada. As principais operações de usinagem são:

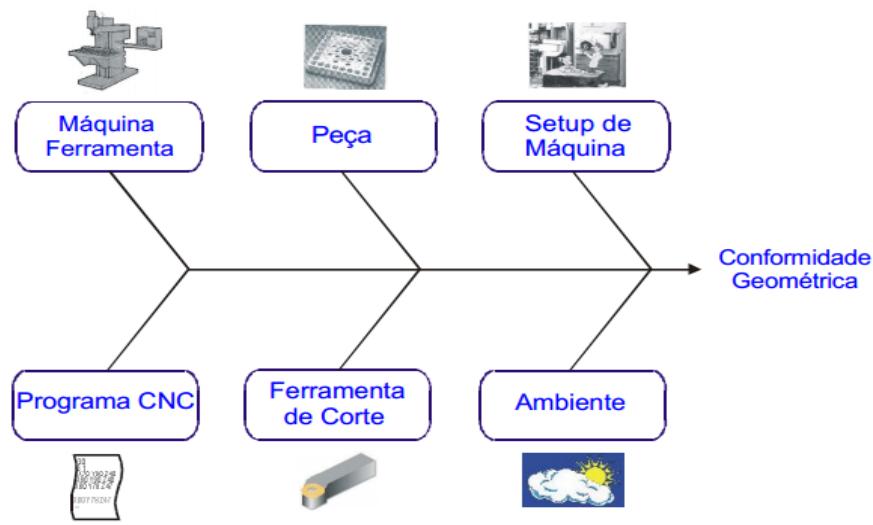
- torneamento;
- fresamento;
- furação;
- aplainamento;
- mandrilhamento;
- serramento;
- brochamento.

Ainda conforme Machado *et al.* (2011), as operações apresentadas podem ser subdivididas em desbaste e acabamento. Na operação de desbaste o principal

objetivo é garantir a elevada taxa de remoção de material, tendo como principal fator limitante, a potência da máquina, já a operação de acabamento, tem como prioridade a qualidade, quando o sobremetal deixado pela operação de desbaste é removido.

Para Sousa (2000), a obtenção de uma peça usinada dentro das tolerâncias e conformidade geométrica requer uma série de cuidados e obedece a um ciclo de produção bem controlado, envolvendo vários fatores de produção (Figura 6). Cada fator envolvido no processo de produção possui incertezas que contribuem para que, muitas vezes, as peças não sejam produzidas conforme o especificado.

Figura 6 – Fatores envolvidos na usinagem de peças geometricamente aceitáveis.



Fonte: Adaptado de Sousa (2000)

2.2.1 Aspectos econômicos da usinagem

Segundo Soares *et al.* (2008), os primeiros estudos econômicos sobre a usinagem dos metais foram realizados por Taylor nos Estados Unidos e Schlesinger na Alemanha, seguido por muitos outros estudiosos. Os autores afirmam que os conceitos mudaram desde então, principalmente pela influência do intenso desenvolvimento tecnológico.

Conforme Sousa (2000), o processo de usinagem, quando comparado a outros processos como a fundição ou conformação mecânica possui a vantagem de atingir precisão e acabamento superiores nas peças fabricadas, mas com um custo normalmente maior, já que o processo é mais lento e envolve perda de material. Conforme citado Baptista (2004), a otimização dos tempos produtivos podem ser

obtidos com a implementação de novas máquinas-ferramenta, dispositivos, ferramentas de corte, redução do sobremetal, por meio da estratégia de usinagem que define o melhor caminho a ser percorrido pela ferramenta de corte, ou ainda, com a otimização dos parâmetros de corte.

A definição de velocidade de corte máxima de produção foi usada como sendo aquela em que se produzia o máximo volume de cavaco em um determinado tempo total de corte. Posteriormente esta definição evoluiu, e este conceito foi melhor definido, como velocidade de corte, sendo aquela que o tempo de produção de uma peça em um lote é mínimo (MACHADO *et al.*, 2011).

Conforme Baptista (2004), a otimização da velocidade de corte permite a obtenção de uma maior taxa de remoção de cavaco, e consequentemente, a redução do tempo de usinagem. Entretanto, o aumento da velocidade de corte tem um efeito negativo sobre a vida da ferramenta, o que pode provocar o aumento do tempo de usinagem devido à necessidade de trocas mais frequentes de arestas de corte. Porém, conforme o autor, a redução da velocidade de corte faz com que aumente o tempo de usinagem, e como consequência, a elevação do custo com a subutilização da máquina e do operador. Assim segundo Diniz *et al.* (2010), torna-se necessário o estudo das condições ótimas de usinagem, na qual a velocidade corte, tempo de processo, custos de produção entre outros fatores, devem ser levado em conta na busca do melhor custo-benefício.

2.2.3 Usinagem CNC

Para Barrios *et al.* (2011), a redução dos custos e a evolução dos componentes eletrônicos fizeram com que equipamentos, que no início eram apenas CN, passassem a ser adquiridos também pelas pequenas e médias empresas. No Brasil, o CNC chegou no final dos anos 1960. Por volta de 1980 as máquinas tornaram-se computadorizadas, com unidades eletrônicas cada vez mais compactas, maior capacidade e mais possibilidades de aplicação. Atualmente, as máquinas CNC estão presentes em todos os tipos de indústrias, pois essa nova tecnologia está presente em diversos tipos de máquinas-ferramenta e processos.

Conforme Simon (2008), as regras atuais de competição exigem inovação constante dos sistemas de manufatura. Pois como destacado pelo autor as empresas se vêm obrigadas a implementar tecnologias inovadoras de forma

continua para garantirem a sua vantagem competitiva. A própria evolução tecnológica encarrega-se de manter essa busca, pois quando a concorrência implanta a mesma tecnologia, anula a vantagem obtida anteriormente, obrigando a empresa novamente à se atualizar. Por isso, o processo de atualização tecnológica deve ser contínuo.

A tecnologia CNC aplicada às máquinas-ferramenta, é considerado dentro do grupo de tecnologias inovadoras a quem tem recebido maior volume de investimento nos últimos anos. As empresas investem em máquinas CNC para aumentarem a sua competitividade em decorrência dos benefícios atribuídos a essa tecnologia, como o aumento da flexibilidade, melhoria da qualidade, redução dos tempos de ciclo e a capacidade de produzir lotes pequenos de maneira econômica (Tabela 1) (CORRER *et al.*, 2005; SIMON, 2008). Entretanto conforme já observado por Sousa (2000) e Simon *et al.* (2002), para que novos recursos tecnológicos traduzam-se em maior qualidade das peças usinadas e produtividade para as empresas, é necessária a exploração adequada de suas potencialidades. Para os autores é facilmente encontrado nos parques fabris, indústrias que não dão a devida atenção a certos aspectos nos processos de usinagem, e o resultado são empresas que convivem com rendimento bem abaixo do possível, prejudicando a modernização tecnológica, e como consequência o comprometimento da sua competitividade.

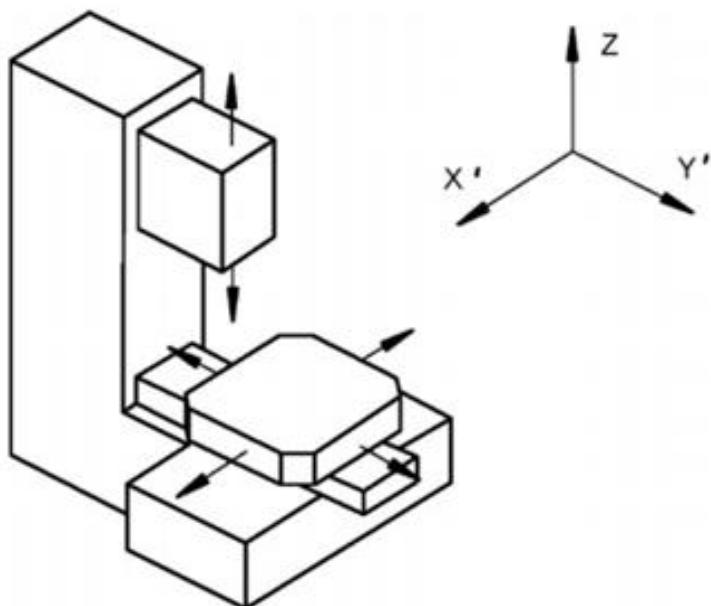
Tabela 1- Crescimento do número de máquinas CNC em empresas Brasileiras.

Ano	Empresas pesquisadas	Quantidade de Máquinas CNC existentes nessas empresas	Quantidade total de Máquinas existentes (CNC + Convencionais)
1982	1728	8031	72102
1994	4484	12375	183766
1997	4998	16250	183509
1999	6376	20424	188586
2001	7307	29031	205485
2003	9042	34736	224933
2005	10222	47328	222397
2009	10031	54631	233040

Fonte: Adaptado de Simon (2009)

Conforme observado por Schwenke *et al.* (2008), as máquinas-ferramenta mais simples como os modelos de 3 a 5 eixos (Figura 7), podem ser encontradas em grande número, e em todas as áreas da produção moderna, passando pela indústria automobilística à aeroespacial, produção de bens de consumo a produtos hospitalares.

Figura 7 - Modelo esquemático de máquina-ferramenta com 3 eixos.



Fonte: Bringmann; Knapp (2009)

Para Barrios *et al.* (2011), o modelo de máquina que difundiu a tecnologia CNC entre os fabricantes nacionais foi o torno, depois vieram as fresadoras e os centros de usinagem. O uso dessas máquinas influenciou o modelo de produção adotado pelas empresas, trazendo muito benefícios, do quais podem ser citados:

- a) fabricação de peças de geometria variada, mais rápidas, com maior precisão e com melhoria do acabamento superficial;
- b) execução de usinagens com tolerâncias dimensionais e geométricas mais apertadas;
- c) redução de custos e do inventário em processo;
- d) melhor repetibilidade na geometria e dimensões das peças produzidas, em lotes pequeno, médio ou seriados;
- e) melhor intercambialidade com facilidades de montagem e desmontagem.

2.2.3.1 Conformidade Geométrica em Máquinas CNC

Sousa (2000) afirma que a busca por características de usinagem que reflete em melhoria da qualidade, como exatidão e acabamento, tende a aumentar o custo da peça em função do valor agregado. Nessa linha, a conformidade geométrica do equipamento é um atributo que interfere diretamente na qualidade da peça usinada, na qual a produtividade do processo está diretamente associada a observação deste requisito. Conforme o autor, peças usinadas fora de especificação são corrigidas normalmente por meio de procedimentos de *try-out*, o qual tem como objetivo corrigir por meio de tentativas alguns dos fatores de produção que causam erros durante o processo de fabricação. Este procedimento é frequentemente utilizado no início ou na retomada da produção, para que sejam estabelecidas as condições de fabricação adequadas de forma que as peças possam ser produzidas dentro das tolerâncias.

Os equipamentos têm sofrido diversas melhorias que estão sendo pesquisadas e implementadas às máquinas-ferramenta como forma de assegurar, dentre outros aspectos, a exatidão de trabalho ou ainda melhorar a sua flexibilidade de produção. Porém essa exatidão é prejudicada por diversas variáveis, circunstanciais e não ideais que atuam sobre o equipamento e provocam alterações indesejadas na máquina e ferramenta de corte. Essa alteração dimensional é transferida diretamente à geometria das peças usinadas. Entre estas variáveis destaca o Erro Geométrico (RAHOU *et al.*, 2009).

Para Schwenke *et al.* (2008), os erros geométricos podem ser influenciados por diversos fatores, entre eles se destacam:

- a) **erros cinemáticos** – são erros que ocorrem devido a imperfeições na geometria e nas dimensões dos componentes da máquina, assim como na sua configuração estrutural, ou ainda provocado pelo desalinhamento dos eixos como também pelos erros do sistema de medição da máquina;
- b) **erros termomecânicos** - são erros ocasionados devido à mudança da temperatura interna ou externa do equipamento, a qual pode provocar alterações significativas, gerando diferenças dimensionais ocasionadas em função dos coeficientes de expansão térmicas das partes que compõe a máquina. Este fenômeno, chamado de deriva térmica, provoca distorções que afetam a precisão do equipamento (ZHU *et al.*, 2012; HEXAGON, 2012);

c) **erros de carga** - conforme verificado por Majda (2012), o qual constatou que, caso a máquina tenha um corpo com baixa rigidez, erros poderão aparecer em função da localização da carga sobre a mesa e pela influência desta carga sobre os componentes de movimentação devido às forças internas ou externas;

d) **forças dinâmicas** - a trajetória realizada pela ferramenta de usinagem é afetada pelo comportamento dinâmico da estrutura do equipamento. Variações provocadas por forças como, forças de usinagem ou forças causadas pelas acelerações ou desacelerações dos eixos, devem ser consideradas e sempre que possível compensadas, a fim de garantir a precisão desejada do processo de usinagem.

Os erros geométricos são classificados como os mais comuns encontrados em máquinas-ferramentas, embora os testes de pré-aceitação e aceitação possam proporcionar melhores condições geométricas para as máquinas recém-instaladas, qualquer colisão ou sobrecarga durante a usinagem pode resultar em graves desvios geométricos (BRINGMANN; KNAPP, 2009; NOJEDEH *et al.*, 2011). Fan *et al.* (2012) afirmam também em suas pesquisas que os erros geométricos estão dinamicamente relacionados com os erros da etapa de trabalho, as forças de corte, desgaste de ferramentas, desgaste de guias, vibrações, e outros desgastes que vão aumentando gradualmente durante as operações de usinagem.

Os equipamentos de usinagem CNC vêm passando por um processo de evolução acompanhando desenvolvimento tecnológico. A evolução das máquinas-ferramentas tende para a tecnologia de alta velocidade com os equipamentos de alta velocidade de usinagem (HSM - *High Speed Machine*) que possibilitam a aplicação de ferramentas de alta velocidade corte (HSC- *High Speed Cutting*), especialmente em aplicações de fresamento de topo (CHEN *et al.*, 2013).

2.3 Ferramentas de usinagem

Segundo Smith (2008), mesmo muitas empresas tendo adquirido novas máquinas-ferramentas de elevado custo e sofisticação, não havia a preocupação com as ferramentas a serem utilizadas. O resultado disso era o baixo investimento em ferramental. No entanto, com a evolução tecnológica no campo das ferramentas de usinagem, esse insumo passou a ser considerado de extrema importância, e

diversas pesquisas que visam a otimização dos processos passaram a ter foco nas ferramentas, objetivando escolhas mais criteriosas.

Para Diniz *et al.* (2010), a seleção do material da ferramenta deve ser realizado levando em consideração uma série de fatores, entre eles:

- a) **material a ser usinado** – a dureza e o tipo de cavaco formado são duas características do material da peça que devem ser considerada na escolha da ferramenta;
- b) **processos de usinagem** - alguns processos de usinagem são limitantes na escolha do material da ferramenta em função do diâmetro e da velocidade de corte envolvida na aplicação;
- c) **condições das máquinas operatrizes** – devem ser considerados fatores como potência de corte, gama de velocidade disponíveis na máquina, estado de conservação, rigidez do equipamento, entre outros;
- d) **formas e dimensões das ferramentas** – o mercado disponibiliza uma variedade muito grande de ferramentas, contudo dependendo da operação, ferramentas especiais feitas de aço rápido ou metal duro podem ser desenvolvidas. Nesse caso fatores como qualidade e custo/benefício da ferramenta devem ser levado em conta, como critério para definição da escolha mais adequada;
- e) **custos dos materiais das ferramentas** – alguns materiais de ferramentas, apesar de proporcionarem um maior tempo de vida ou ainda uma maior produção, muitas vezes não apresenta uma relação custo/benefício razoável;
- f) **condições de usinagem** – condições de usinagem, típicas de operações de desbaste e acabamento, como profundidade de corte, avanço, materiais com endurecimento da camada superficial, entre outros são fatores que devem ser levado em conta como critérios de seleção da ferramenta mais adequada para atender as exigências das condições trabalho;
- g) **condições de operação** – se o processo possuir corte interrompido, ou sistema de fixação não for de boa qualidade, exigirá uma ferramenta mais tenaz.

Independentemente do material que seja selecionado para a fabricação de ferramentas, é necessário que este apresente em maior ou menor grau, propriedades que atendam às necessidades específicas de trabalho a qual se

destina. As principais características desejáveis em um material para a ferramenta de corte podem ser (SMITH, 2008; DINIZ *et al.*, 2010; MACHADO *et al.*, 2011):

- a) alta dureza;
- b) tenacidade suficiente para evitar falha por trinca;
- c) alta resistência ao desgaste abrasivo;
- d) alta resistência a compressão;
- e) alta resistência ao cisalhamento;
- f) manter boas propriedades mecânicas e térmicas em temperatura elevada;
- g) alta resistência ao choque térmico;
- h) alta resistência ao impacto;
- i) ser inerte quimicamente.

Essas propriedades não se reúnem necessariamente em um só material, mas dependendo da aplicação, priorizam-se algumas delas, desde que possam ser reunidas. Não existe uma classificação geral de materiais para ferramentas, entretanto conforme Diniz *et al.* (2010), como base em suas características químicas, estes materiais podem ser agrupados da seguinte forma:

- a) aços rápidos;
- b) aços rápidos com cobertura;
- c) metal duro;
- d) metal duro com cobertura;
- e) material cerâmico;
- f) nitreto de boro cúbico;
- g) diamante.

2.3.1 Compensação de ferramentas

Brum (2005), Hexagon (2012) e Zhu *et al.* (2012), verificaram que as máquinas-ferramenta possuem desvios de natureza repetitiva, os quais podem ser identificados e compensados automaticamente por sistemas de *toolsetters*. Estes instrumentos os quais, inicialmente foram desenvolvidos para facilitar o *presetting* de ferramentas durante o *setup* das máquinas-ferramentas, encontraram muitas aplicações nos processos de usinagem, que além de auxiliarem no *presetting* de ferramentas, também realizam a compensação do desgaste das ferramentas de

corte entre as etapas do ciclo de usinagem. As características destes instrumentos será melhor explicada em tópico específico que trata desse assunto.

2.3.2 Desgaste e avarias de ferramentas

Conforme Machado *et al.* (2011), por mais dura ou mais resistente que seja uma ferramenta de usinagem ou por menor que seja a resistência mecânica da peça trabalhada, a ferramenta de corte sofrerá um processo de desgaste e precisará ser trocada. A troca deve ocorrer quando o desgaste chegar ao limite suportado pelas exigências da peça ou condições de uso da ferramenta. Para os autores, embora os custos com ferramentas de corte represente apenas uma pequena fração do custo total de usinagem, o desgaste acelerado ou avarias frequentes levam a parada de máquinas para a troca da ferramenta, significando custos adicionais e perda de produtividade.

Para Diniz *et al.* (2010), desgaste é a perda contínua e microscópica de partículas da ferramenta devido à interação entre a ferramenta e a peça. As demais ocorrências de perda de massa e geometria são denominadas avarias. Porém Machado *et al.* (2011), já distingue os fenômenos pelos quais uma ferramenta de corte perde sua eficácia na usinagem em três grupos distintos:

- a) **avarias** – fenômeno que ocorre de maneira repentina e inesperada, causado pela quebra, lascamento ou trinca da aresta de corte;
- b) **desgaste** – é a “mudança de sua forma original durante o corte, resultante da perda gradual de material” (ISO 3685, 1993);
- c) **deformação plástica** – como sendo a mudança da geometria da ferramenta pelo deslocamento de material.

Assim conforme Diniz *et al.* (2010) e Machado *et al.* (2011), diversos são os tipos de desgaste e avarias que podem ser encontradas em ferramentas de corte (Figura 8), entre eles:

- a) **desgaste frontal ou de flanco** – ocorre na superfície de folga da ferramenta causado por contato entre ferramenta e peça;
- b) **desgaste de entalhe** – este tipo de desgaste muda a forma da ponta da ferramenta, e com isso, influencia no acabamento da superfície usinada;

- c) **desgaste de cratera** - ocorre na superfície de saída da ferramenta e, tal qual o desgaste de flanco, em caso extremos pode provocar a quebra da ferramenta;
- d) **deformação plástica da aresta de corte** – pode ocorrer quando a pressão aplicada à ponta da ferramenta, somada à temperatura, gera deformação permanente na ferramenta;
- e) **aresta postiça de corte** – é formada por uma camada de cavaco que adere na superfície da ferramenta. Modifica o comportamento da ferramenta com relação a força de corte, acabamento superficial da peça e desgaste da ferramenta;
- f) **trincas térmicas** – são avarias provocadas pela variação da temperatura ou esforços mecânicos;
- g) **lascamento** – é um tipo de avaria da ferramenta que ocorre principalmente em ferramentas com material frágil ou quando a aresta de corte é pouco reforçada. Prejudicam o acabamento e se continuam crescendo, provocam a quebra da ferramenta;
- h) **quebras** - podem ocorrer por causa de desgastes ou avarias que causam a quebra da ferramenta. Esta quebra também pode ser influenciada por ferramenta muita dura, choque mecânico, carga excessiva, corte interrompido, entre outros.

Embora os sistemas de *toolsetters laser* ou por contato tenham sido desenvolvidos com o objetivo de monitorar e compensar a maioria dos problemas apresentados pelas ferramentas de usinagem, alguns destes problemas, por não apresentarem sinais de deformação ou perda de massa da ferramenta, ainda não são possíveis de serem detectados por estes instrumentos, entre estes se encontram:

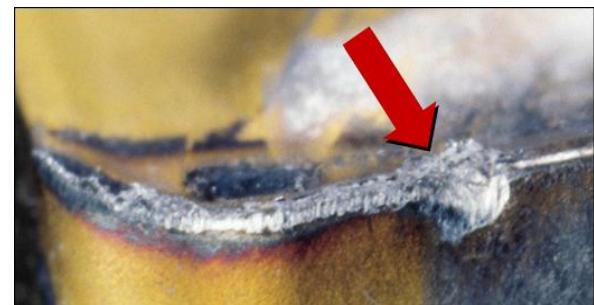
- a) desgaste por cratera;
- b) trincas térmicas.

Figura 8- Avarias e desgastes de ferramentas de corte.

a) - Desgaste de flanco



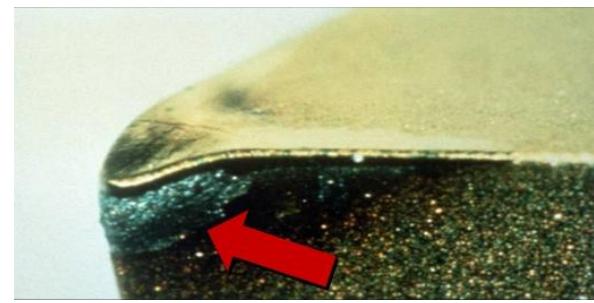
b) – Desgaste de entalhe



c) - Desgaste por crateras



d) - Deformação plástica



e) - Aresta postiça



f) - Trincas térmicas



g) - Lascamentos



h) - Quebra da aresta



Fonte: Adaptado de Sandvik (2012)

Conforme já foi verificado por Machado *et al.* (2011), quando o desgaste da ferramenta de corte alcança grandes proporções e coloca o processo de usinagem

em risco, essa ferramenta deverá ser substituída, ou quando aplicável, deverá poder ser afiada (Figura 9). O tempo em que uma aresta de corte trabalha efetivamente antes de ser substituída ou afiada é denominado vida da ferramenta de corte. A norma ISO 3685 (1977) quantifica os valores que definem os níveis de desgastes de uma ferramenta. Os principais são:

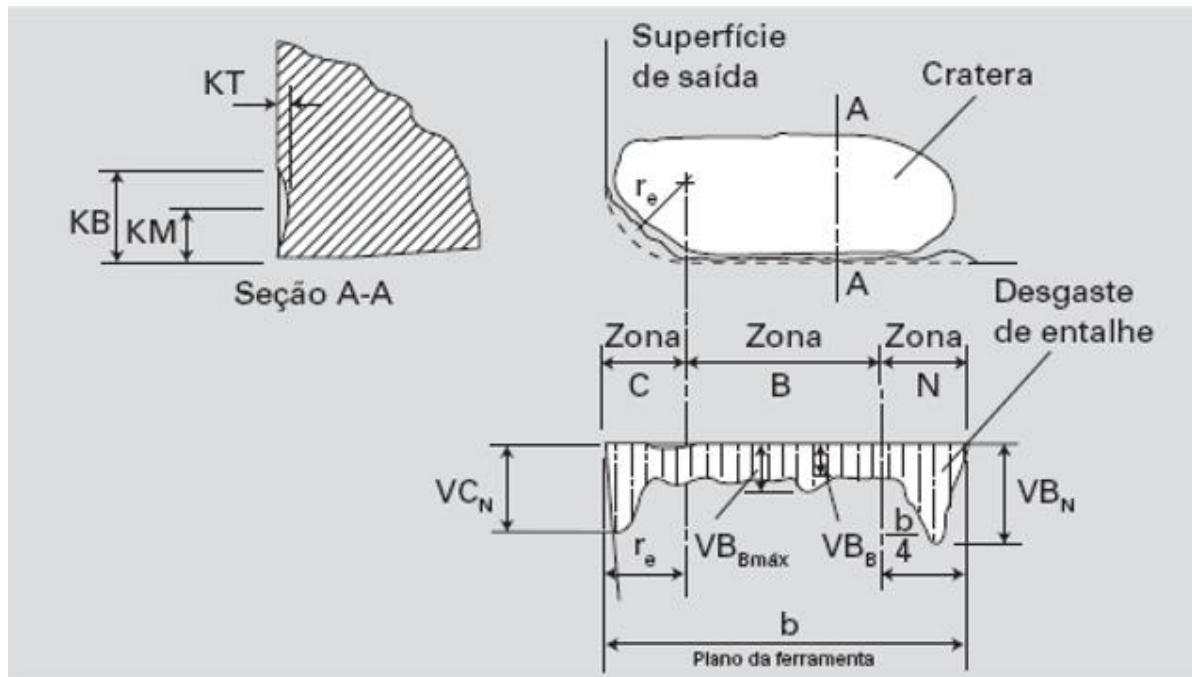
KT = profundidade de cratera (mm)

VB_B = desgaste de flanco médio (mm)

$VB_{B\max}$ = desgaste de flanco máximo (mm)

VB_N = desgaste de entalhe (mm)

Figura 9 - Parâmetros utilizados para medir os desgastes das ferramentas.



Fonte: Adaptado de Machado *et al.* (2011)

Para Diniz *et al.* (2010), a vida da ferramenta é o tempo em que a mesma trabalha efetivamente até perder sua capacidade de corte dentro de um critério previamente estabelecido. Conforme os autores, quando este tempo é atingido, a ferramenta deve ser reafiada ou substituída.

O percurso de corte (I_c) e o percurso de avanço (I_f) para uma vida de T minutos, conforme Diniz *et al.* (2010), são dados por:

$$l_c = (V_c \cdot T) / 1000 \text{ (Km)} \quad (3)$$

$$l_f = f \cdot n \cdot T \text{ (mm)} \quad (4)$$

Onde:

f = avanço (mm/min)

n = rotação (RPM)

Para Diniz *et al.* (2010), diversos fatores determinam a fixação de um determinado valor-limite de desgaste para o fim da vida da ferramenta, entre eles são:

- a) quando o desgaste chega a um ponto tão elevado que se teme a quebra da aresta de corte;
- b) quando não se consegue obter as tolerâncias do projeto, ou quando o acabamento superficial da peça não é mais possível de se obter;
- c) quando o desgaste provoca o aumento da temperatura da peça, comprometendo a integridade do processo, acentuando a degradação da aresta de corte da ferramenta;
- d) quando o aumento da força de usinagem, provenientes dos desgastes elevados da ferramenta, interferem no funcionamento da máquina.

Dinis *et al.* (2010) ainda chamam a atenção para os riscos do processo, como os que trabalham em operações de desbaste, na qual não é necessária a obtenção de tolerâncias apertadas ou bons acabamentos superficiais, permitindo-se que os desgastes das ferramentas cheguem a valores extremamente altos. Nessas condições, o risco para a integridade não só da ferramenta de corte, mas também para o equipamento e o operador devem ser considerados.

2.3.3 Classificação de ferramentas para uso em máquinas CNC

Conforme Smith (2008), quando existe um erro de medição na etapa de ajuste de ferramentas (*presetting*), o qual pode ter como origem um processo ou equipamento inadequado usado para esta finalidade, este erro é transferido para o produto trabalhado com perdas na qualidade ou na produtividade.

Para Smith (2008), as ferramentas de corte em uma máquina de usinagem podem ser classificadas em três grupos distintos, os quais ele define como:

- a) **ferramentas não qualificadas** – é um grupo formado por ferramentas que não têm dimensões conhecidas, portanto, elas devem ser medidas de forma independente e seus valores inseridos no campo apropriado do painel de comando do CNC, ou coletado de forma automática por aparelhos de pré-ajustagem;
- b) **ferramentas semi-qualificadas** - são ferramentas, as quais nem todas as dimensões são conhecidas, como o diâmetro de uma broca, que tem sua dimensão gravada no corpo da ferramenta ou que pode ser facilmente verificada com o auxílio de um paquímetro, porém quanto a dimensão do seu comprimento, essa deve ser verificada por um processo ou equipamento apropriado antes que possa ser utilizado pela máquina-ferramenta;
- c) **ferramentas qualificadas** – são aquelas ferramentas, cujas dimensões relevantes para o processo são conhecidas, como exemplo o sistema de troca rápida de ferramentas modulares.

2.4 Setup

A redução do tempo de *setup* tem como objetivo minimizar o tempo ocioso e os desperdícios, a fim de elevar a produtividade para reduzir os custos de uma determinada operação.

Conforme Slack *et al.*, (2009), o tempo de *setup* é definido como o tempo decorrido na troca do processo no final da produção de um lote até a produção da primeira peça boa do próximo lote. Esses tempos podem ser reduzidos por meio de uma variedade de métodos, como reunir próximo à máquina todos dispositivos e ferramentas necessários para o processo de *setup* da máquina-ferramenta. Mudanças simples podem reduzir os tempos de *setup* consideravelmente. Silva *et al.* (2011) comenta que a redução do tempo de *setup* no processo tem impactos diretamente ligados a um aumento de produção.

De forma semelhante a definição apresentada por Slack *et al.*, (2009), porém contemplando o processo como um todo, Shingo (2000) define o *Setup* como sendo à atividade de preparação da estação de trabalho para a execução de um lote de peças, no qual o tempo desta preparação consiste no período de tempo decorrido entre o final da execução da última peça de um lote, e a execução completa da primeira peça conforme do lote subsequente.

Shingo (2000) aponta alguns problemas relativos ao *setup*:

- a) perda de volume de produção, aumento do tempo de máquina parada;
- b) queda de eficiência da máquina e do operador;
- c) custo de matéria-prima perdida em ajustes e testes;
- d) custo de oportunidade do material que seria produzido caso o *setup* fosse menor;
- e) necessidade de aumentar os lotes de produção;
- f) maior lead-time devido às esperas do lote e do processo.

Segundo Antunes (2008), as perdas e desperdícios da produção estão classificados em sete grupos, os quais estão presentes em maior e/ou menor grau no cotidiano das organizações. São estes:

- a) perdas por superprodução;
- b) perdas por transporte;
- c) perdas no processamento;
- d) perdas devido à fabricação de produtos defeituosos;
- e) perdas nos estoques;
- f) perdas por movimento;
- g) perdas por espera.

Assim evitar perdas e desperdícios dentro do processo produtivo, é um dos meios que está diretamente relacionado ao estudo do *setup*, o qual se constitui como um dos alicerces da produção ou manufatura enxuta. A redução do tempo de *setup* tem como objetivo reduzir os estoques e eliminar atividades que não agregam valor ao produto, por meio de ações que visam ao aumento da eficiência dos processos com a eliminação, redução dos gargalos e reorganização das atividades (SHINGO, 2000; SIMON *et al.*, 2002; ANTUNES, 2008).

Conforme Allahverdi, Soroush (2008) e Soares (2008), quando uma empresa decide fornecer produtos ou serviços, o resultado passa muitas vezes pelas atividades de vários recursos dentro da organização. Essas atividades exigem configurações a cada troca de processos ou produtos, e que muitas vezes podem refletir nos resultados de procedimentos caros e demorados. Nesta linha a redução de *setup* é uma característica importante no programa de melhoria contínua da organização da produção. Se essa organização tem como meta, responder às mudanças, com tempos mais curtos de entrega, tamanhos de lotes menores e

padrões mais elevados de qualidade, a preocupação com o *setup* torna-se ainda mais crítica.

Goldratt (2002), que estudou a Teoria das Restrições aplicada dentro de uma cadeia produtiva, afirma que o objetivo de uma organização está relacionado com o seu lucro, ou seja, ganhar dinheiro, e segundo ele, o aprimoramento das técnicas que otimizam o uso racional dos equipamentos, como a busca pela redução do tempo de *setup*, contribuem para que esta meta seja alcançada.

De acordo com Shingo (2000), muitos gerentes de fabrica consideram a produção diversificada como sendo seu maior desafio. Lotes pequenos e de características diferentes exigem constantes mudanças de *setup*. Entretanto o próprio autor alerta para o cuidado na interpretação deste conceito que pode confundir características de fornecimento com demanda. Como resposta a diversidade na demanda o fornecedor necessita de flexibilidade nas numerosas operações de *setup* para atender a uma produção de lotes pequenos. Assim alguns problemas relacionados as estratégias tradicionais para reduzir o *setup*:

- a) reduzir a diversificação dos produtos - reduz o número de *setup* diferentes, mas reduz também a oferta de produtos diferentes ao mercado;
- b) aumentar os volumes dos lotes - reduz a necessidade de novos *setups*, mas gera problemas como consequência, a estocagem e superprodução;
- c) adotar estratégia de lote econômico - efeitos de *setup* e de estocagem sobre o custo atingem ponto de equilíbrio.

A estratégia do lote econômico, apesar de antiga, seria a mais coerente, entretanto o próprio Shingo (2000) alerta para o risco na aplicação deste conceito, pois segundo ele, pode se pressupor que reduções de *setup* sejam entendidas como sendo impossíveis. Para o autor, a adoção desse sistema, foi uma medida evasiva, e não uma abordagem positiva na melhoria da produção.

Shingo (2000) afirma que no passado as melhorias de *setup* eram obtidas por meio do desenvolvimento das habilidades dos operadores e da produção em grandes lotes. Entretanto, como já foi sugerido por Baptista (2004), a redução dos tempos produtivos podem ser conseguidas com a adoção de novas máquinas-ferramenta, ferramentas de corte, dispositivos, entre outros. Nesta linha Smith (2008) e Vieira Jr. et al. (2011), chamam atenção para aplicação dos equipamentos de *toolsetters* em máquinas-ferramenta, os quais tem como objetivo otimizar o custo de fabricação por meio da redução do tempo de preparo da máquina-ferramenta

durante o (*setup*) e o monitoramento das condições da ferramenta entre as etapas da operação de usinagem.

Em um exemplo de aplicação, Smith (2008), comparou o processo de *setup* utilizando como referência dois processos de fabricação com os mesmos parâmetros de usinagem e mesmo produto, porém com métodos de *presetting* diferentes (Figura 10), como segue:

- Sequência de *setup* com o uso de equipamento de *toolsetter*. Para efeito de ilustração conforme a Figura 10, na sequência de 4 a 6 foi simulado um processo de correção de desgaste de ferramenta:

1. Setup;
2. Primeiro componente produzido, com auto inspeção e atualização de corretores;
3. Produção;
4. Peças produzidas fora de tolerância;
5. Correção de desgaste de ferramentas;
6. Redefinição de ferramenta utilizando sonda;
7. Produção.

- Sequência de *setup* sem o uso de equipamento de *toolsetter*, ou seja, o processo de *setup* e acompanhamento da produção é realizado pelo método manual. Para efeito de ilustração conforme a Figura 10, no meio do processo (sequência de 8 a 11), foi simulada a quebra de uma ferramenta para evidenciar que a cada evento como este, o ciclo com todas as etapas se repetirá:

1. *Setup*;
2. Primeiro componente produzido;
3. Inspeção;
4. Medição de ferramentas;
5. Reinício do trabalho;
6. Inspeção;
7. Produção;
8. Quebra de ferramenta;
9. Medição de ferramentas;
10. Reinício do trabalho;

11. Inspeção;
12. Produção.

Figura 10 - *Setup* com e sem uso de sistema de *toolsetter*.



Fonte: Adaptado de Smith (2008)

2.4.1 *Setup* em máquina CNC

Todo processo de fabricação industrial, e em especial a usinagem, ao ser iniciado passa por uma etapa de ajustes para se adequar o equipamento às condições do novo processo. Nesta etapa são realizadas tarefas como, troca de dispositivos de fixação de peças, medição e ajustes de ferramentas, entre outros (FREY *et al.*, 2011). Nas máquinas controladas por comando numérico, dentre os ajustes realizado na operação de *setup*, o equipamento precisa fazer o reconhecimento das dimensões das ferramentas, as quais podem estar localizadas em um magazine, ou posicionadas em um dispositivo porta-ferramentas, (WEATHERALL, 1992 apud CORRER 2006, p.13). Este processo de reconhecimento da dimensões das ferramentas é denominado de ajuste ou referenciamento de ferramentas. Para Correr *et al.* (2007) e Simon (2008), o sistema

de ajuste de ferramenta, o qual está inserido dentro do tempo de *setup*, em um centro de usinagem pode ser realizado de três formas:

a) **ajuste sistema manual** – é o processo de *presetting* realizado sem o auxílio de dispositivos. Este podendo ser subdividido em duas formas diferentes:

a.1) **manual sem usinagem** - neste modo o operador utiliza o comando da máquina para acionar manualmente os eixos X, Y e Z, gerando movimentos que possibilitam a aproximação da ferramenta até a peça a ser usinada. Com o objetivo de evitar danos na ferramenta ao ser aproximada da peça, no momento do ajuste, é utilizada uma folha de papel ou filme de plástico posicionado entre a ferramenta e a peça (Figura 11). Este recurso melhora a sensibilidade do operador, evitando o toque entre a peça e a ferramenta, pois caso isto ocorra, poderá provocar danos como trincas, quebras ou outros danos na região de corte comprometendo a vida útil da ferramenta. Assim que a ferramenta é posicionada, as suas dimensões são anotadas e carregadas na máquina por meio da Interface Homem Máquina (IHM). Esta operação é realizada tanto para o diâmetro como para o comprimento da ferramenta;

Figura 11 - Sistema de ajuste manual.



Fonte: Próprio autor

- a.2) **manual com usinagem** - nesta forma de *presetting* uma usinagem experimental é realizada utilizando o método de aproximação descrito no item anterior, porém com a ferramenta em movimento. Neste método dimensões aproximadas das ferramentas, obtidas por meio da utilização de equipamentos de medição como paquímetro ou dispositivos apropriados, são introduzidas na máquina pela IHM, em seguida é realizada um processo de usinagem com acionamento manual. Após essa usinagem experimental, a diferença entre os valores programados e a peça usinada é anotada. Em seguida a interface do IHM do equipamento é acionada, por meio de digitação os valores de correção são inseridos para máquina. Essa informação será usada pelo equipamento no momento em que a ferramenta for selecionada para a usinagem. Este processo permite realizar a compensação do erro encontrado durante a medição da peça usinada de forma experimental com mais precisão do que o método de *presetting* manual sem usinagem;
- b) **ajustagem externa** - a ajustagem externa é realizada por meio da utilização de aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas, conhecidos como *presetters*. A vantagem deste processo em relação ao *presetting* manual é que este pode ser realizado enquanto a máquina está produzindo (Figura 12).
- c) **ajustagem interna** – este sistema utiliza aparelhos internos de pré-ajustagem de ferramentas, conhecidos como *toolsetters*. Estes podem ser por contato ou por sistema laser.

Figura 12 - *Presetter* para verificação de comprimento de ferramenta



Fonte: Premium Metrology (2013)

Para Smith (2008), dentre todos os processos de medição de ferramentas em máquinas CNC, o sistema de ajuste manual com ou sem usinagem é considerado como o método mais primitivo.

2.5 Troca Rápida de Ferramenta

Criado por Shigeo Shingo, o sistema de Troca Rápida de Ferramentas ou também chamado de SMED (*Single-Minute Exchange of Die*), tem como essência a redução dos tempos de preparação de máquina (*setup*), no qual a flexibilidade das operações produtivas, ou do sistema como um todo, está atrelada à capacidade de mudar de um produto para outro no menor tempo possível, possibilitando adaptações às alterações da demanda (RIBEIRO *et al.*, 2007).

Conforme Fogliatto e Fagundes (2003), a TRF é essencial para a obtenção da qualidade e da produtividade necessária para a manutenção da estratégia competitiva das empresas em relação aos clientes e mercado. A redução do *lead time* depende da redução dos estoques intermediários, da sincronização da produção e do tamanho dos lotes de fabricação. A redução do tamanho dos lotes se dá em função da redução do tempo de *setup*, proporcionado pela elevada contribuição dos sistemas de TRF no processo de fabricação.

Conforme os estudos que foram desenvolvidos por Shingo (2000) nas indústrias japonesas, a TRF foi detalhada pela análise de aspectos teóricos e práticos que envolvem as operações de melhoria da troca de *setup*. Conforme este autor, o estudo do sistema de troca rápida de ferramentas, está divido em quatro estágios conceituais de melhoria, os quais são:

- a) no estágio inicial - as condições de *setup* interno e externo se confundem. O *setup* interno, no qual as operações podem ser executadas somente quando a máquina está parada, e o *setup* externo, cujas operações podem ser realizadas enquanto a máquina ainda está em funcionamento. Nesse primeiro estágio da TRF, é separado o *setup* interno do externo;
- b) o segundo passo da TRF é converter o *setup* interno em externo;
- c) o terceiro passo da TRF racionaliza todos os aspectos da operação de *setup*;
- d) leva em consideração a eliminação de ajustes e a linearização dos métodos de fixação.

De acordo com Shingo (2000), a grande contribuição da TRF, é o fato de procurar converter, ao máximo, o trabalho de *setup* interno em *setup* externo, o que possibilita grande redução dos tempos de máquina parada. Shingo estudou ou e classificou os tipos de *Setup* em:

- a) *setup* interno – operações que podem ser executadas somente quando a máquina estiver parada, como a fixação e remoção das matrizes;
- b) *setup* externo - operações que devem ser concluídas enquanto a máquina estiver funcionando, como o transporte de matrizes, da montagem à estocagem ou no sentido inverso

2.6 Presetters e Toolsetters

Das tecnologias utilizadas como recurso auxiliar da usinagem em máquinas CNC, destacam-se os sistemas de pré-ajustagem de ferramentas (*presetters* e *toolsetters*), que visam promover o aumento da capacidade competitiva por meio da flexibilidade, da melhoria da qualidade, da redução do tempo de *setup* e da redução dos tempos de ciclo de produção dos lotes de peças em máquinas-ferramenta CNC (FARDIN, 2010; CORRER *et al.*, 2011).

Um dos equipamentos utilizados para se determinar ou verificar as dimensões das ferramentas de usinagem são os dispositivos de pré-ajustagem projetados para uso com máquinas-ferramentas CNC, os quais podem variar desde simples apalpadores mecânicos até os modernos sistemas de medição por laser, que além de registrar as dimensões das ferramentas, também são capazes de monitorar o processo de usinagem, automatizando as correções de comprimento e diâmetro das ferramentas. Esta automatização é possível a partir da análise de falhas como, desgaste, quebra ou qualquer alteração que as ferramentas possam sofrer durante o processo de usinagem (ARONSON, 2000; RENISHAW, 2003).

Os equipamentos de pré-ajustagem de ferramentas utilizadas para determinar dimensões, verificar desgaste ou quebra de ferramenta durante o processo de usinagem são dispositivos auxiliares projetados para uso com máquinas-ferramentas CNC, estes podem variar desde simples apalpadores mecânicos até os modernos sistemas de medição por laser (ARONSON, 2000; RENISHAW, 2003). Classificados conforme a sua aplicação, estes equipamentos são divididos em dois grandes grupos; os que realizam as medições da ferramenta fora da máquina e aqueles projetados para atuar dentro da área de trabalho da máquina-ferramenta. Esta diferenciação na forma de trabalho dos equipamentos de pré-ajustagem foi observado por Shingo (1996), na classificação do tipo de *setup*, entre interno e externo.

2.6.1 Aparelhos para pré-ajustagem externa (*presetter*)

Quando o *presetting* da ferramenta é realizado fora da máquina de usinagem, o equipamento utilizado para este fim recebe o nome de *Presetter* (CORRER *et al.*, 2006). Estes por não possuírem vínculos com a máquinas CNC podem ser instalados em qualquer lugar do chão de fábrica, fato que aumenta a sua flexibilidade (FORTUNATO, 2012). No *presetting* externo as ferramentas têm suas dimensões reconhecidas por meio de leituras realizadas por aparelhos que não interferem no funcionamento da máquina-ferramenta, pois se trata de sistemas independentes. Esta condição pode ser utilizada para otimizar o tempo do operador, pois permite que em alguns processos, principalmente os de ciclos longos, que o próprio operador possa executar as leituras das ferramentas enquanto a máquina CNC executa a tarefa de usinagem. A redução do processo de *setup* aumenta a

disponibilidade e produtividade do equipamento contribuindo para a redução no *lead time*. (SANTOS *et al.*, 2006; SMITH, 2008; SIMON, 2008; FARDIN *et al.*, 2010).

Embora a indústria tenha alcançado muitos benefícios com o uso dos sistemas de *presetter* externo, reduzindo significativamente o tempo de *setup*, como a possibilidade do *presetting* antecipado de ferramentas, estes ainda encontram alguns inconvenientes. Volpato *et al.* (2009), verificaram que muitas industrias ainda utilizam sistema de etiquetas impressas com os dados das dimensões das ferramentas, as quais são utilizadas como meio para levar até a máquina-ferramenta a informação gerada pelo *presetter*. A entrada dessa informação no equipamento de usinagem é realizada pelo operador, o qual digita as dimensões da ferramenta acessando a IHM, essa tarefa conforme observado pelo autor tem um grande potencial de erro, pois é muito comum encontrar situações, nas quais os erros associados a digitação tenha sido a causa de perda de produtividade. Smith (2008) chamou este erro de “dedo grosso” pelo fato das teclas da IHM serem acionadas indevidamente durante a operação de digitação. A perda de produtividade por máquina parada também foi observado por Simon (2001) como um dos fatores que interferem no índice de utilização das máquinas CNC, especialmente aqueles que para serem realizados exigem que o equipamento de usinagem esteja parado, como é em algumas formas de transferências de programas ou sistema de alimentação com dados de dimensões de ferramentas. Com o desenvolvimento de novas tecnologias surgiram outras formas de transferência da informação entre os aparelhos de *presetters* e as máquinas-ferramentas, como o sistema *Wireless*, cartão de memória, cabos de rede ou sistema sofisticados como, aqueles nos quais microchips são instalados nos suporte de ferramentas (SMITH, 2008).

Um problema comum a todos os sistemas de comunicação entre os aparelhos de *presetters* é a grande diversidade de comandos instalados em uma unidade fabril, a qual provoca limitações na aplicação destes sistemas, pois cada comando tem uma linguagem específica fato que dificulta a transferência da informação entre o *presetter* e o equipamento de usinagem (VOLPATO *et al.*, 2009).

A demanda por sistema de manufatura flexível e o desenvolvimento tecnológico, fez surgir no mercado uma grande diversidade de *presetters* destinados ao processo de monitoramento e medição de ferramentas. Estes aparelhos variam desde modelos com aplicações simples com leitura direta, semelhante a um traçador de altura digital, até o mais avançados, providos de recursos tecnológicos de

comunicação, com grande capacidade de medição, configuráveis e flexíveis para medição de vários tipos de ferramentas, características que os tornam muito úteis no processo de usinagem (Figura 13)

Conforme pesquisa desenvolvida por Smith (2008), na qual se verifica um exemplo da importância da contribuição do uso de *presetters* no processo de usinagem. Nessa pesquisa o autor constata por meio de estudos realizados em chão de fábrica, uma redução superior a 4,5 minutos para cada processo de troca de ferramenta executado em um centro de usinagem com o uso de aparelhos de *presetters*. Essa redução levou a um aumento da produtividade neste processo da ordem de 12,5%. O autor destaca ainda a importância deste tipo de equipamento para o controle de ferramenta geradoras de perfil, como “fresas modulo”, utilizadas na confecção de dentes de engrenagens, as quais o perfil da ferramenta é transferida para a peça usinada.

Figura 13 - *Presetter* com capacidade de medição de ferramenta de perfil definido.



Fonte: Zoller (2013)

Conforme constatado por Smith (2008), o ganho com o aumento da produtividade e da qualidade em um processo industrial com o uso de equipamentos de *presetters*, vai muito além daquele obtido como resultado direto do uso de tal equipamento na medição de ferramentas. A organização se beneficia também da cultura gerada ou estimulada pelo processo de preparação do ferramental de forma

antecipada a um novo ciclo de produção. Segundo Smith (2008), os funcionários envolvidos, direta ou indiretamente, nas atividades que manipulam as ferramentas de usinagem tendem a contribuir com um processo de gerenciamento, que deve ser cada vez mais organizado e eficiente. Essa prática direciona a empresa ao conceito *Lean* de produção, com a redução de prejuízos em toda a cadeia produtiva.

Simon (2008) destaca que, apesar das vantagens obtidas com equipamentos de pré-ajustagem, as quais podem ser verificadas por meio de pesquisas e aplicações na indústria, o seu uso ainda é muito limitado (Tabela 2). Estudo realizado por este autor em uma amostra de 457 empresas que atuam no mercado brasileiro que utilizam máquinas CNC, mostra que apenas 16,6% dos processos de *presetting* de ferramenta são realizados com o auxílio de equipamentos de pré-ajustagem. Do total de empresas pesquisadas, 34,8 % trabalham com sistemas alternativos, como dispositivos desenvolvidos com relógios comparadores e similares e das 457 empresas pesquisadas, 29,1% ainda utilizam o sistema de ajuste de ferramentas com a usinagem durante a usinagem da primeira peça.

Tabela 2 - Distribuição de pré-ajustagem empresas no mercado brasileiro.

Forma de Pré-ajustagem	% de empresas
Sistemas Adaptados	34,8
Usinando a 1ª peça	29,1
No presetter	16,6
Outros meios	2,0
Sem Resposta	8,5

Fonte: Adaptado de Simon (2008)

2.6.2 Aparelhos para pré-ajustagem interna (*toolsetters*)

Os equipamentos usados para *presetting* de ferramentas, e que se localizam no interior da máquina-ferramenta, são conhecidos no mercado como *Toolsetters*. Estes parelhos são posicionados sobre a mesa de trabalho, ou fixados nas partes internas do equipamento de usinagem de forma estratégica para otimizar a área útil, permitindo o aumento do volume de trabalho (Figura 14) (CORRER *et al.*, 2006).

Figura 14 - Modelo de *toolsetter* disponíveis no mercado, posicionado na mesa da máquina-ferramenta.



Fonte: Adaptado de Smith (2008)

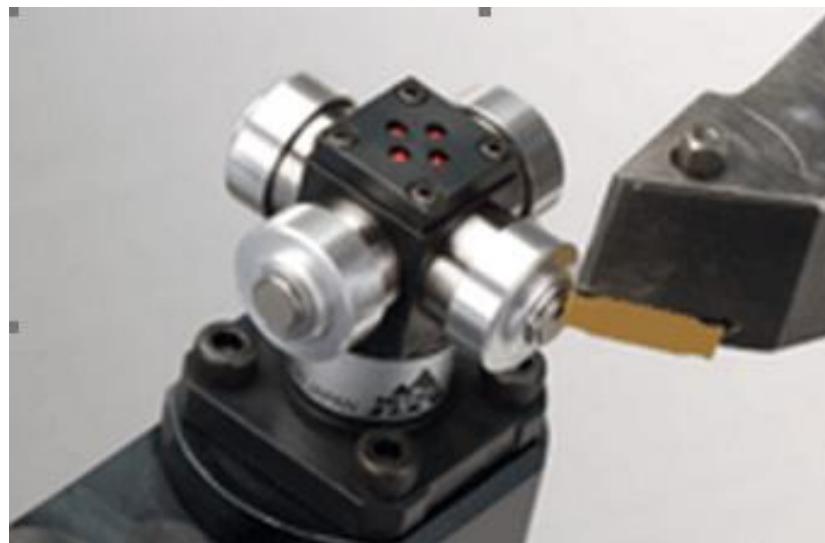
Os *toolsetters* que o mercado disponibiliza são classificados em dois tipos:

- a) *toolsetters* por contato;
- b) *toolsetters* sem contato.

2.6.2.1 Toolsetter por contato

Os *toolsetters* internos por contato são equipamentos que realizam a medição ou monitoramento das ferramentas de usinagem por meio de sensores de contato, os quais uma vez acionados, transmitem para a máquina-ferramenta por meio de sinal elétrico, informações que, permitem que está identifique as dimensões das ferramentas, quebras catastróficas ou condições de fim da vida da ferramenta, quando esta atinge por exemplo, o limite definido como tolerância de desgaste (RENISHAW, 2010). Conforme Correr *et al.* (2007) e Simon (2008), o sistema de medição por contato tem encontrado uma maior aplicação em centros de torneamento (Figura 15).

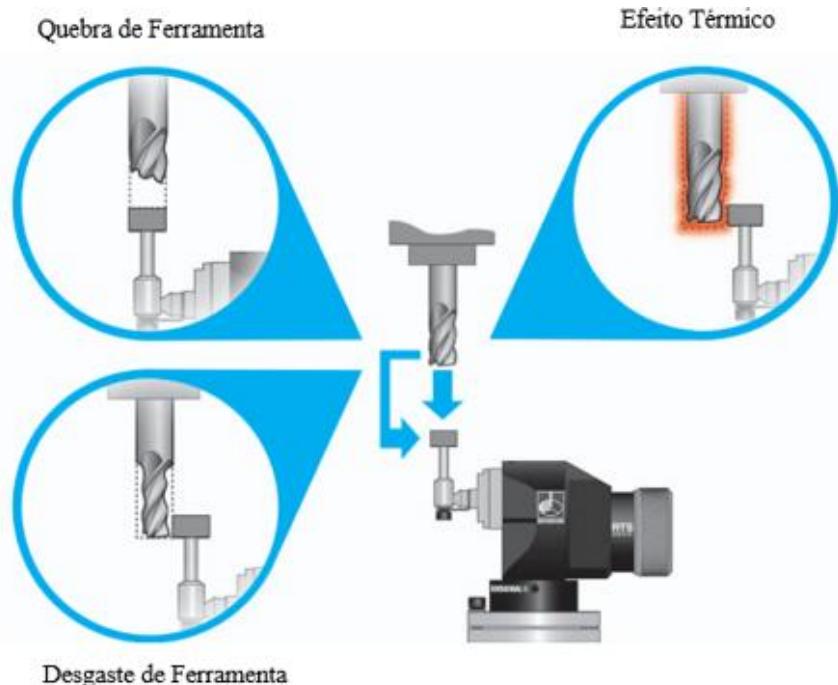
Figura 15 - Sistema de medição de ferramenta por contato em centros de torneamento.



Fonte: Metrol (2012)

Conforme Renishaw (2013), o mercado já disponibiliza sensores de contato para uso em centro de usinagem, equipados com sistema de transmissão sem fio (Wireless), que permite um melhor aproveitamento da área de trabalho e mais facilidade na instalação (Figura 16):

Figura 16 - Presetter de contato (sistema wireless), executando medição de fresa de topo.



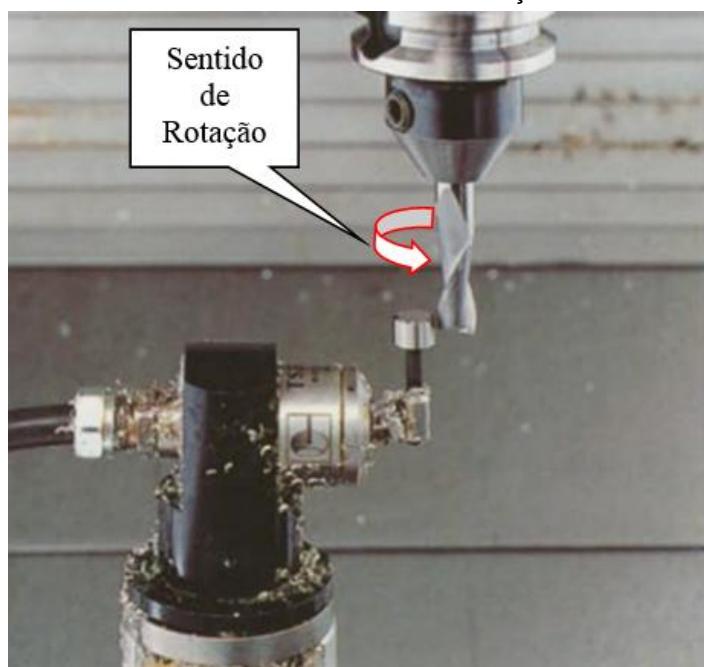
Fonte: Adaptado de Renishaw (2013)

Desde a invenção do apalpador de contato na década de 1970, estes dispositivos têm sido utilizados pela indústria como o principal meio para realizar

análise dimensional em máquinas de metrologia, sendo muito utilizado também em máquinas-ferramentas (Renishaw, 2013). Na sua forma mais simples, essas sondas de medição são dispositivos providos de interruptores, que ao serem acionados pelo contato da ferramenta com uma das faces do cubo, ou também chamado cilíndrico de medição, interrompe imediatamente um circuito elétrico, o qual envia um sinal para o comando da máquina. Esta interrupção identifica a posição exata em que a ferramenta se encontra registrando as suas dimensões. O interruptor usado neste tipo de *toolsetter* é formado por um sistema constituído por três hastes de alta precisão. Cada haste é assentada em esferas posicionadas a 120° uma do outra, mantendo o assento mecânico preciso e altamente equilibrado. Quando estas hastes são levantadas ou empurradas individualmente para fora do seu respectivo assento, o sistema desencadeia um pulso elétrico, representando uma dimensão nominal a qual é automaticamente registrada como o comprimento, ou o diâmetro de uma ferramenta (SMITH, 2008; LIM; RATNAM, 2012).

Uma grande limitação atribuída ao sistema de medição por contato é o fato da medição da dimensão da ferramenta ser realizado somente com o eixo arvore da máquina parado ou com rotação invertida ao sentido de corte da ferramenta, sendo que se utiliza a rotação inversa neste último para que a região de corte da ferramenta não danifique o sensor (Figura 17) durante o *presetting* (SMITH, 2008).

Figura 17 - Presetter de contato realizando medição de fresa de topo.



Fonte: Smith (2008)

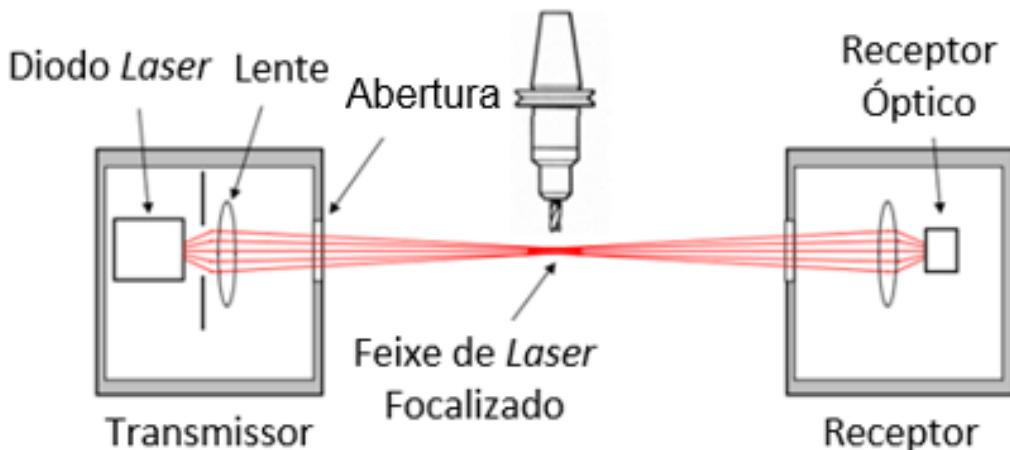
2.6.2.2 Toolsetter laser

Os aparelhos de *presetting* interno sem contato, diferentemente dos sistemas por contato, realizam a medição da ferramenta no momento que o feixe de *laser* tem sua trajetória interrompida de pela ação da ferramenta. Devido a sua forma construtiva, o sistema de medição de ferramentas por sistema *laser*, se adaptou melhor em centros de usinagem (CORRER *et al.*, 2006; SMITH, 2008).

A tecnologia de ajuste de ferramentas por sistema *laser* (*Toolsetter*) tem como objetivo otimizar o custo de fabricação por meio da redução do tempo de preparo da máquina-ferramenta para iniciar o processo de usinagem (VIEIRA JR. *et al.*, 2011). Allahverdi e Soroush (2008) também destacam a importância e benefícios da redução do *setup*, refletindo no aumento da disponibilidade de máquina, redução do *lead-time* e na flexibilização da linha de produção.

Diferentemente dos sistemas que detectam a dimensão da ferramenta por contato, o sistema *laser* executa esta função no instante em que a ferramenta interrompe o seu fluxo. Essa interrupção possibilita a identificação das dimensões da ferramenta ou gera informações que serão utilizadas pelo comando da máquina para a compensação desgastes ou avarias (Figura 18) (RENISHAW, 2003). O sistema de medição por *laser* pode ser utilizado em um centro de usinagem para monitorar de forma automática as condições de corte das ferramentas, e caso exista alguma variação durante o processo de usinagem, o sistema de *toolsetter laser* enviará um sinal para o comando numérico da máquina que executará a correção automaticamente (RENISHAW, 2003; SMITH, 2008). O sistema de medição por *laser* é utilizado principalmente em centros de usinagem, o qual é apontado como alternativa ao *presetter* externo (CORRER, 2006).

Figura 18 - Feixe laser interrompido pelo contato com a ferramenta.



Fonte: Adaptado de Renishaw (2013)

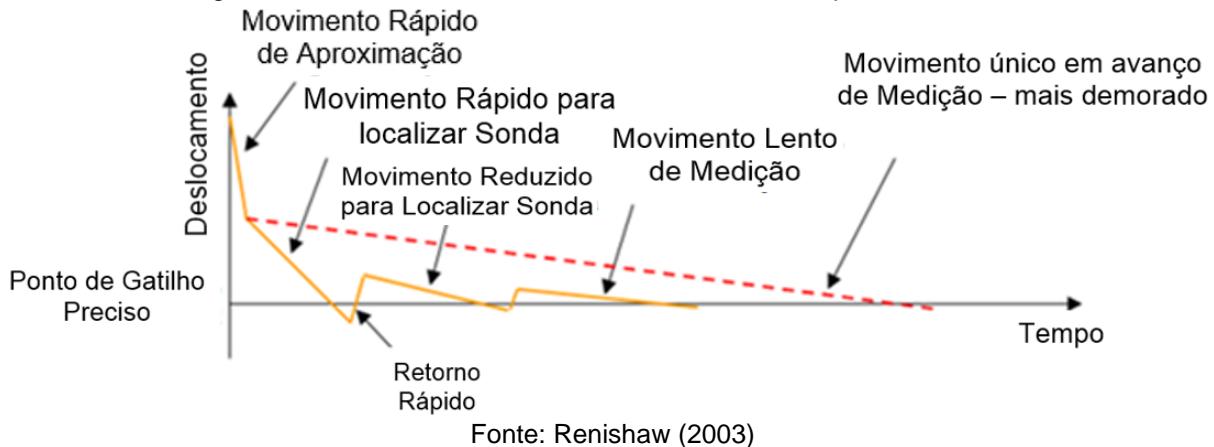
Conforme estudos realizados por Vieira Jr. et al. (2012), os resultados das medições realizadas pelo sistema de *presetting* laser são influenciados por parâmetros de processo como; velocidade de avanço da ferramenta e a rotação do eixo árvore, medida em rotações por minuto (RPM). Na rotina de calibração do *toolsetter*, operação que é realizada para que o instrumento possa realizar as medições com precisão, deve-se tomar o cuidado de verificar se a rotação e o avanço da máquina-ferramenta estão compatíveis com o sistema de medição que está sendo usado. A calibração do aparelho deve seguir procedimentos que variam em função das características de cada fabricante do *toolsetter laser*.

A melhor precisão das medidas de ferramentas obtidas com o sistema de *toolsetter laser*, está relacionada com sequência adotada na calibração do aparelho. Fatores como rotação da ferramenta e da velocidade de aproximação interferem na medição. Esta calibração consiste da medição de uma haste com dimensões conhecidas, a qual é usada como padrão de referência para a calibração do instrumento, este processo é necessário para que a máquina reconheça a localização do dispositivo posicionado sobre a mesa. A sequência de medição consiste de um movimento inicial da mesa da máquina-ferramenta e da ferramenta, em modo de avanço rápido para alcançar uma posição aproximada do *toolsetter*. Neste ponto a rotação é acionada, e a partir deste a ferramenta é recuada para uma pequena distância, sendo acionada novamente com avanço reduzido em direção ao feixe de laser. O movimento é repetido até que os efeitos da aproximação rápida sejam minimizados e torne a medição mais rápida e precisa possível (Figura 19).

Este processo é uma estratégia adotada para reduzir os efeitos provocados pela aceleração dos eixos da máquina-ferramenta no processo de medição.

A medição é realizada com avanço baixo, a fim de garantir uma maior precisão, porém torna-se um fator a ser considerado na implantação do sistema de medição devido ao tempo envolvido na operação. Entretanto a calibração feita em etapas, como foi descrito, ainda é mais rápido e precisa do que a calibração feita em um único movimento de aproximação a baixa velocidade de avanço a partir de uma distância maior (RENISHAW, 2003; SMITH, 2008).

Figura 19 - Influência da velocidade do eixo árvore na precisão do laser



De acordo com Castro (2008), o sistema de medição em uma máquina-ferramenta, está sujeito a muitas incertezas, entre elas, as condições ambientais de trabalho que o equipamento está submetido, como a presença de fluido corte, cavacos ou detritos localizados sobre a ponta da ferramenta de corte que está sendo medida (Figura 20). Esta é a desvantagem mais significativa no uso do sistema de *toolsetter* sem contato, quando comparado com outras técnicas de medição com os sistemas por contato. Este último ao realizar a medição, o contato da superfície do disco de medição com a ferramenta, facilita o processo, ignorando pequenos gotejamentos, líquidos e filmes que possam interferir na medição.

Figura 20 - Equipamento atuando na presença de fluido de corte.



Fonte: Renishaw (2003)

Algumas técnicas são recomendadas pelos fabricantes para superar o problema de interferência do meio ambiente no processo de medição, como acionar a ferramenta com alta rotação para expulsar os resíduos, ou utilizar uma rajada de ar para desobstruir o orifício de passagem do feixe de laser. Alguns modelos de *toolsetters laser* são providos de recursos para limpeza do furo de passagem do feixe do laser. Outra técnica adotada pelos fabricantes de *toolsetters*, consiste em medir por várias vezes a ferramenta de corte, e em seguida por meio de software específico, aplicam técnicas de análise por dispersão para assim poderem verificar se existe alguma variação causada por medir algo diferente do que a ferramenta em si (Figura 21) (RENISHAW, 2003; SMITH, 2008).

Figura 21 - Medições múltiplas com tolerância de dispersão aplicada



Fonte: Renishaw (2003)

Os equipamentos de *toolsetters* laser embora exijam alguns cuidados na sua implantação, conforme verificado por Renishaw (2003) e do seu uso ainda limitado, como observado por Santos *et al.* (2006) e Simon (2008), tem apresentado grandes vantagens em aplicações de medição e monitoramento de ferramentas, especialmente quando comparado com as perdas causadas pelo sistema de ajuste manual de ferramentas, demonstrado por (VIEIRA JR. *et al.*, (2011).

Renishaw (2003), Blum (2005), Smith (2008), Vieira Jr. *et al.* (2011) e Hexagon (2012), destacaram algumas vantagens que podem ser observadas com o uso do sistema de medição de ferramentas por feixe de laser, entre elas:

- a) sistema de compensação e medição de ferramenta de corte com atualização automática dos dados da ferramenta;
- b) monitoramento constante do processo, com controle dos dados da ferramenta evitando consequências danosas em relação ao desgaste excessivo ou quebra de ferramentas;
- c) redução no tempo de investimento pela eliminação do custo de ajuste e retrabalho das ferramentas;
- d) qualidade superior da medição, em função da melhor precisão das dimensões obtidas;
- e) tempo mínimo de parada, em função da rápida disponibilidade dos dados da ferramenta;
- f) rápida detecção do batimento da ferramenta;
- g) riscos mínimos de perda de informação pela transmissão automática dos dados da ferramenta;

- h) ferramentas de múltiplos dentes podem ser mensuradas sem perda de precisão;
- j) possibilidade de compensar as variações dimensionais em função da variação das condições ambientais e da máquina (temperatura e erro geométrico);
- k) possibilidade de detectar quebra e desgaste de ferramenta entre etapas do processo;

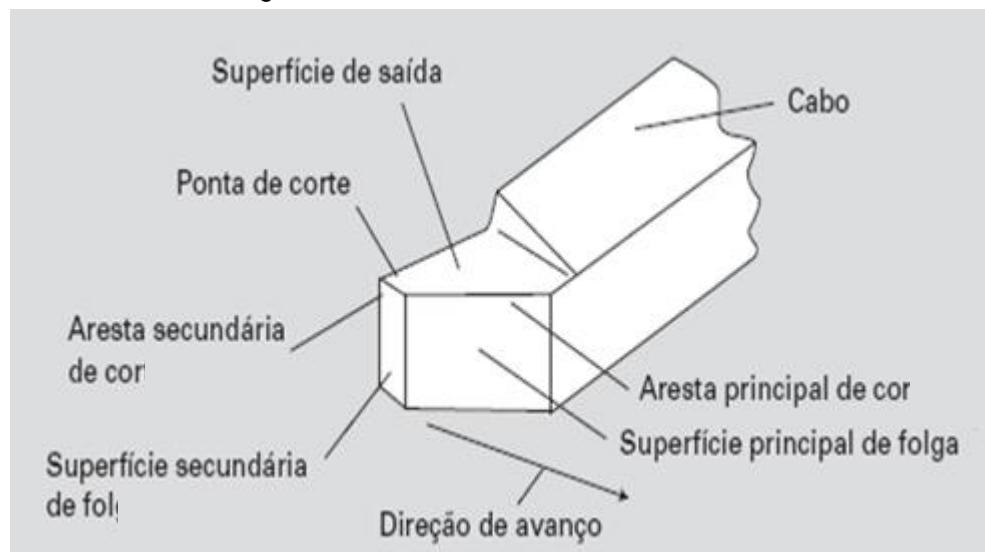
E ainda conforme Smith (2008), Vieira Jr. (2011) e Renishaw (2013), a utilização de sistemas de *presetting laser*, além de contribuir com a redução dos tempos gastos na etapa de pré-ajustagem das ferramentas, é possível obter ganhos com:

- a) aumento da produtividade;
- b) aumento da flexibilidade da utilização das máquinas de usinagem;
- c) redução de custos e aumento com disponibilidade do equipamento;
- d) redução do *lead-time*;
- e) redução de refugos em função de erros de ajuste no processo de *setup*.

2.6.3 Problemas relacionados ao sistema de medição de ferramenta por *toolsetter laser*.

O sistema de medição de ferramentas, seja pelo o processo por laser ou por contato, está limitado a fazer a medição do desgaste da ferramenta quando estes surgem na aresta principal de corte ou na ponta corte (Figura 22), ou seja, desgastes que apresentam deformação ou perda de massa, ou ainda quebra ou lascamentos podem ser detectados por estes métodos, entretanto outros tipos de desgastes, como por exemplo, desgaste por cratera, que ocorrem na superfície principal de folga de uma ferramenta, devido ao atrito do cavaco nesta superfície, ou por trincas térmicas provocadas por choques térmicos, não são detectados por estes meios, pois não apresentam deformações que possam ser mensuradas por estes sistemas.

Figura 22 - Desenho de ferramenta de corte.



Fonte: Machado *et al.* (2011)

Conforme Smith (2008) existe benefícios reais na utilizam de sistema de verificação de desgastes de ferramentas, porém quando muitas rotinas de verificação são inseridas no ciclo de produção, estas passam a consumir muito tempo do processo. Desta forma o autor alerta para a escolha da frequência de verificação de desgastes seja realizada de forma criteriosa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia é a etapa responsável por descrever os procedimentos e demais detalhes da pesquisa (GIL, 2011). Este trabalho tem um caráter exploratório e experimental.

De acordo com Cervo e Bervian (2006), a pesquisa de natureza exploratória conduz a uma descrição precisa da situação, a qual tem por objetivo descobrir as relações existentes entre os elementos que compõe o mesmo. Este conceito é complementado por Marconi e Lakatos (2010 p.171), as quais destacam que uma das finalidades dos estudos exploratórios é “aumentar a familiaridade do pesquisador com o ambiente, fato ou fenômeno para a realização de uma pesquisa futura mais precisa”.

Para Marconi e Lakatos (2010), a pesquisa experimental consiste de investigação empírica cujo objetivo principal é testar as hipóteses que dizem respeito a relações de tipo causa é efeito. As variáveis são manipuladas como objeto de estudo, com alterações nas variáveis independentes e consequente observação do resultado na variável dependente.

Para Gil (2011) um experimento representa o melhor exemplo de pesquisa científica, no qual consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-las, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

3.1 Método de pesquisa

As etapas desta pesquisa foram desenvolvidas tendo como base Gil (2011).

a) **Definição do problema:** a pesquisa experimental tem início com a definição de um problema, e este deve ser apresentado de forma clara e objetiva (GIL, 2011). O problema tratado neste trabalho é:

- existem ganhos de produtividade e de qualidade em máquinas CNC a partir do uso de sistema de *toolsetter* laser?

b) **Revisão da literatura:** é a etapa responsável pela busca da teoria já existente, relacionada com o problema abordado na presente pesquisa (GIL, 2011).

- a revisão da literatura teve como objetivo principal, a busca por materiais publicados para contextualização teórica deste trabalho. Essa pesquisa foi baseada em artigos científicos (nacionais e internacionais), utilizando como fonte de dados, os periódicos da CAPES, *Science Direct*, ProQuest, EMERALD, entre outras bases, assim como, livros, folhetos técnicos, participação em feiras e congressos;
 - a busca realizada nas bases de dados foi concentrada nas palavras-chave: *Presetting*, *Toolsetter*, Qualidade, Produtividade, Usinagem, *Setup* e Ferramentas de Usinagem;
 - a pesquisa levou em consideração o período entre 2000 e 2013, porém com maior predominância nas publicações lançadas entre 2008 e 2013.
- c) **Construção de hipóteses:** a pesquisa experimental deve ser constituída a partir de hipóteses que visam estabelecer uma relação entre as variáveis e a ocorrência de um determinado fenômeno (GIL, 2011). Com relação ao presente trabalho, as hipótese são:
- **Os tempos despendidos nas operações de presetting manual resultam em perdas para o processo** – Conforme verificado por Vieira Jr. (2011), o processo de pré-ajustagem de ferramentas realizados pelo método manual causam perdas de tempo durante o *setup*, pois este processo além de ser demorado, via de regra, exige a parada da máquina para verificação e correções das dimensões das ferramenta. Somando-se ao tempo gasto com esta operação, existe ainda o risco de comprometimento da tolerância dimensional nesta fase de ajuste;
 - **O uso de equipamentos de presetting possibilita a obtenção de ganhos de qualidade em função da melhor precisão da medição das ferramentas** – Conforme Smith (2008), a precisão da medição de ferramentas durante o *presetting*, assim como, a verificação do nível de desgaste destas ferramentas entre as etapas de usinagem, é refletida na qualidade final da peça, principalmente em operações de acabamento, onde a qualidade do produto final é verificada pelo nível de acabamento e da precisão dimensional obtidas com o processo de usinagem.
 - **A eliminação da falha humana na operação de presetting possibilita obter ganho de produtividade em função da redução do**

tempo de máquina parada – Volpato *et al.* (2009) afirma que muitas empresas ainda utilizam etiquetas impressas como meio de transferência de informação das dimensões de ferramentas obtidas por *presets*;

d) **Seleção das variáveis:** as variáveis de uma pesquisa experimental devem facilitar a compreensão de um determinado fenômeno, isto é, gerar condições para que seja realizada a sua investigação (GIL, 2011).

Para verificar os ganhos de produtividade e de qualidade foram realizados ensaios em um centro de usinagem no qual uma variável dicotômica, forma de *presetting*, foi alternada com:

- *presetting* de ferramentas realizado com o uso de *toolsetter laser*;
- *presetting* de ferramentas realizado sem o uso de *toolsetter laser*.

e) **Coleta de dados:** deve descrever os métodos empregados na aquisição dos dados (GIL, 2011):

Os dados estudados neste trabalho foram obtidos por meio de ensaios de usinagem, nos quais amostras (peças) usinadas com ferramentas pré-ajustadas com uso de sistema de *toolsetter laser* e amostras usinadas com ferramentas pré-ajustadas com processo de *presetting* manual. Os dados fornecidos nestes ensaios, foram:

- variações dimensionais, nos ensaios de qualidade;
- tempo de processo e custo de produção, nos ensaios de produtividade.

A descrição detalhada dos ensaios será feita mais adiante, ainda neste capítulo.

f) **Análise dos dados:** é a etapa responsável pelo estudo das informações obtidas na coleta de dados (GIL, 2011). Neste trabalho, a análise dos dados foi realizada da seguinte forma:

- os dados quantitativos referentes as variações de tempos e variações dimensionais obtidos com os ensaios de produtividade e de qualidade foram agrupados e organizados em software de planilhas eletrônicas para a análise e emissão de gráficos;
- dados qualitativos – foram tiradas fotos das superfícies das peças usinadas para observação visual do acabamento no ensaio de qualidade .

3.2 Produtividade e Qualidade

Na parte experimental deste trabalho são demonstrados os métodos para evidenciar os possíveis ganhos de produtividade e de qualidade em máquinas CNC a partir do uso de sistema de *toolsetter laser*. Para isso foram realizados ensaios nos quais foram analisados:

- a) produtividade – verificada comparando os tempos de fabricação obtidos com ferramentas pré-ajustada pelo processo manual, os quais são confrontados com os tempos obtidos com o uso de *toolsetter laser*. Esta análise foi realizada de forma quantitativa.
- b) qualidade – verificada por meio da análise do acabamento da superfícies e das dimensões das peças usinadas com ferramentas pré-ajustadas de forma manual e os resultados produzidos pelo o mesmo processo de fabricação, porém com as dimensões de ferramentas obtidas pelo sistema de medição por *toolsetter laser*. Neste ensaio as amostras foram analisadas de forma qualitativa por meio de análise comparativa do acabamento superficial e quantitativamente foram verificadas as dimensões após a usinagem.

3.3 Materiais utilizados nos ensaios para a verificação da produtividade e da qualidade

3.3.1 Equipamentos de usinagem

Os ensaios de usinagem foram realizadas em dois equipamentos diferentes, mas com as mesma características e nas mesmas condições de trabalho. As informações referente aos dados dos equipamentos foram retirados de catálogos dos fabricantes.

Centro de Usinagem 1:

- Fabricante – Romi;
- Modelo - Discovery 560 com 3 eixos (X, Y e Z);
- Comando - Fanuc 20i;
- Ano de Fabricação – 2006.

Centro de Usinagem 2 (Figura 23):

- Fabricante - Industrias Romi;
- Modelo - D600 com 3 eixos (X, Y e Z);
- Capacidade - 20 Ferramentas;
- Comando - Fanuc Série Oi-MC;
- Ano Fabricação – 2009.

Figura 23 – Centro de Usinagem modelo D 600



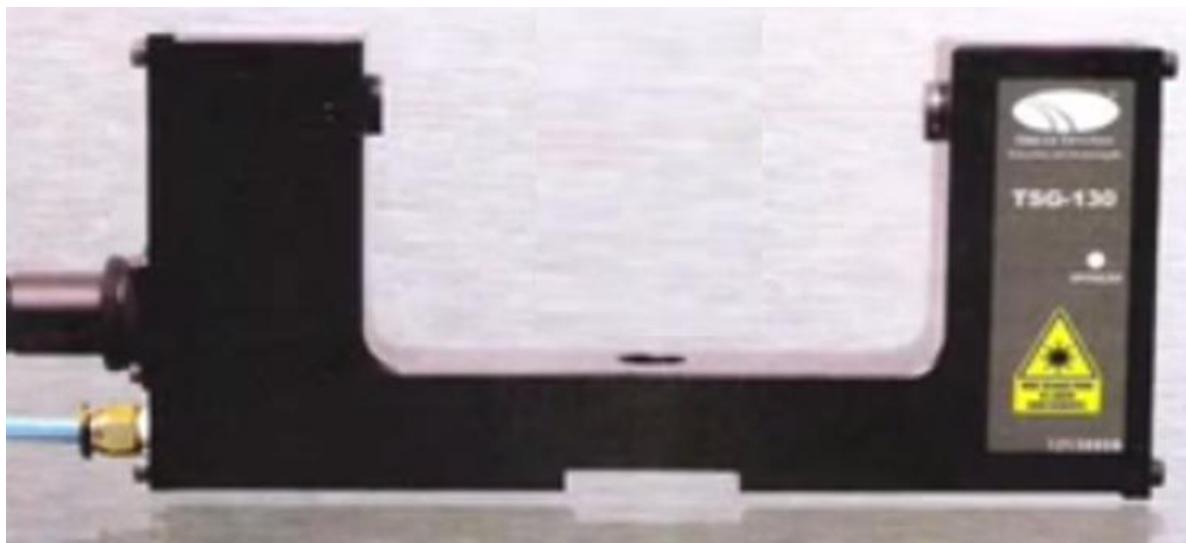
Fonte: Usinagem Diadema (2013)

3.3.2 Equipamento para a medição das ferramentas

Toolsetter Laser (Figura 24):

- Fabricante – GeoTecno;
- Modelo TSG-130;
- Alimentação - 24 VDC;
- Baixa potência com comprimento de onda de 635 nm;
- Repetibilidade - 2 µm;
- Acuracidade - 2 µm.

Figura 24 – Equipamento de *toolsetter laser* - Modelo TSG-130



Fonte: GeoTecno (2013)

Calibrador de Altura (Figura 25):

- Fabricante – Mitutoyo;
- Modelo - LH-600C;
- Curso de Medição - 600 mm (24”);
- Resolução (selecionável) - 0,0001/0,001/0,01/0,1mm;
- Exatidão - $\pm (1,3 + 0,6L/600) \mu\text{m}$;
- Repetitividade (2σ) - plano $0,5 \mu\text{m}$ / furo - $1 \mu\text{m}$;
- Perpendicularidade - $6 \mu\text{m}$;
- Retitude - $4 \mu\text{m}$;
- Método de manuseio - manual/motor;
- Método de balanceamento – contrapeso;
- Alimentação de ar - compressor interno;
- Visor - LCD gráfico, (320 x 240 pontos);
- Alimentação - Adaptador AC 120 / Bateria recarregável (Ni-MH).

Figura 25 - Calibrador de Altura - Modelo - LH-600C



Fonte: GeoTecno (2013)

Paquímetro:

- Fabricante – Mitutoyo;
- Modelo – digital;
- Faixa - (0 ~150) mm.

3.3.3 Ferramentas utilizadas nos experimentos

3.3.3.1 Ferramentas usadas no ensaio de produtividade

- Fresa de topo haste paralela - ø 20 mm (HSS);
- Fresa de topo haste paralela - ø 10 mm (Metal Duro);
- Broca haste paralela - ø 4,1 mm (HSS);
- Broca haste paralela - ø 4,5 mm (HSS);
- Broca haste paralela - ø 5,5 mm (HSS);
- Broca haste paralela - ø 6,35 mm (HSS).

3.3.3.2 Ferramentas usadas no ensaio de qualidade

- Fresa de topo haste paralela - ø 110,0 mm (Inserto de Metal Duro Revestido);
- Fresa de topo haste paralela - ø 25,0 mm (Inserto de Metal Duro Revestido).

3.3.4 Amostras do ensaio de produtividade

- Peça - Base do laringoscópio;
- Material - Aço inox 304;
- Lote - 240 peças.

3.3.5 Amostras do ensaio de qualidade

- Amostra - base retangular com 15 x 100 x 150 mm (alt. x larg. x prof.);
- Material - Aço inox 304;
- Lote – 6 amostras.

3.4 Ensaios

3.4.1 Ensaio 1 – produtividade

Para demonstrar o possível ganho de produtividade com o uso de *toolsetter* laser, foi realizado o acompanhamento de um processo de usinagem em um ambiente de produção localizado em uma empresa prestadora de serviços na área de usinagem. Esta empresa tem por característica uma produção bem diversificada e em lotes que variam, desde uma unidade até milhares de peças. Possui em seu pátio máquinas de usinagem como, tornos mecânicos, tornos revolveres, tornos automáticos, fresadoras, tornos CNC, centros de usinagem, entre outras. Em função da necessidade de flexibilização e velocidade do processo, a sua mão de obra é bem treinada e qualificada para atender a um sistema de produção que trabalha

sobre encomenda, onde além do conhecimento técnico, a capacidade de inovação e criatividade é solicitada a cada pedido.

Com o objetivo de garantir a isenção e neutralidade do experimento, foi tomado todo o cuidado para não provocar nenhuma alteração nas rotinas operacionais de trabalho, assim como de respeitar a cultura da empresa que cedeu o espaço e equipamentos para a realização do experimento. Todas as operações de preparação e usinagem foram realizadas pelos próprios funcionários da empresa.

Para viabilizar o ensaio de produtividade, foi selecionado um produto, que no seu roteiro de fabricação, uma ou mais operações fossem realizadas no centro de usinagem, e ainda como critério, este produto deveria ser fabricado em quantidades suficientes para permitir o ensaio comparativo com os dois métodos de *presetting* de ferramentas. Assim foi selecionado um componente de uma sonda de Laringoscopia, aparelho utilizado na área hospitalar, produzida por esta empresa, e cuja demanda é de aproximadamente 500 peças por mês (Figura 26). O componente selecionado, chamado de base do laringoscópio, é fabricado em aço inox 304, sendo que cerca de 90% das operações são realizadas no centro de usinagem, as quais são compostas por furações e diversos rebaixos realizados com fresas de topo (Figura 27).

Figura 26 - Equipamento de Laringoscopia.



Fonte: Próprio autor

Figura 27 – Fases de fabricação de componente de um Laringoscópio.



Fonte: Próprio autor

O ensaio de produtividade com ajuste de ferramenta ajustadas pelo método manual e com *toolsetter laser*, utilizado para usinar o componente do Laringoscópio, foi realizado em três operações, sendo:

- desbaste e acabamento lateral;
- desbaste do chanfro duplo das laterais;
- desbaste e acabamento do chanfro superior.

3.4.1.1 Procedimento do ensaio de produtividade com processo de *presetting* manual

O ensaio de produtividade foi dividido em duas fases, sendo que na primeira fase da realização do experimento, o componente selecionado foi usinado preservando todas as condições de processo, cujas características de montagem, *presetting* de ferramentas (método manual) e parâmetros de usinagem, os quais a empresa pela experiência, adota como sendo a melhorar prática de produção.

O *setup* da máquina é realizado com a seleção do programa e preparação das ferramentas. Para a usinagem as peças são fixadas em dispositivos, os quais são presos a uma morsa montada sobre a mesa da máquina-ferramenta. Para cada conjunto de operações existe um dispositivo apropriado que permite a fixação de um lote de peças. Estes dispositivos são construídos de forma a facilitar a fixação, permitindo também a troca de peças com rapidez para melhor produtividade. Dependendo do conjunto de operações é possível fixar de 6 a 10 peças por lote (Figura 28).

Figura 28 – Peças fixadas para usinagem do rebaixo lateral no ensaio de produtividade.



Fonte: Próprio autor

As ferramentas utilizadas para a usinagem das peças do ensaio de produtividade foram; brocas de (*High Speed Steel - HSS*), conhecidas como aço rápido (\varnothing 4.1, 4.5, 5.5 e 6.35 mm) utilizadas para fazer os furos, fresas de topo de Metal Duro, com diâmetro de 10 mm e fresa de topo de 20 mm em HSS, utilizadas para fazer os chanfros e rebaixos das peças. A afiação destas ferramentas é realizada de forma manual, isto é, sem o auxílio de equipamentos ou dispositivos apropriados, valendo-se apenas da habilidade do operador com o uso do rebolo de afiação.

A verificação das condições de corte das ferramentas para definir o melhor momento para a afiação é realizado tomando como base as informações do processo, como ruído, acabamento superficial e características da formação de cavaco. É uma verificação totalmente dependente das habilidades do operador.

A cada constatação da necessidade de afiação, a ferramenta é removida do suporte do eixo arvore. Para facilitar o processo de ajuste após a afiação, o operador, antes da desmontagem, realiza a medição de comprimento da ferramenta que vai ser afiada. Este verifica o valor da dimensão entre a ponta da ferramenta e a base do seu suporte (Figura 29). Esta medição é realizada com o uso de um paquímetro. Após desmontagem do suporte, a ferramenta é levada para o setor de afiação. Durante o processo de afiação a máquina-ferramenta fica parada.

Figura 29 – Montagem e desmontagem da fresa de topo.



Fonte: Próprio autor

Concluída a afiação, a ferramenta é montada novamente no suporte, tomando-se o cuidado de manter a dimensão com a qual está estava montada antes da afiação. Após a fixação do suporte no eixo arvore, é realizado a pré-ajustagem da ferramenta. Esse *presetting* é feito pelo método manual, o qual consiste da aproximação da ferramenta até que está se posicione o mais próximo possível da face da peça a ser usinada. Para uma melhor sensibilidade na aproximação da ferramenta, o operador utiliza um pedaço de papel ou filme de plástico, o qual posiciona entre a ferramenta e a peça a ser usinada. Ao verifica que a aproximação está adequada, fato que ocorre com a fixação do papel pela ferramenta, o operador alcança a IHM e registra a dimensão da ferramenta. Quando esta operação é realizada para medição de fresas de topo e brocas, apenas a medida de comprimento é verificada.

Após o processo de pré-ajustagem descrito anteriormente, uma usinagem experimental é realizada, cujo propósito é verificar ajuste da ferramenta. Esta verificação é feita confrontando o resultado da usinagem com o valor programado, e caso seja encontrado alguma diferença, seja para mais ou para menos, este valor é

incluído como parâmetros de correção para a ferramenta avaliada. Este processo é repetido a cada vez que uma ferramenta precisa ser afiada ou substituída.

Após a realização do *setup* com a verificação da primeira peça usinada e aprovada, o processo foi iniciado.

Todos os tempos envolvidos nesta primeira fase do ensaio como, o tempo de *setup*, tempo de usinagem, tempo de ciclo, tempo de afiação, tempo de troca de ferramenta (quando a ferramenta assim exigir), tempo de correção de medida da peça usinada ou tempo envolvido no *presetting* foram cronometrados.

3.4.1.2 Procedimento do ensaio de produtividade com processo de *toolsetter laser*

Após a realização da primeira fase do ensaio de produtividade foi dado início na segunda fase. Esta fase foi realizada conservando todos os parâmetros utilizados processos anterior, alterando somente a forma do *presetting*, passando agora a ser realizado com o sistema de *toolsetter laser*.

A preparação do sistema de *toolsetter laser* é realizada em duas partes. Na primeira parte o dispositivo *toolsetter* é fixado sobre a mesa da máquina-ferramenta, e de forma estratégica, é posicionado próximo as bordas da mesa. Este procedimento é observado para que interfira o mínimo possível no volume de trabalho disponível na mesa da máquina, assim como também permitir a melhor faixa na capacidade de medição das ferramentas. A segunda parte consiste da calibração do equipamento de *toolsetter*, pois este ao ser fixado na mesa da máquina precisa ser localizado e reconhecido pelo comando da máquina-ferramenta. Este processo, descrito por Correr (2006), é um procedimento que deve ser realizado após a fixação do dispositivo ou sempre que este seja reposicionado sobre a mesa da máquina.

O método de calibração do *toolsetter laser* é feito, tomando-se como referência um padrão, o qual consiste de um eixo com dimensões, como diâmetro e alturas conhecidas. Este eixo é montado no magazine da máquina-ferramenta, e tal como uma ferramenta, este é selecionado e fixado no eixo árvore. Este eixo é usado como padrão sempre que houver a necessidade de calibração do *toolsetter*. Durante a instalação do *toolsetter*, é instalado um software com os parâmetros de calibração

com pequenos programas com rotinas de calibração adequada para cada tipo de ferramenta.

Para a calibração do equipamento de *toolsetter*, o padrão é posicionado próximo ao feixe de laser utilizando o acionamento manual da máquina, e assim que o sistema é acionado, uma rotina, que foi previamente definida conforme a posição de montagem do *toolsetter laser* sobre a mesa, fará todo o processo de calibração do *toolsetter*. A partir deste momento as ferramentas disponíveis no magazine ou aquelas que possam vir a serem montadas, podem ser calibradas com o uso do sistema de medição sem contato.

A usinagem do lote de peças referente ao ensaio de produtividade da segunda fase foi realizada com as ferramentas sendo medidas pelo sistema de *toolsetter laser*.

Assim como na primeira fase do ensaio de produtividade, todos os tempos envolvidos nesta segunda fase, como o tempo de *setup*, tempo de usinagem, tempo de ciclo, tempo de afiação, tempo de troca de ferramenta, tempo de correção de medida da peça usinada ou tempo envolvido no *presetting* foram cronometrados. Embora os tempos relevantes desta fase estivessem concentrados nas operações que envolvessem o sistema de *toolsetter*.

Durante a usinagem foi realizado o acompanhamento do processo de afiação e medição das ferramentas envolvidas na operação, e assim como os tempos de usinagem estes também foram cronometrados.

Para efeito de comparação dos tempos e custos envolvidos nos processos de ajuste de ferramentas por sistema manual e por *toolsetter laser*, no capítulo seguinte Resultados e Discussão, será apresentado os valores obtidos em uma simulação envolvendo os dois processos.

3.4.1.3 Procedimento do ensaio de qualidade com processo de *presetting* manual

No processo de usinagem, e especialmente em operações de acabamento quando a ferramenta tem a sua trajetória interrompida por necessidades de trocas, quer seja por desgastes ou por quebra, esta ferramenta precisa ser substituída. Com o objetivo de ganhar tempo de usinagem, procurar-se sempre que possível iniciar o trabalho a partir do ponto exato no qual a usinagem foi interrompida. O problema é

que a ferramenta que acaba de ser substituída cria marcas ou degraus na superfície da peça. Estas marcas, dependendo da profundidade e da sua localização, podem até inutilizar a peça, causando perdas para o processo. Assim este trabalho, procura avaliar entre outros aspectos, se a melhor precisão na medição das ferramentas contribuem para a obtenção de um acabamento superficial de melhor qualidade quando existe a necessidade de interrupção do corte no processo de usinagem, e este tenha que ser reiniciado a partir do ponto desta interrupção.

Durante o processo de usinagem, erros como o de *presetting* de ferramentas, desgaste não compensado ou aqueles que ocorrem na troca de ferramentas (insertos) causam falhas na superfície do material usinado, influenciando o acabamento da superfície e a qualidade final da peça. Para analisar este processo e verificar o possível ganho de qualidade na superfície da peça (amostra) usinada, foram realizados experimentos com a finalidade de simular dois processos de usinagem, gerando informações para análise comparativa.

O critério para a seleção do formato e material da amostra foi feito tendo como base que este não poderia sofrer deformações durante o processo de usinagem provocados por esforço de corte ou temperatura gerado durante o processo, este ainda deveria possuir propriedades mecânicas que exigisse alto desempenho das ferramentas. Assim o material selecionado foi o aço inox da série 304 em função das características de usinagem que este apresenta. As dimensões da amostra foram definidas com uma espessura de 15 mm, largura de 100 mm por 150 mm de comprimento.

Os ensaios de qualidade assim como os de produtividade, também foram realizados em duas fases, sendo:

- a) primeira fase – usinagem da amostra com ferramenta pré-ajustada com o processo manual.
- b) segunda fase – usinagem da amostra com ferramenta pré-ajustada com *toolsetter laser*.

A usinagem da primeira fase do experimento foi realizada com as ferramentas pré-ajustadas manualmente. Nesta fase a amostra foi fixada em uma morsa montada sobre a mesa de um centro de usinagem. Para garantir uma superfície de referência isenta de erros por falha na fixação da amostra, antes de iniciar o processo de usinagem das trilhas, foi feito uma pré-usinagem, uma forma de faceamento na peça na amostra. Esta operação consiste de uma usinagem

realizada com uma ferramenta com diâmetro de 110,0 mm, ou seja, maior do que a largura da peça ensaiada (Figura 30). Este cuidado foi tomado para manter um paralelismo entre a face da amostra e as trilhas que foram usinadas na sequência.

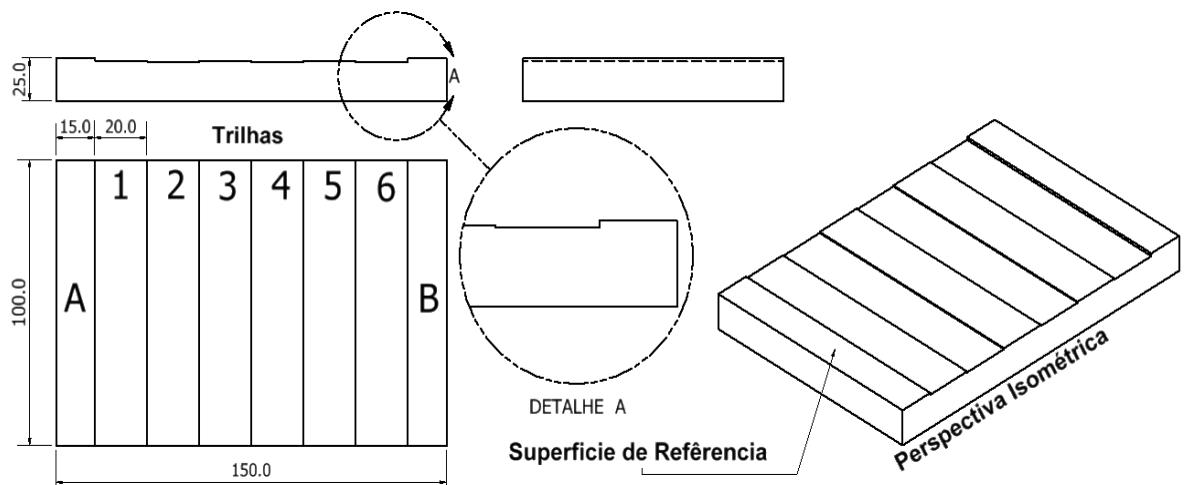
Figura 30 – Operação de faceamento da amostra.



Fonte: Próprio autor

Após a operação de faceamento, foi iniciada a usinagem das trilhas. Seis trilhas foram construídas ao longo da superfície da face de cada amostra, para isto foi utilizado uma fresa de topo com diâmetro de 25 mm. Estas trilhas foram construídas de forma transversal à amostra. Foi preservada de cada lado da amostra uma borda de 15 mm de largura sem usinagem (Figura 31). Estas bordas foram preservadas para serem usadas como ponto de referenciamento da ferramenta entre a usinagem das trilhas e para servirem de base para a medição após a usinagem.

Figura 31 – Desenho com detalhe da amostra usinada.



Fonte: Próprio autor

O referenciamento da ferramenta envolvida neste ensaio foi feito pelo método manual, tal como descrito no procedimento do ensaio de produtividade (3.4.1.1).

Com o objetivo de simular os erros gerados pelo processo de *presetting* manual, a cada trilha usinada a ferramenta foi removida do eixo árvore e remontada novamente para em seguida ser ajustada novamente. Este procedimento foi adotado para evitar “vícios” do sistema e para aproximar o máximo possível do processo real de uma usinagem e assim reproduzir os possíveis erros de montagem e ajustes de ferramentas (Figura 32).

Figura 32 – Operação de *presetting* manual.



Fonte: Próprio Autor

Para iniciar o procedimento de usinagem a ferramenta de diâmetro de 25 mm foi posicionada sobre a borda de referência para a realização do *presetting* manual. Após o *presetting* a ferramenta foi deslocada e posicionada para a usinagem da trilha número 1. Esta usinagem foi executada com uma profundidade de corte de 0,5 mm a partir da superfície de referência. Após a usinagem da trilha número 1, a ferramenta foi recolhida e preparada para a usinagem da trilha número 2. As trilhas foram construídas de forma isolada, ou seja, para cada trilha usinada a ferramenta foi pré-ajustada e deslocada para a execução da trilha seguinte, até que as 6 trilhas da amostra fossem usinadas (Figura 33).

Para evitar formação de rebarbas entre as trilhas provocadas pela usinagem, essas foram usinadas com uma pequena sobreposição, de tal forma que ao executar uma trilha a ferramenta removesse a rebarba da trilha anterior. Após a usinagem das seis amostras com o mesmo procedimento, foi produzido um total de 36 trilhas, as quais foram medidas e fotografadas para análise futura.

Figura 33 – Usinagem da amostra do ensaio de qualidade



Fonte: Próprio autor

3.4.1.4 Procedimento do ensaio de qualidade com processo de *toolsetter laser*

Após a usinagem das amostras na primeira fase do ensaio de qualidade, foram preparadas mais três amostras com as mesmas características. Seguindo o procedimento adotado na fase anterior, a primeira amostra foi fixada na morsa para a realização da operação de pré-usinagem para que em seguida as trilhas fossem usinadas.

A usinagem das trilhas na segunda fase foi realizada de forma idêntica ao item 3.4.1.3, (primeira fase com processo manual), entretanto para esta nova etapa foi adotado o processo de *presetting* de ferramentas realizados pelo sistema de *toolsetter laser*. Assim não foi mais utilizada a borda de referência para a realização do *presetting* como foi feito na primeira fase, este processo passou a ser realizado no equipamento de *toolsetter laser*. Nesta etapa a borda de referência foi preservada apenas para uso da tomada de medidas.

Neste ensaio foram usinadas seis amostras com o mesmo procedimento, no qual foram produzidas um total de 36 trilhas, as quais foram medidas e fotografadas para análise futura.

3.4.2.1 Medição das amostras dos ensaios de qualidade

As dimensões das amostras usinadas, tanto as obtidas com o processo de usinagem com ferramentas de ajuste manual como as usinadas com ferramentas ajustadas com o dispositivo de *toolsetter laser* foram verificadas com o auxílio de um equipamento calibrador de altura de alta precisão. Para esta medição, as amostras foram niveladas sobre uma base, tomando-se o cuidado de manter as faces identificadas como A e B, Figura 31, na mesma altura. Este cuidado foi tomado para que o desnivelamento da amostra em relação ao plano de medida não produzisse uma incerteza que invalidasse o experimento.

No procedimento de medição das amostras, foram verificadas as dimensões de cada trilha em relação à borda da amostra avaliada. Estas informações foram inseridas em planilhas eletrônicas para a geração de gráficos e tabelas. Além do registro dimensional, cada amostra foi fotografada para a obtenção de imagens. Estas imagens serão verificadas em conjunto com os gráficos dos dados

dimensionais. Esta verificação será feita no capítulo 4 o qual vai tratar de resultados e discussões.

O ensaio dimensional para verificação do ganho de qualidade das peças usinadas com os dois processos de *presetting* foram realizados no laboratório da empresa GeoTecno, a qual cedeu gentilmente suas instalações para a realização deste procedimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas seções a seguir são apresentados os resultados obtidos na realização dos ensaios.

4.1 Resultados dos ensaios de produtividade.

Os resultados foram reunidos nas Tabelas 3, 4 e 5. Após cada tabela os dados foram separado em três grupos, sendo:

- a) processo de Afiação;
- b) tempo de Ciclo de Usinagem;
- c) medição de ferramentas (*preseting*)

Para análise dos tempos de *presetting* manual, foi considerado a média dos tempos de medição das ferramentas e o tempo utilizado para fazer ajustes das dimensões do *preseting*. Este processo é realizado nas primeiras operações de usinagem realizadas após o *presetting*.

Nas Tabelas 3.1, 4.1 e 5.1 foram agrupados a média dos tempos envolvidos em cada uma das três operações acompanhadas neste ensaio.

Tabela 3 – Desbaste e acabamento lateral.

Operação	Tempo (h)	Tempo (h)
	Manual	Toolsetter laser
Medir altura da Ferramenta (6 Ferramentas)	00:01:48	00:01:48
Desmontagem da Ferramenta (6 Ferramentas)	00:02:26	00:02:26
Afiação da Ferramenta (6 Ferramentas)	00:22:38	00:22:38
Medir altura da Ferramenta (6 Ferramentas)	00:02:14	00:02:14
Montagem da Ferramenta (6 Ferramentas)	00:02:48	00:02:48
Tempo de desbaste – Fresa 16 mm	00:01:24	00:01:24
Tempo de Acabamento – Fresa 10 mm	00:01:02	00:01:02
Tempo furo – Broca diâmetro 6,35 mm	00:01:08	00:01:08
Tempo furo – Broca diâmetro 4,5 mm	00:01:50	00:01:50
Tempo furo – Broca diâmetro 5,5 mm	00:01:07	00:01:07
Tempo furo – Broca diâmetro 4,1 mm	00:02:26	00:02:26
Preseting em Z - (6 Ferramentas)	00:12:02	00:02:37
Ajuste Fino (Para corrigir medidas do <i>preseting</i>). (6 Ferramentas)	00:04:42	-
Total	00:57:35	00:43:28

Fonte: Próprio Autor

Tabela 3.1 – Dados agrupados da operação de desbaste e acabamento lateral.

Operação	Tempo (h)	Tempo (h)
	Manual	Toolsetter laser
Processo de Afiação (Para 6 Ferramenta)	00:31:55	00:31:55
Tempo de Ciclo de Usinagem	00:08:56	00:08:56
Medição de Ferramenta	00:12:02	00:02:37
Ajuste Fino (Para corrigir Medidas do <i>preseting</i>).	00:04:42	-
Total	00:57:35	00:43:28

Fonte: Próprio Autor

A operação de Desbaste e Acabamento Lateral quando realizado pelo método manual, teve um tempo superior ao registrado na operação com o uso do *toolsetter laser* (Tabela 3.1). O tempo registrado pelo método manual foi de 14:07 minutos superior ao tempo do *toolsetter laser*.

Tabela 4 – Desbaste do chanfro duplo das laterais.

Operação	Tempo (h)	Tempo (h)
	Manual	Toolsetter laser
Medir altura da Ferramenta	00:00:19	00:00:19
Desmontagem da Ferramenta	00:00:26	00:00:26
Afiação da Ferramenta	00:04:14	00:04:14
Medir altura da Ferramenta	00:00:23	00:00:23
Montagem da Ferramenta	00:00:28	00:00:28
Tempo de Ciclo – Fresa diâmetro 10 mm	00:01:42	00:01:42
Preseting em Z	00:01:43	00:00:39
Ajuste Fino (Para corrigir medidas do <i>preseting</i>).	00:00:31	-
Total	00:09:46	00:08:11

Fonte: Próprio Autor

Tabela 4.1 – Dados agrupados da operação de desbaste das laterais.

Operação	Tempo (h)	Tempo (h)
	Manual	Toolsetter laser
Processo de Afiação (Para 1 Ferramenta)	00:05:50	00:05:50
Tempo de Ciclo de Usinagem	00:01:42	00:01:42
Medição de Ferramenta	00:01:43	00:00:39
Ajuste Fino (Para corrigir medidas do <i>preseting</i>).	00:00:31	-
Total	00:09:46	00:08:11

Fonte: Próprio Autor

A operação de Desbaste e Acabamento do Chanfro Duplo das Laterais quando realizado pelo método manual, teve um tempo ligeiramente superior ao registrado na operação com o uso do *toolsetter laser* (Tabela 4.1). O tempo registrado pelo método manual foi de 01:35 minutos superior ao tempo do *toolsetter laser*.

Tabela 5 – Desbaste e acabamento do chanfro superior.

Operação	Tempo (h)	Tempo (h)
	Manual	Toolsetter laser
Medir altura da Ferramenta	00:00:27	00:00:27
Desmontagem da Ferramenta	00:00:30	00:00:30
Afiação da Ferramenta	00:03:03	00:03:03
Medir altura da Ferramenta	00:00:17	00:00:17
Montagem da Ferramenta	00:00:31	00:00:31
Tempo de Ciclo (Fresa 10 mm)	00:00:35	00:00:35
<i>Preseting</i> em Z	00:01:45	00:00:39
Ajuste Fino (Para corrigir medidas do <i>preseting</i>).	00:01:02	-
Total	00:08:10	00:06:02

Fonte: Próprio Autor

Tabela 5.1 – Dados agrupados da operação de desbaste e acabamento do chanfro superior.

Operação	Tempo (h)	Tempo (h)
	Manual	Toolsetter laser
Processo de Afiação (Para 1 Ferramenta)	00:04:48	00:04:48
Tempo de Ciclo de Usinagem	00:00:35	00:00:35
Medição de Ferramenta	00:01:42	00:00:39
Ajuste Fino (Para corrigir medida do <i>preseting</i>).	00:01:05	-
Total	00:08:10	00:06:02

Fonte: Próprio Autor

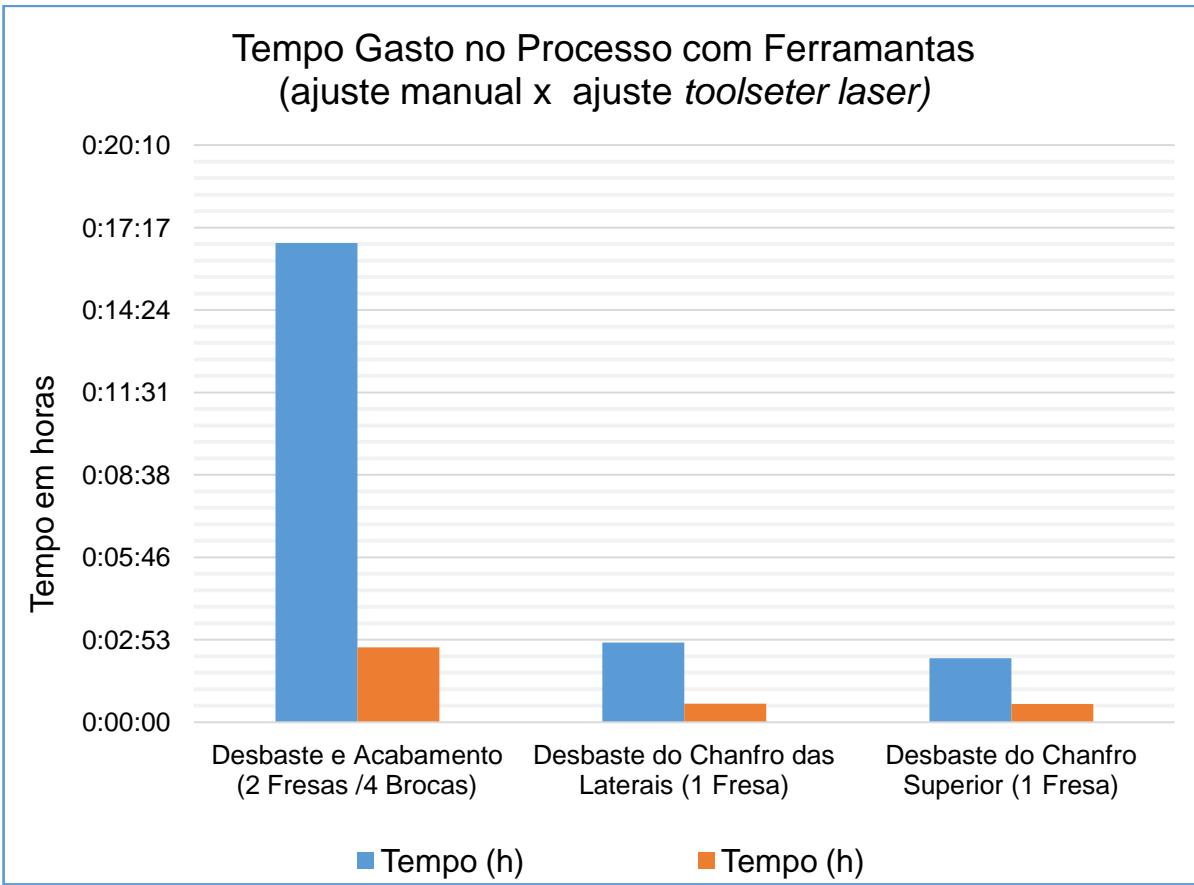
A operação de Desbaste e Acabamento do Chanfro Superior quando realizado pelo método manual, teve um tempo superior ao registrado na operação com o uso do *toolsetter laser* (Tabela 5.1). O tempo registrado pelo método manual nesta operação foi de 02:08 minutos superior ao tempo do *toolsetter laser*.

Comparando os tempos de medição das ferramentas envolvidas nas operações monitoradas, observa-se uma diferença de 17:51 minutos registradas pelo método manual superior ao tempo observado para mesmas ferramentas quando utilizado o sistema de *toolsetter laser* para realizar a medição (Tabela 6 e Gráfico 1).

Tabela 6 – Tempo de *presetting* x operação.

Operação	Tempo (h)	Tempo (h)
	Manual	Toolsetter laser
Desbaste e Acabamento Lateral (2 Fresas e 4 Brocas)	00:16:44	00:02:37
Desbaste do Chanfro Duplo das Laterais (1 Fresa)	00:02:47	00:00:39
Desbaste e Acabamento do Chanfro Superior (1 Fresa)	00:02:14	00:00:38
Total	00:21:45	00:03:54

Fonte: Próprio Autor

Gráfico 1 – Tempo de *presetting* x operação

Fonte: Próprio Autor

As operações monitoradas pelo sistema de medição de ferramentas realizadas com o uso do *toolsetter laser*, apresentaram um valor de 23,6% inferior ao tempo realizado pelo sistema de medição com o uso do método manual (Tabela 7 e Gráfico 2). Esta diferença pode variar em função do número e do tipo de ferramenta

envolvidas no processo, ou seja, quanto maior for o número de ferramentas, maior será a diferença de tempo entre os dois processos.

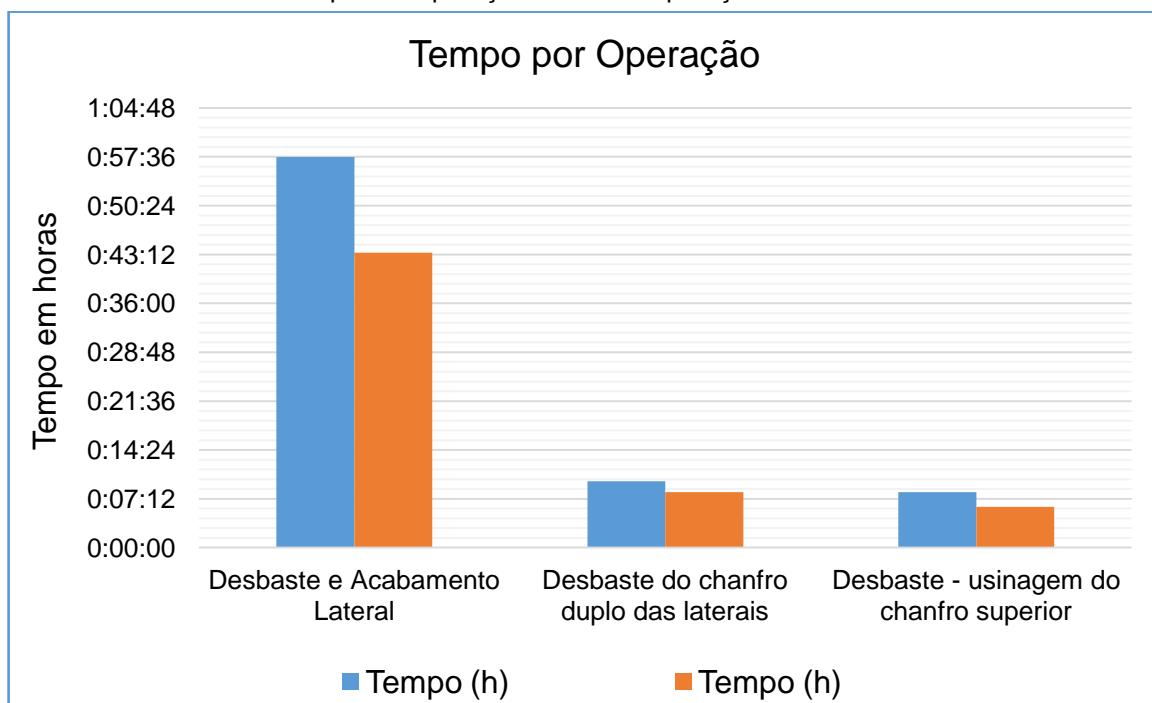
A complexidade da ferramenta também é um fator que interfere no tempo de medição. Ferramentas de geometria simples como brocas e fresas de topo podem ser medidas apenas na sua extensão, enquanto que outras ferramentas exigem medições mais complexas, como por exemplo, medidas de diâmetro (Tabela 8 e Gráfico 3).

Tabela 7 – Tempos da operação manual x operação *presetting*.

Operação	Tempo (h)	Tempo (h)	Ganho de Produtividade
	Manual	Toolsetter laser	
Desbaste e Acabamento Lateral	00:57:35	00:43:28	24,5%
Desbaste do chanfro duplo das laterais	00:09:46	00:08:11	16,3%
Desbaste - usinagem do chanfro superior	00:08:10	00:06:02	26,2%
Total	01:15:31	00:57:41	23,6%

Fonte: Próprio Autor

Gráfico 2 - Tempos da operação manual x operação com uso do *toolsetter*

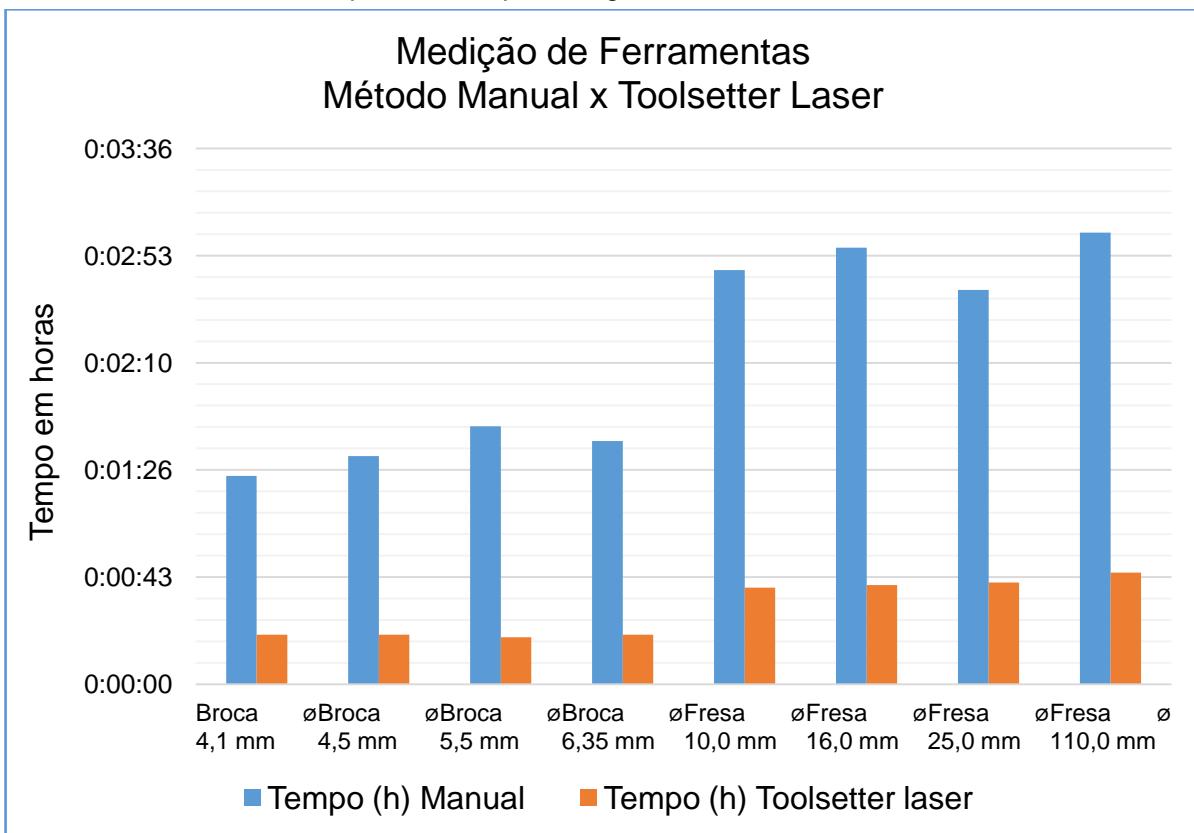


Fonte: Próprio Autor

Tabela 8 – Tempo médio de *Presetting* das ferramentas utilizadas no ensaio.

Ferramenta	Tempo (h)	Tempo (h)	Ganho de Produtividade
	Manual	Toolsetter laser	
Broca ø 4,1 mm	00:01:24	00:00:20	76,7%
Broca ø 4,5 mm	00:01:32	00:00:20	78,6%
Broca ø 5,5 mm	00:01:44	00:00:19	81,6%
Broca ø 6,35 mm	00:01:38	00:00:20	79,8%
Fresa ø 10,0 mm	00:02:47	00:00:39	76,8%
Fresa ø 16,0 mm	00:02:56	00:00:40	77,1%
Fresa ø 25,0 mm	00:02:39	00:00:41	74,0%
Fresa ø 110,0 mm	00:03:02	00:00:45	75,2%
Total	00:17:42	00:04:04	77,1%

Fonte: Próprio Autor

Gráfico 3 – Tempo médio de *presetting* de ferramentas utilizadas no ensaio

Fonte: Próprio Autor

4.1.1 Resultados dos ensaios de produtividade (Simulação).

A título de exemplo, o Quadro 1 apresenta um processo de produção no qual foi simulada uma condição de usinagem em uma empresa que utiliza um centro de usinagem no seu processo produtivo. Esta máquina trabalha com 4 preparações de (*Setup*) por turno sendo que e a cada processo 6 ferramentas são envolvidas. Esta empresa fictícia trabalha 8 por turno e 22 dias por mês.

Comparando os processos de produção, o processo de *preseting manual* de cada ferramenta levaria em média 4 minutos e que esta mesma ferramenta no processo por medição por *toolsetter laser* é realizado em 40 segundos.

Quadro 1 – Simulação de um processo produtivo – Cenário I

Tipo de Máquina	Quantidade	Nº preparação por turno	Nº Fer. por peça
Centro de Torneamento	0	0	0
Centro de Usinagem	1	4	6
Mandrilhadora	0	0	0
Fresadora	0	0	0
Sistema de Produção			
Número de dias	22		
Número de Turnos	1		
Número de horas/turno	8		
Custo hora máquina (R\$)	100,00 ¹		
Medição da Ferramenta (Manual)		Medição da Ferramenta (Toolsetter)	
<i>Preseting manual</i>	4 min.	<i>Preseting laser</i>	40 s
Tempo Total (Horas)	176,0	Tempo Total (Horas)	176,0
Tempo Produtivo (Horas)	140,8	Tempo Produtivo (Horas)	170,1
Tempo Improdutivo (Horas)	35,20	Tempo Improdutivo (Horas)	5,87
Índice de Utilização	80%	Índice de Utilização	97%
Desperdício (R\$)	3520,00	Desperdício (R\$)	586,64
Máquinas paradas	0,200 (20%)	Máquinas paradas	0,033 (3%)
Em 12 meses (R\$)	42.240,00	Em 12 meses (R\$)	7.039,68
Estimativa de ganho aproximado de R\$ 35.000,00 para um período de 12 meses com ferramentas ajustadas com o uso de equipamento de <i>toolsetter laser</i> .			
Nota 1 - Valor utilizado apenas como referência para cálculo (podendo variar conforme região de localização e área de atuação da empresa pesquisada).			

Fonte: Próprio autor

Em outra simulação, a máquina tem suas ferramentas preparadas no início da jornada diária. O período de preparação da máquina é feito de forma antecipada para que esta tenha o mínimo possível de interrupção durante a jornada de trabalho diária. Nesta condição tem um ganho maior de produtividade proporcionado pela liberação da máquina para a produção, embora o processo de preparação de ferramentas tenha que ser realizado de forma antecipada (Quadra 2).

Quadro 2 – Simulação de um processo produtivo - Cenário II

Tipo de Máquina	Quantidade	Nº preparação por turno	Nº Fer. por Peça
Centro de Torneamento	0	0	0
Centro de Usinagem	1	1	24
Mandrilhadora	0	0	0
Fresadora	0	0	0
Sistema de Produção			
Número de dias	22		
Número de Turnos	1		
Número de horas/turno	8		
Custo hora máquina (R\$)	100,00 ²		
Medição da Ferramenta (Manual)		Medição da Ferramenta (Toolsetter)	
Preseting	4 min.	Preseting	40 seg.
Tempo Total (Horas)	176,0	Tempo Total (Horas)	176,0
Tempo Produtivo (Horas)	140,8	Tempo Produtivo (Horas)	170,1
Tempo Improdutivo (Horas)	35,20	Tempo Improdutivo (Horas)	5,87
Índice de Utilização	80%	Índice de Utilização	97%
Desperdício (R\$)	3520,00	Desperdício (R\$)	586,64
Máquinas paradas	0,200 (20%)	Máquinas paradas	0,033 (3%)
Nota 2 - Valor utilizado apenas como referência para cálculo (podendo variar conforme região de localização e área de atuação da empresa pesquisada).			

Fonte: Próprio Autor

4.2 Resultados dos ensaios de qualidade – medidas de ferramentas

Conforme descrito no capítulo 3 (Materiais e Métodos), foram realizados dois tipos de ensaios com o objetivo de verificar a qualidade das medições obtidas durante a usinagem. A partir destes ensaios os resultados foram reunidos em duas tabelas, sendo uma para os dados obtidos pelo processo de medição manual (Tabela 10) e outra para os resultados pelo processo de *toolsetter laser* (Tabela 11).

Tabela 10 – Dimensões de usinagem do ensaio de qualidade com método manual.

Ferramentas Ajustadas por Método Manual - dimensões em (mm)									
	Superfice de Ref. A	Números de Trilhas da Amostra						Superfice de Ref. B	
		1	2	3	4	5	6		
Amostra 1	Medida 1	24,6602	24,2639	24,2280	24,1870	24,1893	24,1941	24,1922	24,6753
	Medida 2	24,6408	24,2613	24,2104	24,1859	24,1887	24,1882	24,1800	24,6610
	Medida 3	24,6457	24,2519	24,2080	24,1896	24,1931	24,1873	24,1909	24,6613 (A-B)
	Média	24,6489	24,2590	24,2155	24,1875	24,1904	24,1899	24,1877	24,6659 -0,0170
Material retirado	0,5	Dif. Ref - Medida	0,3899	0,4334	0,4614	0,4585	0,4590	0,4612	-0,0170
Variação Dimensional →		0,1101	0,0666	0,0386	0,0415	0,0410	0,0388	0,5170	0,0561
Amostra 2	Medida 1	24,8290	24,3916	24,3536	24,3990	24,4048	24,4117	24,4109	24,8299
	Medida 2	24,8264	24,3804	24,3411	24,3868	24,3998	24,4160	24,4293	24,8291
	Medida 3	24,8266	24,3823	24,3379	24,3812	24,3869	24,3906	24,4073	24,8287 (A-B)
	Média	24,8273	24,3848	24,3442	24,3890	24,3972	24,4061	24,4158	24,8292 -0,0019
Material retirado	0,5	Dif. Ref - Medida	0,4426	0,4831	0,4383	0,4302	0,4212	0,4115	-0,0019
Variação Dimensional →		0,0574	0,0169	0,0617	0,0698	0,0788	0,0885	0,5019	0,1250
Amostra 3	Medida 1	23,6338	23,1806	23,1468	23,1114	23,0686	23,0268	23,0268	23,6523
	Medida 2	23,7252	23,2828	23,2413	23,2239	23,1583	23,1304	23,1231	23,7726
	Medida 3	23,8365	23,3961	23,3328	23,3121	23,2677	23,2076	23,2147	23,6773 (A-B)
	Média	23,7318	23,2865	23,2403	23,2158	23,1649	23,1216	23,1215	23,7007 0,0311
Material retirado	0,5	Dif. Ref - Medida	0,4453	0,4915	0,5160	0,5670	0,6102	0,6103	0,0311
Variação Dimensional →		0,0547	0,0085	-0,0160	-0,0670	-0,1102	-0,1103	0,4689	0,0326
Amostra 4	Medida 1	23,8510	23,3720	23,3881	23,3616	23,3489	23,3579	23,4076	23,7445
	Medida 2	23,7571	23,2652	23,2941	23,2740	23,2567	23,2625	23,3063	23,7305
	Medida 3	23,6767	23,1856	23,2033	23,1897	23,1714	23,1810	23,2269	23,7549 (A-B)
	Média	23,7616	23,2743	23,2952	23,2751	23,2590	23,2671	23,3136	23,7433 0,0183
Material retirado	0,5	Dif. Ref - Medida	0,4873	0,4664	0,4865	0,5026	0,4945	0,4480	0,0183
Variação Dimensional →		0,0127	0,0336	0,0135	-0,0026	0,0055	0,0520	0,4817	0,0191
Amostra 5	Medida 1	23,7426	23,1904	23,3397	23,3433	23,3395	23,3454	23,3423	23,8009
	Medida 2	23,7965	23,2403	23,3899	23,3826	23,3845	23,3964	23,3943	23,6485
	Medida 3	23,8513	23,3023	23,4416	23,4398	23,4497	23,4562	23,4451	23,9011 (A-B)
	Média	23,7968	23,2443	23,3904	23,3886	23,3912	23,3993	23,3939	23,7835 0,0133
Material retirado	0,5	Dif. Ref - Medida	0,5525	0,4064	0,4082	0,4056	0,3975	0,4029	0,0133
Variação Dimensional →		-0,0525	0,0936	0,0918	0,0944	0,1025	0,0971	0,4867	0,0712
Amostra 6	Medida 1	23,8672	23,4793	23,4231	23,4405	23,3656	23,4646	23,4634	23,9287
	Medida 2	23,8115	23,4129	23,3571	23,3829	23,3037	23,3951	23,3997	23,8570
	Medida 3	23,7737	23,3669	23,3145	23,3351	23,2576	23,3436	23,3441	23,7960 (A-B)
	Média	23,8175	23,4197	23,3649	23,3862	23,3090	23,4011	23,4024	23,8606 -0,0431
Material retirado	0,5	Dif. Ref - Medida	0,3978	0,4526	0,4313	0,5085	0,4164	0,4151	-0,0431
Variação Dimensional →		0,1022	0,0474	0,0687	-0,0085	0,0836	0,0849	0,5431	0,0631

Fonte: Próprio Autor

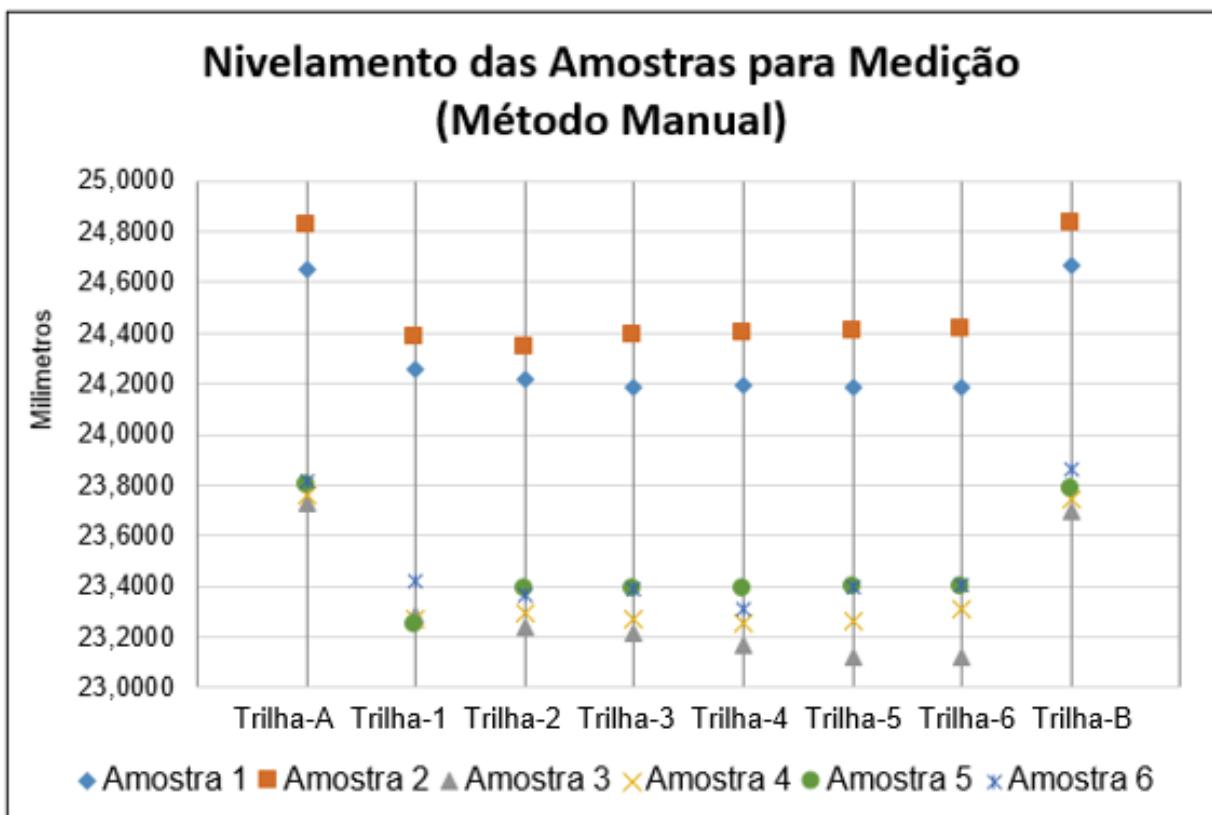
Tabela 11 – Dimensões de usinagem do ensaio de qualidade com o uso de *toolsetter laser*.

Ferramentas Ajustadas por <i>Toolseter Laser</i> - dimensões em (mm)										
	Superfice de Ref.	A	Números de Trilhas da Amostra						Superfice de Ref.	B
		1	2	3	4	5	6			
Amostra 1	Medida 1	23,4171	22,8813	22,9117	22,9846	22,9853	22,9854	22,9398	23,4179	
	Medida 2	23,4041	22,9708	22,9407	22,8764	22,8588	22,8758	22,8977	23,4077	
	Medida 3	23,3942	22,8855	22,8881	22,8819	22,8996	22,8780	22,8988	23,4106	(A-B)
	Média	23,4051	22,9125	22,9135	22,9143	22,9146	22,9131	22,9121	23,4121	-0,0069
Material retirado	0,5	Dif. Ref - Medida	0,4926	0,4916	0,4908	0,4906	0,4921	0,4930	-0,0069	
		Variação Dimensional →	0,0074	0,0084	0,0092	0,0094	0,0079	0,0070	0,5069	0,0082
Amostra 2	Medida 1	23,4769	22,9442	22,9498	22,9679	22,9860	22,9724	22,9484	23,4610	
	Medida 2	23,4537	22,9731	22,9775	22,9776	22,9599	22,9823	22,9755	23,4769	
	Medida 3	23,4484	22,9787	22,9867	22,9767	22,9796	22,9653	22,9848	23,4213	(A-B)
	Média	23,4597	22,9654	22,9713	22,9741	22,9752	22,9733	22,9696	23,4531	0,0066
Material retirado	0,5	Dif. Ref - Medida	0,49431	0,48832	0,48561	0,48449	0,48635	0,49010	0,00660	
		Variação Dimensional →	0,0057	0,0117	0,0144	0,0155	0,0137	0,0099	0,4934	0,0118
Amostra 3	Medida 1	22,7799	22,5070	22,5206	22,5203	22,5248	22,5327	22,5327	22,8153	
	Medida 2	22,8214	22,5579	22,5063	22,5688	22,5443	22,5135	22,5133	22,8393	
	Medida 3	22,8447	22,5180	22,5496	22,5078	22,5167	22,5396	22,5470	22,9156	(A-B)
	Média	22,8153	22,5276	22,5255	22,5323	22,5286	22,5286	22,5310	22,8567	-0,0414
Material retirado	0,3	Dif. Ref - Medida	0,2877	0,2899	0,2830	0,2867	0,2867	0,2843	-0,0414	
		Variação Dimensional →	0,0123	0,0101	0,0170	0,0133	0,0133	0,0157	0,3414	0,0136
Amostra 4	Medida 1	22,8697	22,6801	22,5865	22,5839	22,6018	22,5805	22,5961	22,8813	
	Medida 2	22,8929	22,4622	22,6059	22,6108	22,6144	22,6181	22,6243	22,8921	
	Medida 3	22,9188	22,6492	22,6273	22,6356	22,6029	22,6305	22,6045	22,9316	(A-B)
	Média	22,8938	22,5972	22,6066	22,6101	22,6064	22,6097	22,6083	22,9017	-0,0079
Material retirado	0,3	Dif. Ref - Medida	0,2966	0,2872	0,2837	0,2874	0,2841	0,2855	-0,0079	
		Variação Dimensional →	0,0034	0,0128	0,0163	0,0126	0,0159	0,0145	0,3079	0,0126
Amostra 5	Medida 1	24,2468	23,7386	23,7209	23,7299	23,7284	23,7279	23,7426	24,1892	
	Medida 2	24,2533	23,7466	23,7786	23,7394	23,7539	23,7433	23,7367	24,2047	
	Medida 3	24,2583	23,7508	23,7401	23,7496	23,7454	23,7481	23,7432	24,2160	(A-B)
	Média	24,2528	23,74533333	23,74652	23,73963333	23,74257333	23,73976667	23,74082667	24,2033	0,0495
Material retirado	0,5	Dif. Ref - Medida	0,5075	0,5063	0,5132	0,5102	0,5130	0,5120	0,0495	
		Variação Dimensional →	-0,0075	-0,0063	-0,0132	-0,0102	-0,0130	-0,0120	0,4505	-0,0104
Amostra 6	Medida 1	24,1618	23,8458	23,8516	23,8523	23,8533	23,8550	23,8552	24,1469	
	Medida 2	24,1647	23,8682	23,8529	23,8546	23,8564	23,8586	23,8605	24,1492	
	Medida 3	24,1701	23,8686	23,8532	23,8546	23,8572	23,8589	23,8621	24,1494	(A-B)
	Média	24,1655	23,8609	23,8526	23,8538	23,8556	23,8575	23,8593	24,1485	0,0170
Material retirado	0,3	Dif. Ref - Medida	0,3047	0,3130	0,3117	0,3099	0,3080	0,3063	0,0170	
		Variação Dimensional →	-0,0047	-0,0130	-0,0117	-0,0099	-0,0080	-0,0063	0,2830	-0,0089

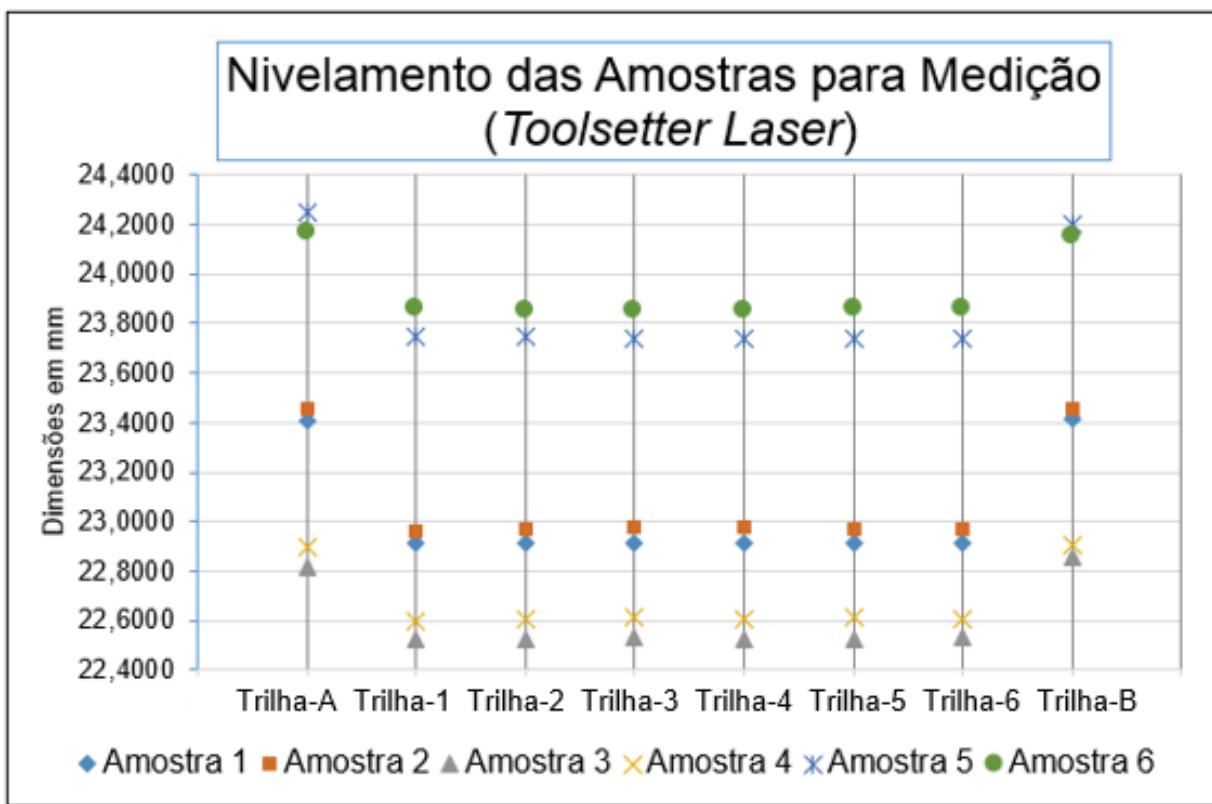
Fonte: Próprio Autor

Uma vez usinadas, às amostras foram submetidas ao processo de medição conforme descrito no item 3.4.2.1. Para que as medições fossem validadas, as amostras foram submetidas a um processo de verificação do seu nivelamento. Para isto foi estabelecido que nenhuma amostra deveria apresentar um desnivelamento entre a extremidade A e a extremidade B superior a 0,05 mm. Assim para que fossem realizadas as medições, estas foram posicionadas sobre uma base e niveladas de tal forma que a superfície de referência “A” ficasse o mais próximo possível do nível da superfície de referência “B” (Gráfico 4 e 5).

Gráfico 4 – Nivelamento para medição após a usinagem – método manual



Fonte: Próprio Autor

Gráfico 5 – Nivelamento para medição após usinagem – *toolsetter laser*

Fonte: Próprio Autor

Os ensaios de qualidade com o *preseting* manual apresentaram resultados que variaram entre 0,1 mm e – 0,1 mm, o seja uma pequena variação acima e abaixo da linha de referência (Gráfico 6). Foi observado ainda que a maioria dos pontos se localizam entre 0 e 0,1 mm e poucos abaixo da linha de 0. Estes valores se deve ao fato que no processo de medição pelo método manual os operadores de máquina inserem uma folha de papel ou plástico entre a ferramenta e a peça que esta para ser usinada, isto é feito objetivo de evitar o choque mecânico na ferramenta e melhorar a precisão da leitura, porém com verificado este procedimento causa uma tendência de erro para maior (Gráfico 6).

Os ensaios de qualidade realizados com o sistema de *toolsetter laser* apresentaram resultados que variam entre 0,02 mm e – 0,02 mm (Gráfico 7).

Quando comparados os dois processos de medição de ferramentas, fica evidente que os sistema de medição por *toolsetter laser* apresenta um melhor resultado na qualidade das dimensões quando comparado ao sistema de medição manual. Observando os gráficos 5 e 6 os quais se encontram na mesma escala é possível constatar que os dados obtidos pelo sistema de *toolsetter laser* apresetam uma uniformidade de pontos bem superior ao apresentado pelo sistema de medição pelo método manual. Entretanto com a escala reduzida, o sistema de *toolsetter laser* também apresenta uma oscilação entre os seus limites, todavia com já observado, estes se encontram em uma faixa de valores bem inferior do que os resultados apresentados pelo processo manual (Gráfico 8).

Foi observado também, que alguns pontos ficaram abaixo da linha de zero, este fato se deve talvez a alguns fatores como, a pressão de corte, variação nas propriedades do material ou ainda a dilatação térmica do conjunto máquina e ferramenta. A medição esperada seria todos o valores se posicionarem acima da linha de zero, visto que a leitura é realizada no instante em que o feixe de laser tem a sua trajetória interrompida pela ação da ferramenta. A velocidade de aproximação e avanço da mesa, embora seja conhecido a sua influência no processo de medição, neste caso não poderia gerar nenhuma influência entre as leituras, pois todas foram realizadas com os mesmos parâmetros de velocidade e avanço.

Gráfico 6 – Resultados da medição – ensaio de qualidade - método manual

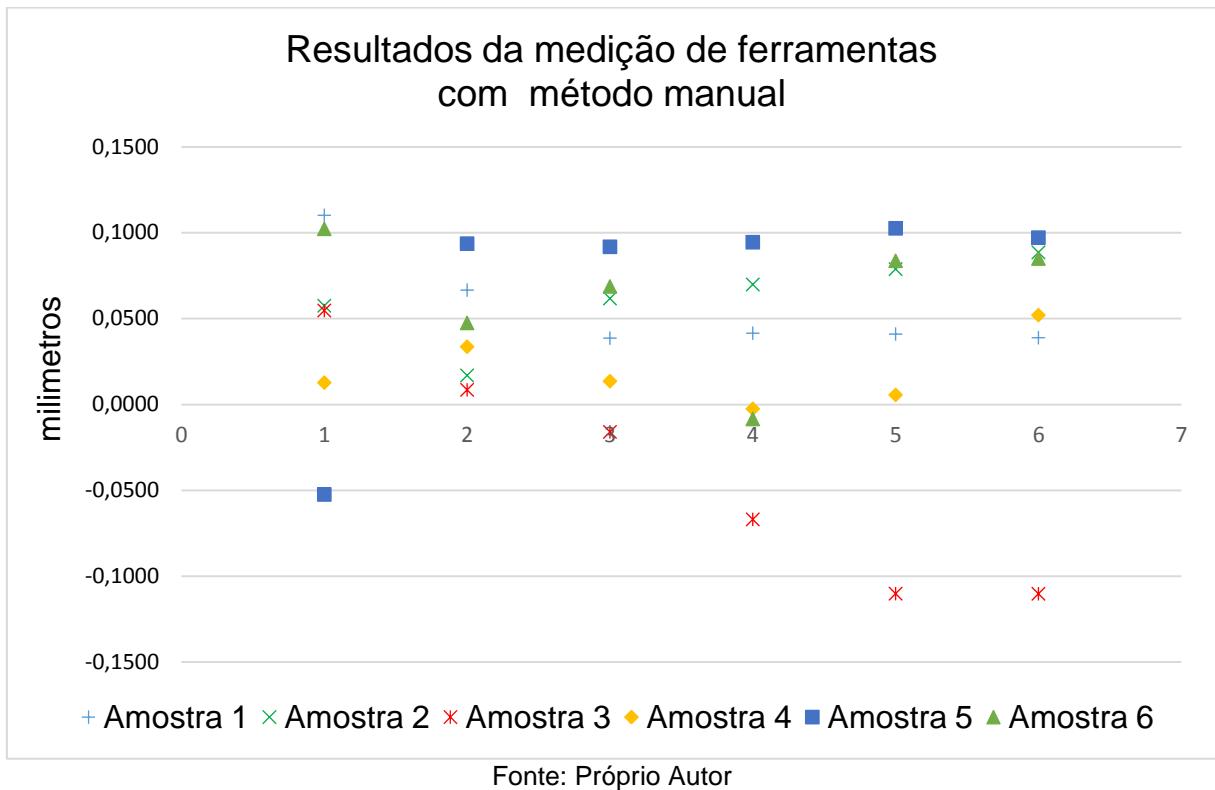
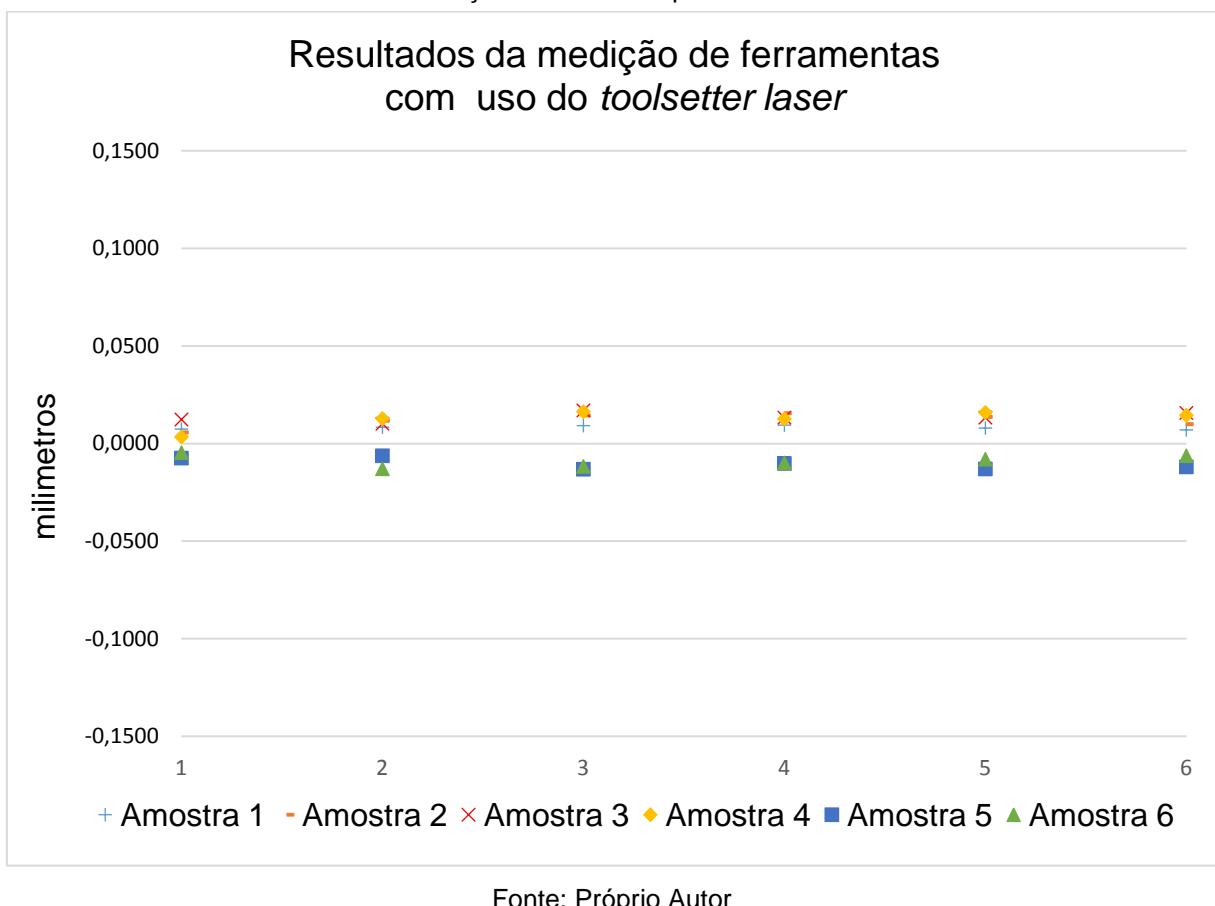
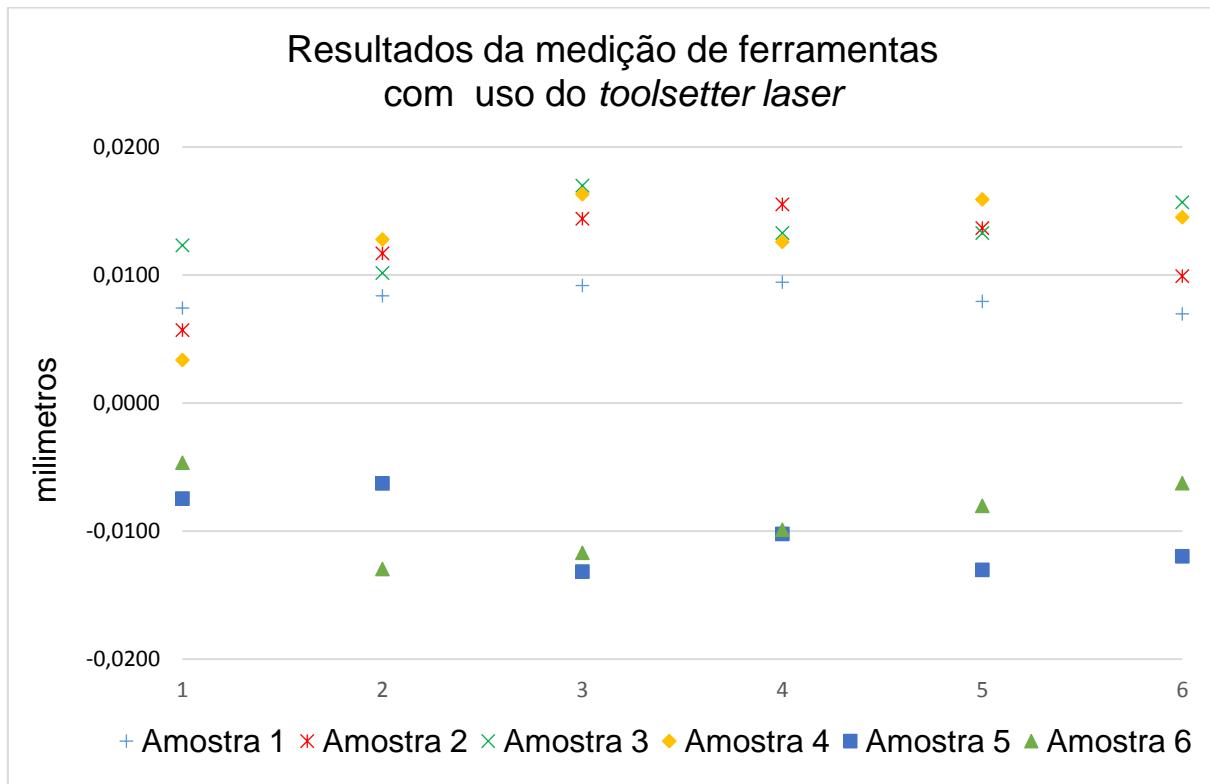
Gráfico 7 – Resultados da medição – ensaio de qualidade - com uso do *toolsetter laser*

Gráfico 8 – Resultados da medição – ensaio de qualidade – com uso do *Toolsetter Laser*

Fonte: Próprio Autor

4.3 Resultados dos ensaios de qualidade – acabamento superficial

As amostras usinadas para o ensaio de qualidade tiveram as suas dimensões analisadas conforme descrito no tópico anterior. Nesta análise foi constatado que o dimensional obtido com o uso do sistema de *toolsetter laser* para a medição de ferramentas gera resultados superiores aos encontrados nas medições por sistema manual. Desta forma neste tópico é verificado se a melhor qualidade nas dimensões influencia no acabamento superficial das amostras.

Para a verificação da qualidade do acabamento superficial das amostras, foi realizado uma comparação visual, tendo como referência as fotos das amostras (Figuras 34 e 35). Embora o processo de fotografia adotado para evidenciar o acabamento superficial tenha gerado algumas limitações na sua aplicação, pois as fotos não conseguem reproduzir com total fidelidade e clareza o nível de detalhe que as amostras apresentam quando verificadas a olho nu. A reflexão da luz em peças de aço inox prejudica a qualidade das fotos. Para amenizar este problema, estas fotos foram tiradas posicionando as amostras em ângulos que evidenciassem o máximo possível o nível de defeito superficial.

Figura 34 – Amostras usinadas com ferramentas ajustadas manualmente.



Fonte: Próprio Autor

Figura 35 – Amostras usinadas com ferramentas ajustadas com Toolsetter Laser.



Fonte: Próprio Autor

Embora, ainda que com o prejuízo da falta de definição das fotos, é possível afirmar que o acabamento superficial apresentado nas amostras produzidas com as medidas de ferramentas obtidas com o uso *toolsetter laser*, tem um ganho de qualidade no acabamento superficial superior ao mesmo processo efetuado com o sistema de ajustes de ferramentas realizado de forma manual (Figura 35). Quando o processo medição é realizado pelo sistema manual, este apresenta diferenças no relevo, em forma de pequenos degraus, o que caracteriza uma falha no acabamento superficial (Figura 34). Isto se deve ao fato que o método de medição de

ferramentas adotado interfere no nível de qualidade dimensional, gerando medidas mais ou menos precisas, de acordo com o método de medição adotado para o referenciamento de ferramentas. Falhas na superfície de peças usinadas geradas pelas ferramentas de usinagem, embora que superficiais, comprometem a qualidade das peças, seja no aspecto visual ou funcional, em maior ou menor grau de acordo com a sua aplicação.

5 CONCLUSÕES E ESTUDOS FUTURO

A busca por soluções para melhorar a competitividade na indústria foi a base para elaboração da questão de pesquisa que norteou este trabalho, o qual teve como objetivo principal estudar os ganhos de produtividade e de qualidade a partir do uso de equipamento de *toolsetter laser* em máquinas CNC. Assim o presente trabalho, diante dos ensaios realizados conforme metodologia estabelecida e dos dados obtidos permite concluir que:

- a) É possível obter melhor precisão na medição de ferramentas em máquinas CNC com o uso de equipamento de *toolsetter laser*, quando comparado com método de medição manual;
- b) O sistema de medição de ferramentas *toolsetter laser* permite uma redução no tempo de *presetting* de ferramentas e como consequência, redução no tempo de *setup*;
- c) Aumento na disponibilidade de máquina para a produção com a redução no tempo de máquina parada para a medição de ferramentas e de *setup*.

E como consequência geral o sistema de medição de ferramentas por *toolsetter laser*, permite o obter ganhos de produtividade e da qualidade das peças usinadas em máquinas CNC.

Com base nos resultados obtidos e nas conclusões descritas neste trabalho, ficam ainda as sugestões para futuras pesquisas:

- a) realizar testes para detecção de quebras de ferramentas durante o processo de usinagem;
- b) estudar as interferências geradas pela máquina no processo de usinagem, como variação dimensional provocada por erro de posição do eixo da máquina sobre as medidas do sistema de *toolsetter laser*.
- c) estudar sistema de monitoramento do processo de usinagem e correção automática dos desgastes de ferramenta;
- d) estudar a influência da temperatura ambiente da área de trabalho na medição de ferramentas por sistema de *toolsetter laser*.

6 REFERÊNCIAS

- AGUADO, S.; ALVAREZ, R.; DOMINGO, R. *Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation.* **Journal of Cleaner Production.** v.47, p141-148, 2013.
- ALLAHVERDI, A.; SOROUSH, H. M. The significance of reducing setup times/setup costs. **European Journal of Operational Research** n.187, p. 978–984, 2008.
- ANTUNES, J. **Sistemas de Produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta.** Ed. Bookman, Porto Alegre, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001:2008** Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. Rio de Janeiro, 2008.
- ARONSON, R. B. *Presetting: Prelude to Perfection.* **Manufacturing Engineering**, v. 124, n. 2, p.86-91, 2000.
- AXINTE, D. A.; G. NABIL; FOX, K.; UNANUE, I.; *Process monitoring to assist the workpiece surface quality in machining.* **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, v.44, p.1091–1108, 2004.
- BAPTISTA, E. A. **Desenvolvimento de um Sistema Especialista para a Otimização do Processo de Usinagem Baseado na WEB.** 2004. 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d’Oeste.
- BAPTISTA, E. A.; COPPINI, N. L. Otimização de processos de usinagem: uma abordagem para sistemas de fabricação flexível que foi implementada em um sistema baseado na web. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 4.; 2007, Estância de São Pedro. Anais... Estância de São Pedro: ABCM; UNESP; UNICAMP; USP, 2007. p. 1-9.
- BARRIOS, D. B.; PIVETTA, L. A.; YOSHIKAWA, N. K. **Mecânica: Métodos e Processos Industriais.** Faculdade de Tecnologia - Fundação Padre Anchieta, São Paulo, 2011.
- BLUM. *Non-Contact Laser Tool Setting and Tool Monitoring.* In. Site da empresa **Blum Laser Measuring Technology Inc.** Cincinnati, USA. 2005 <<http://www.blum-novotest.de/measuring-components/products/laser-tool-setting/lasercontrol-nt.html>> Acesso em: 01/12/2013.

BRINGMANN, B.; KNAPP, W. *Machine tool calibration: Geometric test uncertainty depends on machine tool performance.* **Precision Engineering**, n.33, p. 524–529, 2009.

CASTRO, H. F. F. *Uncertainty analysis of a laser calibration system for evaluating the positioning accuracy of a numerically controlled axis of coordinate measuring machines and machine tools.* **Precision Engineering**, n. 32, 106–113, 2008.

CEGLIO, W. E. **Método para Avaliação do Grau de Alinhamento entre as Ferramentas da Manufatura Enxuta e os Indicadores de Desempenho da Empresa.** 2012. 135 f. (Dissertação) Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo (FEAU) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP).

CERVO, A. L; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica.** 5. ed. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2006.

CHEN, C. H.; WANG, Y. C.; LEE, B. Y. *The effect of surface roughness of end-mills on optimal cutting performance for high-speed machining.* **Journal of Mechanical Engineering**, v.59, p.124-134, 2013.

CORRER, I.; MARTINS, R. O.; VIEIRA JUNIOR, M. **Avaliação do índice de utilização de máquinas ferramentas CNC em uma empresa de usinagem, por meio da análise da técnica de pré-ajustagem de ferramentas.** In. XII SIMPEP, 11.; 2005, Bauru, São Paulo, 2005.

CORRER, I. **Projeto e construção de um sistema de pré-ajustagem de ferramentas interno a LASER para uso em máquinas-ferramenta CNC.** 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Barbara D' Oeste.

CORRER, I.; VIEIRA JUNIOR, M.; SIMON, A. T. S.; MARTIN, R. O.; SANTOS, T. A. F. Estudo do nível de utilização de sistemas de pré-ajustagem de ferramentas de corte em máquinas CNC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 4.; 2007a, Estância de São Pedro. Anais... Estância de São Pedro: ABCM; UNESP; UNICAMP; USP, 2007a. p. 1-7.

DINIZ, A. E.; F. C. COPPINI, N. L.; MARCONDES, F. C. **Tecnologia da usinagem dos materiais.** 6 ed. São Paulo: Artliber, 2010.

FAN, K. C.; CHEN, H. M.; KUO, T. H. *Prediction of machining accuracy degradation of machine tools.* **Precision Engineering**, n.36, p. 288–298, 2012.

FARDIN, E. L.; BAPTISTA, E. A.; COPPINI, N. L.; VIEIRA JUNIOR, M.; CORRER, I. Avaliação dos tempos de pré-ajustagem de ferramentas em máquinas CNC: vantagens e ganhos possíveis com o uso de equipamentos de presetting. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30.; 2010, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCar, 2010. p. 1-10.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais.** 1. Ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2003.

FELIX, C., *Reducing downtime with tool presetting. Production Machining;* v.8 n., p.40-44, 2008.

FOGLIATTO, F. S.; FAGUNDES, P. R. M. *Troca rápida de ferramentas: proposta metodológica e estudo de caso. Gestão & Produção,* vol.10, Nº.2, p. 1643-181, 2003.

FORTUNATO, F. A. P. S. **Medição do Desgaste de Brocas Helicoidais de Aço Rápido Por Meio do Uso de um Dispositivo a LASER.** 2012. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Diretoria de Ciências Exatas, Universidade Nove de Julho, São Paulo.

FREY, E. H.; BRAZ, P. H. C.; CRUZ, M. R.; GUIMARAES, J. C. F.; CAMARGO, M. E. Impacto do Número de *Setups* nos Indicadores da Manufatura Lean, Estudo em Setor de Usinagem, In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO. 10.; 2011, Belo Horizonte, Minas Gerais.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 5^a Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2011.

GOLDRATT, E.; COX, J. **A meta:** um processo de aprimoramento contínuo. 35.ed. São Paulo, Educator, 2002.

GROOVER, M. P. **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura.** 3^a ed. São Paulo, Pearson Education, 2011.

HEXAGON Metrology Services. *Measuring on machine tool: laser tool setters – News From Hexagon,* Waldburg Germany, p.1-8. 2012.

JAHARAH, A. G.; CHOUDHURY, I. A.; MASJUKI, H. H.; CHE HASSAN, C. H. Surface integrity of AISI H13 tool steel in end milling process. **International Journal of Mechanical and Materials Engineering,** v. 4, n. 1, p. 88-92, 2009.

JURKO, J.; GAJDOS, M.; GECAK, J.; BERDIS, A. *Study on screw drill wear when drilling X6Cr16Ni8Mo stainless steel.* **Journal Manufacturing Engineering**, v.2, p.17-20, 2011.

LIM, T. Y.; RATNAM, M. M. *Edge detection and measurement of nose radii of cutting tool inserts from scanned 2-D images.* **Optics and Lasers in Engineering**, v.50, p.1628–1642, 2012.

LIMA, A. **Análise dos efeitos gerados pelos parâmetros de corte em processos de usinagem, sobre a integridade superficial das peças em aço ABNT 4340.** 2008. 181 f. (Tese de doutorado em Engenharia de Produção). Departamento de Fabricação, Universidade Metodista de Piracicaba. Santa Bárbara d'Oeste.

LOTT, P. SCHLEIFENBAUM, H.; MEINERS, W.; WISSENBACH, K.; HINKE, C.; BÜLTMANN, J. *Design of an Optical system for the In Situ Process Monitoring of Selective Laser Melting (SLM).* **Physics Procedia**, n.12, p. 683–690, 2011.

LUCATO, W.C.; VIEIRA, JR. M. *A conceptual proposal to measure the competitiveness degree of a company* Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPROM Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, www.producaoonline.org.br, v. 9, n.1, 2009.

MACEDO, M. M. *Gestão da produtividade nas empresas.* **Revista Organização Sistêmica**, v.1, nº 1, 2012.

MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M; COELHO, R. T.; SILVA, M. B. **Teoria da Usinagem dos Materiais.** 2. ed. São Paulo, Blucher, 2011.

MAJDA, P. *Modeling of geometric errors of linear guideway and their influence on joint kinematic error in machine tools.* **Precision Engineering**, n.36, p.369-378, 2012.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica.** 7. ed. São Paulo, Atlas, 2010.

MENDONÇA, M. A. A.; FREITAS, F. A.; SOUZA, J.M. Tecnologia da informação e produtividade na indústria brasileira. **INFORMATION TECHNOLOGY AND PRODUCTIVITY IN THE BRAZILIAN INDUSTRY**, v. 49, n.1, p.74-85, 2009.

METROL. **Ultra precision Switch for CNC machine tools and robots.** Disponível em: http://www.metrol.co.jp/en/product_ha.html>, Acesso em 08 set. 2012.

NOJEDEH, M. V.; M. HABIBI, M.; AREZOO, B. *Tool path accuracy enhancement through geometrical error compensation.* International Journal of Machine Tools & Manufacture, n.51, p.471–482, 2011.

OLIVEIRA, A. J. **Manufatura flexível: comparativo entre o modelo proposto e o tradicional.** 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Nove de Julho, São Paulo.

PREMIUM METROLOGY. *Tool Presetter Series II.* In. Site da Empresa **Premium Metrology.** Disponível em: <http://premiummetrology.com/index.php?controller=product&path=19&product_id=14> acesso em 19/08/2013 – 22:00 horas

RAHOU, M.; CHEIKH, A.; SEBAA, F. *Real Time Compensation of Machining Errors for Machine Tools NC based on Systematic Dispersion.* World Academy of Science, Engineering and Technology, n.56, 2009.

RENISHAW. *Innovative LASER tool setting technology provides accuracy, flexibility and robust operation.* News from Renishaw, p. 1-10, 2003.

_____. **Produtos para controle de processos, melhoria da qualidade e aumento da produtividade.** News from Renishaw, United Kingdom, p.1-8, 2008.

_____. *High speed, non-contact, tool setting and breakage detection.* News from Renishaw, p. 1-2, 2010.

_____. *RTS cable-free tool setting probe* News from Renishaw, p.1-6, 2013.

REPO, J. **Condition Monitoring of Machine Tools and Machining Processes using Internal Sensor Signals.** 2010. 109 f. Licentiate thesis. School of Industrial Engineering and Management. Stockholm, Sweden.

RIBEIRO, Y. C. F.; DACOL, S.; VIEIRA, R. K. Estudo da Aplicação da Técnica de Troca Rápida de Ferramentas em Injetoras de Plásticos. In: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 10.; 2007, Foz do Iguaçu, Paraná 2007.

SANDVIK COROMANT. “Manual Técnico de Usinagem”, 2012.

SANTOS, T. A. F. MARTINS, R. O.; CORRER, I.; VIEIRA JUNIOR, M. Estudo do nível de utilização do sistema de *presetting* de ferramentas em empresas da região

de Santa Bárbara D'Oeste e Piracicaba. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26.; 2006, Fortaleza. Anais... Fortaleza: UFC, 2006. p. 1-7.

SCHEFFER, C.; HEYNS, P. S. *An industrial tool wear monitoring system for interrupted turning*. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v.18, p. 1219-1242, 2004.

SCHWENKE, H.; KNAPP, W.; HAITJEMA, H.; WECKENMANN, A.; SCHMITT, R.; DELBRESSINE, F. *Geometric error measurement and compensation of machines: An update*. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, n. 57, p. 660–675, 2008.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção – Do ponto de vista da Engenharia de Produção**. 2ª Ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 1996.

_____, S. **Sistema de Troca Rápida de Ferramentas: Uma Revolução nos Sistemas Produtivos**. Porto Alegre, Ed. Bookman, 2000, 327 p.

SILVA, W. L.; COSTA, WILSON J. V.; RESENDE, M. A.; PIMENTA, W. J.; RODRIGUES, R. S. Análise de Tempo no *Preset e Lean Production* no Setor de Corte e Usinagem de uma Montadora de Automóveis. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO. 10.; 2011, Belo Horizonte, Minas gerais, 2011.

SIMON, A. T. **Condições de utilização da tecnologia CNC: um estudo de caso para máquinas-ferramenta de usinagem na indústria brasileira**. 2001. 150 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas-Unicamp.

SIMON, A. T.; MAESTRELLI, N. C.; AGOSTINHO, O. L. Influência das técnicas de pré-ajustagem de ferramentas na utilização de tecnologia CNC no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22.; 2002, Curitiba. Anais... Curitiba: ABEPROM, 2002. p. 1-7.

SIMON, A. T. Panorama do parque nacional de máquinas CNC de usinagem. In: Congresso de Usinagem. 08.; 2008, Expo Center Norte, São Paulo.

_____. *X inventário MM: panorama do parque nacional de máquinas ferramenta de usinagem*. Revista Maquinas e Metais. Editora Aranda, v 527, p.56-81, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção** 3ª Ed. Atlas, 2009.

SMITH, G. T. **Cutting tool technology:** industrial handbook. 1^a ed. London: Ed. Springer, 2008.

SOARES, D. M.; MACHADO, R. L.; MANZI, A. C.; OLIVEIRA, A. R. M. Aperfeiçoamento de Setup. In: IV CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. 08.; 2008, Niterói, Rio de Janeiro, 2008.

SOUSA, A. R. **Padrões corporificados e a Tecnologia de medição por coordenadas inovando a Qualificação geométrica de centros de usinagem.** 2000. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, Santa Catarina.

TETI, R.; JEMIELNIAK, K.; O'DONNELL, G.; DORNFELD, D. *Advanced monitoring of machining operations. CIRP Annals - Manufacturing Technology* v.59. p.717–739, 2010.

TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal Cutting.** Editora Butterworths, England, 2000.

VIEIRA, JR. M., et al. *Statement of Losses Caused by the Presetting of Tools by the Manual Method.* In: POMS 22nd Annual Conference, Anais... Reno, Nevada, U.S.A., 2011.

VIEIRA, JR. M; LUCATO, W. C.; PEREIRA, F. H.; CORRER, I. Influência da velocidade de avanço e da rotação do eixo árvore sobre a resposta dimensional de toolsetter a laser. In: Congresso de Usinagem. 08.; 2012, Expo Center Norte, São Paulo.

VIEIRA, JR. M; LUCATO, W. C.; MIRANDA, O. S.; PEDROZA, D. H.; COSTA, F. S.; DOMINGOS FILHO, J. *Evaluation of competitive distance between companies of auto parts sector.* In: 24th POMs Annual Conference, 2013, Denver - USA. Annals of the 24th POMS Conference. Denver: POM Society, v.1. p. 1-9, 2013.

VOLPATO, N.; REBEYKA, C. J.; COSTA, D. D. A proposal for tool-setting data integration. **Int J Adv Manuf Technol**, n.41, p. 960–971, 2009.

ZOLLER. Ajustar e Medir Ferramentas. In site da Empresa E. Zoller GmbH & Co. KG. Disponível em <<http://www.zoller.info/pt-BR/home#>> Acesso em 19/08/2013 21:00 horas.

ZHU, S.; DING, G.; QIN, S.; LEI, J.; ZHUANG, L.; YAN, K. *Integrated geometric error modeling, identification and compensation of CNC machine tools.* **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, n.52, p.24–29, 2012.