

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO – UNINOVE
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ANDRÉ MAURÍCIO ZAGO

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS DE PRÉ-AJUSTAGEM DE
FERRAMENTAS DE CORTE *TOOLSETTERS* E *PRESETTERS***

SÃO PAULO

2018

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO – UNINOVE
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ANDRÉ MAURÍCIO ZAGO

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS DE PRÉ-AJUSTAGEM DE
FERRAMENTAS DE CORTE *TOOLSETTERS* E *PRESETTERS***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho - UNINOVE, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Prof. Milton Vieira Junior, Dr. - Orientador

SÃO PAULO

2018

Zago, André Maurício.

Análise comparativa dos sistemas de pré-ajustagem de ferramentas de corte toolsetters e presetters. / André Maurício Zago. 2018. 69 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2018.

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

1. Presetting. 2. Usinagem. 3. Pré-ajustagem de ferramentas. 4. Setup de ferramentas. 5. Tool presetting

I. Vieira Junior, Milton. II. Título

CDU 658.5

ANDRÉ MAURÍCIO ZAGO

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS DE PRÉ-AJUSTAGEM DE
FERRAMENTAS DE CORTE *TOOLSETTERS* E *PRESETTERS***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho - UNINOVE, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Prof. Milton Vieira Junior, Dr. - Orientador

São Paulo, 28 de fevereiro de 2018.

Presidente: Prof. Dr. Milton Vieira Junior, Orientador, PPGEF - UNINOVE

Membro: Prof. Dr. André Luis Helleno, PPGEF - UNIMEP

Membro: Prof. Dr. Elesandro Antônio Baptista, PPGEF – UNINOVE



PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

DE

André Mauricio Zago

Titulo da Dissertação: Análise Comparativa dos Sistemas de Pré-Ajustagem de Ferramentas de Corte Toolsetters e Presetters.

A Comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a) candidato(a) André Mauricio Zago APROVADO.

São Paulo, 28 de fevereiro de 2018.

Prof(a). Dr(a). Milton Vieira Junior (UNINOVE) _____

Prof(a). Dr(a). André Luis Helleno (UNIMEP) _____

Prof(a). Dr(a). Elesandro Antonio Baptista (UNINOVE) _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela força e principalmente pela fé encontrada nos momentos mais difíceis dessa etapa e de todas de minha vida.

À minha esposa Juliana Paulucci Napolitano Zago pelo companheirismo, compreensão e amor e a minha filha Ana Julia Napolitano Zago pelo carinho e delicadeza.

Aos meus pais, Arnaldo José Zago e Rosalva, pela educação, formação de caráter e oportunidade de seguir exemplos de vida.

À minha irmã Ana Priscila Zago pelo apoio e incentivo em todos os momentos de minha vida.

À família de meu irmão Arnaldo José Zago Junior pelos momentos de descontração, diversão e por estarem presentes em minha vida.

Ao meu orientador, professor Dr. Milton Vieira Junior, pelo apoio, ensinamento, paciência, disponibilidade, orientação e críticas durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores Dr. Elesandro A. Baptista e Dr. André Luis Helleno pela colaboração prestada na qualificação e na defesa.

Ao engenheiro Pedro Cabreira Junior pela ajuda e atenção no auxílio da condução de algumas etapas desse trabalho.

Aos amigos de curso e de trabalho que ajudaram durante esse período, proporcionando momentos memoráveis de alegria e também dedicação.

À empresa Geotecno pelo auxílio, disponibilizando equipamentos e materiais necessários para o desenvolvimento do trabalho.

À Universidade Nove de Julho pela bolsa de estudos concedida e à Capes pelo apoio financeiro por meio de bolsa Prosup.

“Os ausentes nunca têm razão.”

Phillippe Destouches

RESUMO

O atual cenário econômico, num contexto de globalização, faz com que a concorrência entre as empresas se torne cada vez maior e, dessa forma, a busca por vantagens competitivas torna-se fator de sobrevivência. A utilização de máquinas CNC nos processos de fabricação em empresas de usinagem pode ser uma vantagem competitiva, desde que sejam utilizados explorando as funcionalidade e recursos que oferecem, ou seja, evitando subutilizá-los em função de elevadas paradas de *setup* e/ou programação pois, desta forma, não trazem os benefícios que são propostos no momento de sua aquisição. Nesse cenário, surgem novas tecnologias em ferramentas e equipamentos visando propiciar o máximo aproveitamento da tecnologia disponível nas máquinas CNC visando aumentar a produtividade e a qualidade, gerando redução de custos nos processos de fabricação. Os sistemas de pré-ajustagem de ferramentas (*pressetting*) são vistos como uma fonte de vantagem competitiva, pois otimizam as operações de *setup* de máquinas tanto sob o aspecto do tempo como, sob o aspecto da qualidade das peças usinadas. O presente trabalho objetiva verificar as similaridades e as diferenças nos benefícios apresentados por dois diferentes tipos de sistemas de pré-ajustagem de ferramentas de corte para usinagem existentes: *PRESETTER* (pré-ajustagem externa) e *TOOLSETTER* (pré-ajustagem interna). Para tanto, além de uma análise da revisão bibliográfica para identificar as vantagens do uso de cada sistema, uma análise experimental realizando usinagens de amostras verificou os aspectos de tempo de pré-ajustagem de ferramentas e os aspectos de qualidade dimensional das peças usinadas. Os resultados mostram que cada tipo de sistema tem benefícios e vantagens próprios e também alguns similares, e que ambos os sistemas de pré-ajustagem contribuem para a redução dos tempos de preparação de máquinas e que os dois sistemas podem se complementar a fim de propiciar ganhos de tempo de *setup* e de qualidade nas peças usinadas.

Palavras chave: *Presetting*, Usinagem, Pré-ajustagem de ferramentas, *Setup* de ferramentas, *Tool presetting*.

ABSTRACT

The current economic scenario, in a context of globalization, causes competition between companies to become more and more, and thus, the search for competitive advantages becomes a survival factor. The use of CNC machines in manufacturing processes in machining companies can be a competitive advantage as they are used to exploit the functionality and features they offer to avoid underutilization due to the high scheduling and / or scheduling of benefits that are proposed in the time of acquisition. In this scenario, new technologies in tools and equipment arise with the objective of maximizing the use of available technology in CNC machines, in order to increase productivity and quality, generating cost reduction in manufacturing processes. Presetting systems are seen as a source of competitive advantage because they optimize machine configuration operations from time to time as well as the quality of machined parts. The present work aims to verify the similarities and differences in the benefits presented by two different types of presetting systems for existing machining tools: PRESETTER (external preset) and TOOLSETTER (internal preset). To do so, in addition to an analysis of the bibliographic review to identify the advantages of using each system, an experimental analysis performed the machining of samples, verifying the predefined time aspects of the tools and the dimensional quality aspects of the machined parts. The results show that each type of system has its own benefits and advantages and also some similar ones, and that both predetermination systems contribute to the reduction of the preparation times of the machine and that the two systems can complement each other to generate the time of gains and quality in machined parts.

Key words: *Presetting, Machining, Tool Preset, Tool setup, Tool presetting*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição dos artigos	23
Figura 2 - Medição manual na máquina	27
Figura 3 - Tipo de <i>toolsetter</i> interno	30
Figura 4 - Tipo de <i>presetter</i> por contato	31
Figura 5 - Tipo de <i>toolsetter</i> interno	33
Figura 6 - <i>Toolsetter</i> por contato	35
Figura 7 - <i>Toolsetter</i> ferramentas estacionárias	35
Figura 8 – Ilustração esquemática do corpo de prova	38
Figura 9 – Desenho do corpo de prova usinado	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Combinações de palavras chave e cognatas	21
Tabela 2 - Combinações utilizadas e número de artigos por base de dados.....	22
Tabela 3 – Autores e suas publicações.....	23
Tabela 4 – Sistemas de pré-ajustagem existentes no mercado	29
Tabela 5 – Resumo Autor X Pesquisa	36
Tabela 6 – Esquema do processo de usinagem	40
Tabela 7 – Análise comparativa dos sistemas de pré-ajustagem.....	45
Tabela 8 – Tempos envolvidos nas operações da fresa Ø 63,0 mm	50
Tabela 9 – Tempos envolvidos nas operações da fresa Ø 20,0 mm	51
Tabela 10 – Tempos envolvidos nas operações da fresa Ø 10,0 mm	52
Tabela 11 – Tempos envolvidos nas operações da broca Ø 6,0 mm	53
Tabela 12 – Tempos envolvidos nas operações de referenciação	53
Tabela 13 – Tempos totais.....	54
Tabela 14 – Simulação de processo produtivo.....	55
Tabela 15 – Valores de dimensões de pré-ajustagem	57
Tabela 16 – Comparação entre os sistemas peça A	57
Tabela 17 – Comparação entre os sistemas peça B	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNC - *Computer Numeric Control*

RPM – Rotações por minuto

SMED - *Single-Minute Exchange of Die*

TRF – Troca Rápida de Ferramenta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	18
1.4 JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA	18
1.5 METODOLOGIA.....	20
1.6 BIBLIOMETRIA	21
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	24
2. REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1 PRÉ-AJUSTAGEM DE FERRAMENTAS	26
2.2 PRÉ-AJUSTAGEM MANUAL DE FERRAMENTAS.....	27
2.3 PRÉ-AJUSTAGEM DE FERRAMENTAS COM SISTEMAS ESPECÍFICOS.....	28
2.4 SISTEMAS DE PRÉ-AJUSTAGEM EXTERNOS (<i>PRESETTERS</i>)	30
2.5 SISTEMAS DE PRÉ-AJUSTAGEM INTERNOS (<i>TOOLSETTERS</i>).....	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 EXPERIMENTAÇÃO.....	37
3.2 COLETA DE DADOS	41
3.3 EXPERIMENTOS REALIZADOS	42
3.4 PREPARAÇÃO DA MÁQUINA DE USINAGEM E EQUIPAMENTOS	42
4. RESULTADOS DA EXPERIMENTAÇÃO REALIZADA	45
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
APÊNDICE 1	67
APÊNDICE 2	68

1. INTRODUÇÃO

O surgimento de novas tecnologias no setor metal mecânico, em especial nos equipamentos de produção, aumentou a competitividade entre essas empresas e fez com que elas investissem elevados valores para aumentar sua capacidade produtiva (VIEIRA JUNIOR, 2011).

A utilização das máquinas CNC melhora o desempenho da manufatura, otimizando suas operações de produção, desde que, sejam utilizadas de maneira correta. Desta forma, esses equipamentos devem ser utilizados a fim de atender de forma eficiente as necessidades de seus usuários. A competitividade de uma empresa pode ser prejudicada caso as tecnologias CNC's disponíveis não sejam utilizadas adequadamente e os benefícios propostos pela modernização da tecnologia será comprometido (SIMON, 2002).

O *setup* de ferramentas surge como um importante ponto a ser observado afim de maximizar o desempenho dos equipamentos CNC's. A sistemática de troca rápida de ferramentas (TRF) é um aliado a redução dos *setups*. Pesquisa realizada em 28 empresas do setor de usinagem, mostrou que apenas 30% das empresas conhecem e aplicam as técnicas envolvidas na TRF, 12,5% das empresas pesquisadas conhecem e utilizam as técnicas de forma parcial, 45% declaram conhecer porém não utilizam a ferramenta e suas técnicas de modo comprovado e 12,5% declaram não conhecer e conseqüentemente não utilizar as técnicas da TRF (BARDUZZI, 2016).

A redução do tempo de *setup* de máquinas CNC é uma metodologia utilizada para aumento da produtividade e do tempo disponível do equipamento, além de objetivar a redução dos custos de produção (VOLPATO, 2009). A criação de times de implantação de metodologias de redução de *setup* podem diminuir o tempo dessas atividades e contribuir para a redução dos tamanhos dos lotes produzidos. (FOGLIATTO; FAGUNDES, 2003).

Os tempos de *setup* de máquinas podem ser reduzidos por meio de sistemas de pré-ajustagem das ferramentas, utilizando equipamentos dedicados ao *presseting*. A utilização de sistemas de pré-ajustagem de ferramentas permite redução de tempo nessa atividade, reduzindo assim o tempo de *setup* do equipamento (VIEIRA JUNIOR, 2011).

Os sistemas de pré-ajustagem de ferramentas *presetters* e *toolsetters* são tecnologias utilizadas para auxiliar os processos de usinagem nas máquinas CNC, aumentando produtividade, flexibilidade, qualidade e reduzindo os tempos dos ciclos de produção (CORRER, 2005).

A quantidade de ferramentas utilizadas, o número de trocas e o número de lotes produzidos nos turnos, possuem relação direta com o tempo disponível de máquina, especialmente para a produção de lotes pequenos de fabricação (VIEIRA JUNIOR, 2011).

A utilização de sistemas de pré-ajustagem de ferramentas permite redução de tempo nessa atividade, reduzindo assim o tempo de *setup* do equipamento. A utilização desses sistemas ainda aumenta a disponibilidade de máquina, reduzindo o tempo de máquina parada para realização de pré-ajustagem de ferramentas de corte, aumentando os índices de produtividade e reduzindo os custos de produção (VIEIRA JUNIOR, 2012).

No entanto, o elevado custo de aquisição de alguns desses sistemas, bem como a falta de informação sobre as vantagens e benefícios que propiciam, são fatores que influenciam a baixa utilização dessa tecnologia. Em estudo realizado em empresas de usinagem no Brasil, apenas 16,6% de 457 indústrias, utilizam a tecnologia de pré-ajustagem de ferramentas (SIMON, 2008).

A utilização de sistemas de pré-ajustagem automáticos com uso de laser, tais como os *toolsetters*, pode aumentar a disponibilidade de máquina e reduzir o tempo dos *setups*. A operação de pré-ajustagem manual, é responsável por uma redução de 20% da disponibilidade de máquina e no método automático citado, a disponibilidade de máquina aumenta para até 97% do tempo total considerado (redução de 3% de indisponibilidade). Essas diferenças entre os tempos de utilização da disponibilidade de máquinas podem justificar a aquisição de tais aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas (COSTA *et al*, 2014).

Observando as considerações realizadas, verifica-se a importância da troca rápida de ferramentas e dos sistemas de pré-ajustagem. Neste contexto, vislumbra-se como interessante analisar se existem similaridades e/ou diferenças nos benefícios proporcionados pelo uso das tecnologias de pré-ajustagem interna ao processo

(*toolsetters*) e as externas aos processos (*presetters*), no que se refere ao tempo de preparação e à qualidade das peças usinadas.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Analizando os sistemas de pré-ajustagem manuais e automáticos, é notável que, se por um lado o uso de um sistema único de pré-ajustagem de ferramentas (*presetting* externo ou *presetter*) tem a vantagem de atender a diversas máquinas, pelo outro lado os sistemas internos de pré-ajustagem de ferramentas (*presetting* interno ou *toolsetters*) têm a vantagem de automatizar e acelerar as operações de pré-ajustagem. Para as empresas, as vantagens competitivas que ambos sistemas possibilitam são significativas. Dessa maneira, esse trabalho visa analisar em seu ponto central, a seguinte questão:

- Existem similaridades e/ou diferenças nos benefícios proporcionados pelo uso dos diferentes tipos de sistemas de pré-ajustagem (*toolsetters* e *presetters*) no que se refere a produtividade e a qualidade das peças usinadas?

Para responder à questão enunciada, o presente trabalho pretende confirmar a proposição:

- Para cada sistema de pré-ajustagem (*toolsetters* e *presetters*), existe a possibilidade de alcançar um conjunto de benefícios e vantagens tanto na preparação da usinagem (influência na produtividade), quanto no resultado dessas operações (influência na qualidade das peças usinadas).

A identificação, análise e integração desses resultados, representará as diferenças dos sistemas estudados, possibilitando a análise das similaridades e/ou dos benefícios dos dois sistemas estudados.

1.2 OBJETIVOS

A questão proposta anteriormente, bem como a verificação da proposição, será considerada respondida a partir dos seguintes objetivos (geral e específicos):

Objetivo Geral:

- identificar, a partir de estudos teóricos e experimentais, os benefícios, as similaridades/diferenças e as vantagens que o uso dos sistemas de pré-ajustagem de ferramentas *presetters* (pré-ajustagem interna) e *toolsetters* (pré-ajustagem externa) possibilita, realizando uma análise comparativa entre os sistemas. Os indicadores de interesse adotados para a experimentação são o tempo de pré-ajustagem de ferramentas, obtido com a utilização de cada um dos sistemas em questão, e a qualidade dimensional das peças usinadas (para verificar se há influências das medidas das ferramentas obtidas por cada sistema).

Objetivos Específicos:

- realizar revisão bibliográfica aprofundada para identificar a temática a ser estudada e a oportunidade de pesquisa;
- identificar, a partir da revisão teórica, os benefícios, as similaridades/diferenças e as vantagens que cada sistema de pré-ajustagem possibilita;
- verificar, por meio da realização de experimentos, as influências que ocorrem sobre os tempos de setup e sobre a qualidade dimensional das peças usinadas com ferramentas medidas em cada sistema de pré-ajustagem.

1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O presente trabalho envolve o uso de sistemas de pré-ajustagem a laser internos aos centros de usinagem CNC (*toolsetters*) e de sistemas de pré-ajustagem externos aos centros de usinagem CNC (*presetters*). Desta forma, o presente trabalho está direcionado ao estudo desses dois tipos específicos de sistemas de pré-ajustagem, dentre os diversos sistemas existentes.

As ferramentas de corte utilizadas no trabalho estão limitadas às ferramentas mais comumente utilizadas em centros de usinagem CNC: broca; fresa de topo inteiriça; fresa de topo com pastilhas de metal duro intercambiáveis; e fresa de facear com pastilhas de metal duro intercambiáveis.

1.4 JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA

Estudo realizado em empresas metalúrgicas, no qual foram pesquisadas 689 empresas para compor um panorama do parque industrial de Centros de Usinagem brasileiro, mostrou que recursos de apoio à usinagem CNC são pouco utilizados: sistemas de medição em processo são utilizados em 8,4% das empresas pesquisadas; o reuso de óleo de corte é realizado em 25,4% das empresas; e carregamento e descarregamento automático de peças nas máquinas CNC é utilizado em 11,6% das empresas pesquisadas, dentre outros recursos que podem ser utilizados com vistas a melhorar a qualidade e a produtividade em máquinas CNC (SIMON; LIMA, 2015). Essa mesma pesquisa aponta ainda que a utilização de sistemas de pré-ajustagem de ferramentas ocorre em apenas 16,6% nas empresas pesquisadas o que aumenta a ociosidade dos equipamentos devido à realização da pré-ajustagem de forma totalmente manual. Ainda segundo a mesma pesquisa, somente 54,1% dos Centros de Usinagem e 36% dos tornos e Centros de Torneamento, são servidos por algum sistema de pré-ajustagem de ferramentas, e 63,9 % das empresas realizam a pré-ajustagem de suas ferramentas na própria máquina de usinagem, de forma manual.

Diante do cenário apontado por Simon; Lima (2015), existe um grande potencial para a redução dos tempos de *setup* das máquinas CNC considerando:

1 - que a maioria das empresas ainda realiza a pré-ajustagem de ferramentas de forma manual no próprio equipamento de usinagem;

2 - menos de 20% das empresas estudadas utilizam equipamentos de pré-ajustagem, seja fora da máquina seja internamente.

3 - a pesquisa de Simon; Lima (2015) mostra ainda um parque industrial relativamente novo – cerca de 51% das máquinas têm menos de 10 anos – e que, por serem equipamentos recentes, possuem tecnologia que pode contribuir para a redução do tempo ocioso dos equipamentos.

O tempo de pré-ajustagem de ferramentas em máquinas CNC tem um valor significativo no tempo total de *setup* desses equipamentos. A quantidade de ferramentas utilizadas, o número de trocas e o número de lotes produzidos nos turnos, possuem relação direta com o tempo disponível de máquina, especialmente para produção de lotes pequenos de fabricação. A utilização do sistema de *toolsetter*, permite redução de tempo na pré-ajustagem da ferramenta, reduzindo assim o tempo de *setup* do equipamento. A utilização desse sistema, ainda aumenta a disponibilidade de máquina, reduzindo o tempo de máquina parada para realização de pré-ajustagem de ferramentas de corte, aumentando os índices de produtividade e reduzindo os custos de produção (VIEIRA JUNIOR *et al.*, 2011).

Ainda segundo Vieira Junior *et al* (2014), o referenciamento da ferramenta é um procedimento importante nos processos de usinagem, pois influencia diretamente na qualidade e na precisão das medidas adicionais realizadas por este dispositivo de pré-ajustagem de ferramentas (*toolsetters*). As experiências relatadas no artigo e suas respectivas análises podem sugerir que os parâmetros de máquina e de processo podem influenciar os resultados do referenciamento da ferramenta pelo *toolsetter*.

1.5 METODOLOGIA

No que se refere à natureza, a pesquisa do estudo proposto é a da **pesquisa aplicada**, pois possui a finalidade de se estudar e resolver problemas identificados no ambiente vivenciado pelo pesquisador. O estudo de uma situação específica visa a aquisição de conhecimentos relacionadas àquela aplicação (GIL, 2010). A abordagem é de pesquisa quantitativa, pois se trata de um tipo de pesquisa em que o ato de mensurar variáveis é uma das características mais marcantes do estudo (MARTINS, 2012).

Esse estudo possui os objetivos de uma pesquisa exploratória que, segundo GIL (2010, p. 27), por meio desse tipo de pesquisa a familiaridade com o problema pode ser mais bem entendida, tornando-o assim mais explícito. A pesquisa exploratória, considera os mais variados aspectos relativos ao fato, desta forma, seu planejamento, torna-se bastante flexível.

O método para a realização da pesquisa foi o experimental. Segundo KUMAR (2011), por meio desse tipo de delineamento se busca estudar relações causais nas quais intervenções em determinado fenômeno são provocadas pelo pesquisador, com o intuito de verificar, se a situação que ele assume tem relação direta com a mudança esperada no fenômeno estudado. Para GIL (2010, p. 32), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que o influenciam, definir os controles e observar os efeitos que as variáveis produzem no objetivo. O pesquisador é ativo nesse tipo de pesquisa.

A pesquisa experimental não necessariamente precisa ser desenvolvida em laboratório. Segundo GIL (2010, p. 32), a pesquisa pode ser desenvolvida em diversos ambientes, desde que possuam características de: manipulação, em que o pesquisador manipule pelo menos uma das características dos elementos estudados; controle, quando o pesquisador é levado a criar ao menos um controle para a realização do experimento; e ainda possuir uma distribuição aleatória, ou seja, os elementos designados para participar dos grupos experimentais e de controle devem ser escolhidos aleatoriamente.

1.6 BIBLIOMETRIA

O estudo de revisão da literatura foi realizado a partir da utilização de palavras chave para levantamento dos artigos referentes ao assunto que se pretende pesquisar. Foram consultadas base de dados nacionais e internacionais. As palavras chave utilizadas no estudo foram: *"toolpresetting"*, *"presetting"*, *"machining"* e *"cutting tools"*. Foram consultadas 11 bases de dados: *ProQuest*, *Elsevier (Science Direct)*, *Emerald (Web of Science)*, *Scopus*, *Scielo*, *Taylor&Francis*, *Springer*, *Wiley Library*, *Compendex*, *Capes* e *Exacta*. A partir das palavras chave, desenvolveu-se também suas cognatas e combinações diversas foram feitas para pesquisa nas bases de dados. A Tabela 1 demonstra todas as combinações pesquisadas.

Tabela 1 - Combinações de palavras chave e cognatas

Conjunto de palavras chave (inglês):
<i>"toolpresetting""presetting""machining"</i>
<i>"tool presetting""presetting""machining"</i>
<i>"toolpresetting""presetting""cutting tools"</i>
<i>"tool presetting""presetting""cutting tools"</i>
<i>"toolpresetter""presetting""machining"</i>
<i>"tool presetter""presetting""machining"</i>
<i>"toolpresetter""presetting""cutting tools"</i>
<i>"tool presetter""presetting""cutting tools"</i>
<i>"toolpresetting""presetter""machining"</i>
<i>"tool presetting""presetter""machining"</i>
<i>"toolpresetting""presetter""cutting tools"</i>
<i>"tool presetting""presetter""cutting tools"</i>
<i>"toolpresetter""presetter""machining"</i>
<i>"tool presetter""presetter""machining"</i>
<i>"toolpresetter""presetter""cutting tools"</i>
<i>"tool presetter""presetter""cutting tools"</i>

Fonte: Autor

As combinações mostradas na Tabela 1 foram utilizadas para realizar pesquisa nas 11 bases de dados apresentadas anteriormente. A Tabela 2 demonstra a combinação utilizada e a quantidade de artigos relacionados por base de dados.

Tabela 2 - Combinações utilizadas e número de artigos por base de dados

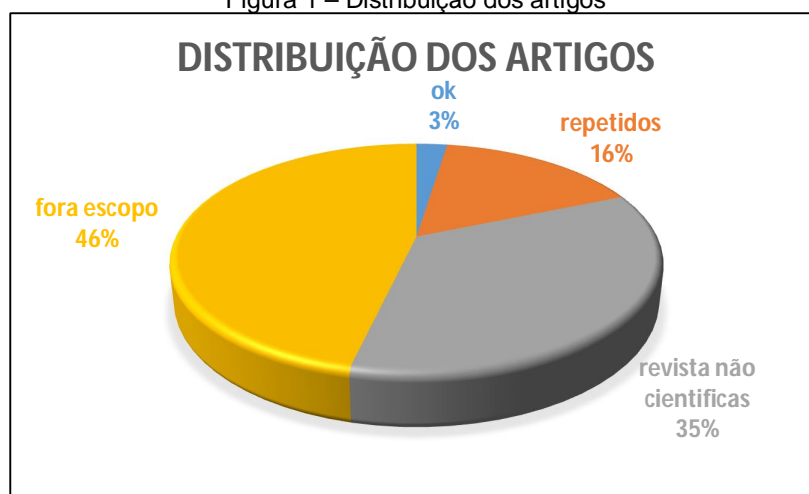
Conjunto de palavras chave:	Taylor & Francis	Scielo	Proquest	Emerald	Science Direct	Wiley	Springer	Scopus	Compendex	Exata	Capes
"toolpresetting""presetting""machining"	0	0	7	0	1	0	0	0	0	0	0
"tool presetting""presetting""machining"	0	0	92	0	89	0	48	17	14	5	5
"toolpresetting""presetting""cutting tools"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"tool presetting""presetting""cutting tools"	0	0	39	4	0	0	25	7	0	0	1
"toolpresetter""presetting""machining"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"tool presetter""presetting""machining"	0	0	24	0	3	0	11	0	0	0	0
"toolpresetter""presetting""cutting tools"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"tool presetter""presetting""cutting tools"	0	0	10	0	0	0	9	0	0	0	0
"toolpresetting""presetter""machining"	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
"tool presetting""presetter""machining"	0	0	29	0	1	0	8	0	0	0	0
"toolpresetting""presetter""cutting tools"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"tool presetting""presetter""cutting tools"	0	0	15	0	0	0	7	0	0	0	0
"toolpresetter""presetter""machining"	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
"tool presetter""presetter""machining"	0	0	70	0	8	0	21	0	0	0	3
"toolpresetter""presetter""cutting tools"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"tool presetter""presetter""cutting tools"	0	0	23	1	0	0	15	0	0	0	0
TOTAL	0	0	311	5	102	0	144	25	14	5	9

Fonte: Autor

Um total de 615 artigos foram identificados na pesquisa realizada nas bases de dados a partir da combinação das palavras chave e suas cognatas. Com a aplicação dos filtros de seleção foram descartadas 600 publicações. Os principais motivos desse elevado nível de descarte foram: a repetição de artigos; artigos publicados em revistas de cunho comercial (não científicas ou técnicas); e a falta de relação com o tema abordado na pesquisa, ou seja, os artigos não abordavam o tema de pré-ajustagem de ferramentas de corte em processos de usinagem. É importante ressaltar que a base de referências deste trabalho não foi composta apenas pelos 15 artigos selecionados, uma vez que estes restringem-se apenas a artigos publicados em periódicos indexados, o que não inclui revistas técnicas, catálogos e informações de fabricantes de equipamentos, artigos em congressos e teses e/ou dissertações.

O resultado das pesquisas realizadas nas bases de dados, pode ser observado na Figura 1 e mostra que do total de artigos obtidos, 3% eram artigos referentes ao assunto pesquisado, 16% eram artigos repetidos, 35% eram provenientes de revistas não científicas e 46% eram artigos fora do escopo principal da pesquisa.

Figura 1 – Distribuição dos artigos



Fonte: Autor

O periódico *“International Journal of Machine Tools & Manufacture”* encontrado na base de dados *Elsevier (Science Direct)* é o que possui o maior número de publicações relevantes.

Os autores que mais publicaram foram três, sendo que se observa o nome de cada um deles em 2 artigos diferentes. Os autores que, em conjunto, realizaram as duas publicações foram: Matthew J. Bono e Jeremy J. Kroll e o terceiro autor também com 2 publicações é Milton Vieira Junior. Os três autores somam um total de 4 publicações dos 15 artigos relevantes que foram analisados e fizeram parte desse presente estudo. A Tabela 3 ilustra os autores e os artigos publicados.

Tabela 3 – Autores e suas publicações

Autor	Artigo	Publicado	Ano
Milton Vieira Junior	Statement of losses caused by the presetting of tools by the manual method	Production and Operations Management Society - POMS (Scopus)	2011
	Influence of feed rate and spindle speed on referencing laser tool-setters	The Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (Springer)	2014
Matthew J. Bono, Jeremy J. Kroll	An uncertainty analysis of tool setting methods for a precision lathe with a B-axis rotary table	Precision Engineering (Elsevier)	2009
	Tool setting on a B-axis rotary table of a precision lathe	International Journal of Machine Tools & Manufacture (Elsevier)	2008

Fonte: Autor

No que se refere à natureza das pesquisas descritas, a grande maioria dos artigos apresentam testes experimentais quantitativos.

Numa conclusão inicial sobre o estudo bibliométrico realizado, verificou-se que o tema, apesar de ser importante para o contexto da manufatura enxuta e para a otimização do setup de máquinas, foi pouco explorado e ainda carece de mais publicações em periódicos indexados.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma:

- capítulo 1 – **Introdução**, com a contextualização do cenário em que o trabalho está inserido, a formulação do problema de pesquisa, a declaração dos objetivos e a apresentação das justificativas e da relevância do trabalho. Apresenta-se ainda a proposta metodológica do trabalho e o estudo bibliométrico realizado.
- capítulo 2 - **Revisão Bibliográfica** sobre os sistemas de pré-ajustagem de ferramentas existentes. Nesse capítulo são exploradas os benefícios e as vantagens que cada sistema de pré-ajustagem estudado apresenta.
- capítulo 3 - **Materiais e métodos** que descrevem a parte experimental realizada para alcançar os objetivos propostos de comparação entre tempos de pré-ajustagem e de qualidade dimensional das peças usinadas com ferramentas medidas por cada sistema de pré-ajustagem em estudo.
- capítulo 4 - **Resultados da experimentação realizada**, apresentando os indicadores previamente definidos para a análise comparativa entre os dois sistemas de pré-ajustagem em estudo e apresentado um quadro comparativo entre os sistemas estudados, visando cumprir a parte dos objetivos que se referem à análise teórica dos sistemas. A discussão dos resultados é feita neste capítulo.
- capítulo 5 – **Conclusões e sugestões de trabalhos futuros**, em que as análises finais dos resultados do trabalho são apresentadas e as sugestões para pesquisas futuras são feitas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

As perdas que ocorrem nos processos e nas operações de produção são originadas em: superprodução, estoques, processamento de materiais, transporte, defeitos, espera por lotes, movimentações desnecessárias e filas. O *setup* de equipamentos é caracterizado como uma operação que não agrega valor e que representa uma perda ao sistema produtivo (ANTUNES *et al.*, 2008).

A caracterização do tempo de *setup* é definida como o tempo decorrido na troca do processo de uma atividade para outra. A redução desses tempos pode ser realizada por meio de diferentes métodos, como reduzir ou eliminar a busca de ferramentas e/ou equipamentos e eliminar as tarefas que atrapalham as trocas dentro dos processos. Uma abordagem comum para redução dos tempos de *setup* é transformar as atividades executadas com a máquina parada em atividades que possam ser executadas com a máquina em movimento, ou seja, em operação (SHINGO, 2000). Três métodos principais para realizar essas operações podem ser considerados:

1. facilitar a carga e descarga das ferramentas que serão trocadas no processo;
2. transformar os processos de troca de ferramentas em uma operação simples e padronizada;
3. realizar todos os ajustes possíveis externamente a máquina de tal forma que a única operação com a máquina parada seja a de montagem do ferramental no equipamento de produção (SLACK, 2009).

A redução do tempo de *setup* é essencial para a implantação do sistema Lean de produção nas indústrias, e nesse contexto o SMED (Single Minute Exchange of Dies), metodologia criada por Shingo para a redução do *setup* que consiste em transformar atividades internas em externas, ganhou espaço dentro do ambiente industrial (ALMOMANI *et al.*, 2013), confundindo-se com o que atualmente se chama de troca rápida de ferramentas.

Aplicações da metodologia SMED em ambientes industriais para reduzir os tempos de *setup* e os desperdícios da produção mostraram que, em empresa de

injeção plástica, os tempos de setup reduziram em aproximadamente 40% (KARASU *et al*, 2014).

A metodologia do SMED também pode ser utilizada para reduzir os pequenos tempos de parada nas máquinas. Em um estudo de caso em uma empresa fabricante de barris de metal, foi utilizado o SMED e como resultado foi possível eliminar completamente as pequenas paradas (BENJAMIN *et al*, 2011).

2.1 PRÉ-AJUSTAGEM DE FERRAMENTAS

A pré-ajustagem de ferramentas em equipamentos CNC é muito importante para a melhoria da produtividade, pois os tempos de ciclo dos produtos são influenciados diretamente pelo *setup* e não agregam valor a eles (SIMON, 2002).

O desenvolvimento de um modelo para prever a incerteza associada a um processo de pré-ajustagem de ferramenta foi desenvolvido e os valores determinados experimentalmente para diferentes métodos considerados, são similares em aproximadamente 50% dos resultados apresentados. Estes resultados indicam que o método pode ser usado para aproximar a incerteza associada a um processo geral de definição de pré-ajustagem de ferramentas. Os autores demonstram que se o processo de fabricação for suficientemente bem entendido, então é possível prever até que ponto uma ferramenta pode ser ajustada ao longo do eixo de rotação (BONO; BROLL, 2009).

A redução do tempo de *setup* de máquinas CNC é uma ferramenta utilizada para aumento da produtividade e do tempo disponível do equipamento, além de objetivar a redução dos custos de produção. As máquinas CNC's precisam de informações sobre as características dimensionais das ferramentas de corte que serão utilizadas nos processos de usinagem para poderem corrigir sua trajetória. O *presetting* de ferramentas é a operação de pré-ajustagem em que se realiza a medição das suas características dimensionais. Essas medições podem ser realizadas de maneira manual ou automática, com equipamentos denominados *presettters* (VOLPATO; REBEYKA; COSTA, 2004).

Os equipamentos de *presetting* existem desde a década de 1940 em diversas formas, porém apenas nos anos 2000 começaram a ter mais visibilidade para o mercado. Esse aumento de popularidade se deve a necessidade de não se tolerar mais as operações de tentativas e erros no início das operações de fabricação (ARONSON, 2000).

2.2 PRÉ-AJUSTAGEM MANUAL DE FERRAMENTAS

A pré-ajustagem de ferramentas realizada de maneira manual pode ser realizada externa ou internamente aos processos de usinagem. A medição externa pode ocorrer com a máquina CNC em funcionamento, utilizando de instrumentos de metrologia para o dimensionamento e não é utilizada com frequência, devido ao seu baixo grau de precisão e de confiança nas medidas obtidas; já a medição interna, só pode ser realizada quando o equipamento não está em funcionamento para atendimento de produção (SHINGO, 2002).

A utilização da própria máquina CNC para medição do comprimento da ferramenta também é utilizada, encostando-se a aresta da ferramenta em uma superfície da peça ou da própria máquina, conforme a Figura 2 (REBEYKA *et al.*, 2005). A referência para a medição é normalmente o contato entre a aresta da ferramenta e uma folha de papel utilizada para aumentar a sensibilidade do operador. O processo no entanto, aumenta o tempo de setup, aumento o risco de colisão da aresta com a peça e depende excessivamente da habilidade do operador (CORRER, 2006).

Figura 2 - Medição manual na máquina



Fonte: REBEYKA *et al.*, 2005

A pré-ajustagem manual de ferramentas não contribui para a redução do tempo de setup no processo de usinagem em máquinas CNC (CORRER, 2006). A medição das ferramentas é realizada de forma aproximada e o operador da máquina realiza manualmente a introdução desses valores no CNC da máquina. Em geral, Uma usinagem experimental é realizada posteriormente, a peça é medida, e as diferenças observadas pelo operador são corrigidas novamente na máquina CNC e só então o processo é liberado para a produção (SIMON, 2002).

A utilização da pré-ajustagem manual em equipamentos CNC causa impactos significativos no aumento do tempo de setup e na redução do tempo de disponibilidade de máquina. A maioria dos usuários de máquinas CNC não possuem essa noção, muitas vezes por falta de conhecimento das tecnologias existentes para a pré-ajustagem automática de ferramentas ou ainda por falta de conhecimento dos benefícios que esses sistemas podem trazer (VIEIRA JUNIOR *et al*, 2011).

2.3 PRÉ-AJUSTAGEM DE FERRAMENTAS COM SISTEMAS ESPECÍFICOS

O tempo disponível para a fabricação de peças em máquinas CNC de uma empresa diminui consideravelmente quando se utiliza o método de pré-ajustagem manual de ferramentas. Em pesquisa realizada, de um total de 8.448 horas disponíveis de um equipamento, apenas 6.194 horas foram destinadas a produção de peças, as demais 2.253 horas foram perdidas com a pré-ajustagem manual das ferramentas. A taxa de utilização do equipamento foi de 73%, significando que mais de 25% do tempo disponível do equipamento, não foi utilizado e esteve parado para realização da pré-ajustagem manual (VIEIRA JUNIOR *et al*, 2011).

O conhecimento sobre as dimensões da ferramenta de corte é essencial para a qualidade do produto e os equipamentos de pré-ajustagem são fundamentais para determinar essa característica. Os equipamentos de pré-ajustagem são construídos e projetados para serem utilizados em conjunto com máquinas que possuem tecnologia CNC e podem variar desde sistemas simples que utilizam de medição por contato até sistemas complexos que além de medir o diâmetro e comprimento, analisam toda a superfície da ferramenta (ARONSON, 2000).

Os equipamentos de pré-ajustagem, comumente denominados sistemas de *presetting*, visam assegurar a confiabilidade das medições nas pré-ajustagens realizadas nas ferramentas de usinagem, e podem se apresentar de duas maneiras diferentes: os externos às operações de usinagem, denominados *presetters*, e os internos às operações de usinagem, denominados *toolsetters* (FARDIN *et al*, 2010). A Tabela 4, obtida a partir de pesquisa em catálogos técnicos e Internet, demonstra quais são os tipos de sistemas de pré-ajustagem encontrados no mercado nacional, assim como o modelo e o fabricante correspondente.

Tabela 4 – Sistemas de pré-ajustagem existentes no mercado

Fabricante / País de origem	<i>Toolsetter</i>			<i>Presetter</i>	
	Contato	Laser	Óptico	Contato	Óptico
Geotecnio / Brasil		x			
Marposs / Itália	x	x			
Elbo Controlli / Itália					x
Nikken Kosakusho / Japão					x
Parlec / EUA					x
Ezset / Alemanha					x
Accure Technologies/ Brasil	x				
Suzhou Easson / EUA				x	x
Blum / Alemanha	x	x			
Flexbar / EUA			x		
Fowler Trimos / EUA				x	x
M&H / EUA	x	x			
Zoller / Alemanha					x
Renishaw / Inglaterra	x	x			

Fonte: Autor

Os sistemas de pré-ajustagem, segundo ARONSON (2000), apresentam variadas características que devem ser consideradas:

- os sistemas de pré-ajustagem podem ser manuais ou automáticos. Os sistemas manuais possuem menor custo, porém os sistemas automáticos eliminam a probabilidade de erro do operador.
- a precisão dos sistemas de pré-ajustagem pode ser influenciada pelos movimentos dos eixos das máquinas CNC.

- c. os sistemas de pré-ajustagem podem ter colunas fixas ou móveis. Os sistemas com colunas móveis podem comportar ferramentas de maior diâmetro.
- d. para máquinas CNC de torneamento, os sistemas são horizontais e possuem maior custo.

2.4 SISTEMAS DE PRÉ-AJUSTAGEM EXTERNOS (*PRESETTERS*)

Os *presettters*, aparelhos externos às operações de usinagem, são equipamentos utilizados fora da máquina CNC, que possuem algum dispositivo (uma câmera, um transdutor ou um laser) que realiza a medição das ferramentas a serem utilizadas no processo de usinagem com precisão e maior rapidez, além de possibilitarem medições mais confiáveis. A ferramenta é montada no equipamento de medição e o dimensionamento é realizado considerando-se que as características de fixação dos *presettters*, tais como o porta ferramentas, assemelham-se à máquina CNC. A Figura 3 mostra um tipo de sistema de pré-ajustagem de ferramenta externo tipo *presetter* (VIEIRA JUNIOR *et al*, 2006).

Figura 3 - Tipo de *toolsetter* interno



Fonte: VIEIRA JUNIOR *et al.*, 2006

Os equipamentos denominados *presettters* podem ser manuais ou automáticos e utilizam o sistema de toque mecânico ou óptico para realizar a medição das ferramentas (CORRER, 2006).

O *presetter* externo pode ser um equipamento simples que utiliza um traçador de altura para medir o comprimento da ferramenta, montado no cone e encaixado no

dispositivo da mesa do equipamento de pré-ajustagem para medir a altura da ferramenta. Esse sistema destaca-se por ser de baixo custo, porém apresenta uma alta influência do operador, o que diminui a precisão do processo de medição. Outro equipamento de pré-ajustagem existente pode ser visto na Figura 4. Esse tipo de equipamento utiliza o contato da ponta do *presetter* com a face e lateral da ferramenta, realizando a medição do comprimento e raio. A ferramenta é fixada em uma base giratória que permite seu giro e consequentemente a verificação de todas as suas arestas. Esse sistema giratório permite que ferramentas com várias arestas, como fresas com múltiplos cortes e ferramentas com insertos intercambiáveis possam ser controladas (SILVA *et al*, 2017).

Figura 4 - Tipo de *presetter* por contato



Fonte: SILVA *et al.*, 2017

Os *presseters* externos podem ser utilizados para realizar a medição, o ajuste, a avaliação e em alguns equipamentos, a monitoração da vida da ferramenta. Alguns desses equipamentos, possuem mecanismos de interligação a sistemas de terceiros e ao gerenciamento e gestão centralizada de todos os dados e informações das ferramentas que são pré-ajustadas, permitindo assim a comunicação em rede e também disponibilizando informações para a produção do futuro, ou seja, estando alinhado com a Indústria 4.0 (ZOLLER, 2017).

Estudo de caso realizado em uma empresa fabricante de motores diesel, que possui 18 máquinas CNC, com aproximadamente 40 ferramentas de corte em cada uma, concluiu-se que, onde um equipamento de pré-ajustagem externa foi implementado, foi possível aumentar a produtividade em 30 minutos por equipamento. O fabricante de motores estima que conseguiu um aumento na sua eficiência de

produção de aproximadamente 20%, com uma precisão para corrigir o comprimento das ferramentas dentro ± 10 microns. Ainda com a tecnologia utilizada por esse fabricante foi possível eliminar o erro do operador ao realizar a pré-ajustagem, eliminar o fator humano e também a entrada de informações de dimensões da ferramenta manualmente, já que, a impressão da etiqueta com os dados de pré-ajustagem da ferramenta é realizada e em alguns casos, lida com escaner e outros por meio de um sistema automático, onde um dispositivo eletrônico é instalado na ferramenta e lido automaticamente pela máquina CNC (ZOLLER, 2017).

2.5 SISTEMAS DE PRÉ-AJUSTAGEM INTERNOS (*TOOLSETTERS*)

Os *toolsetters*, internos às operações de usinagem, são equipamentos utilizados dentro da máquina CNC, normalmente adaptados em sua mesa, e que podem ser utilizados durante o processo, inclusive. Além de realizar o dimensionamento da ferramenta a ser utilizada no processo de usinagem, ele também pode realizar a detecção de quebra de ferramentas, dentre outras funções mais específicas. O funcionamento do *toolsetter* consiste no uso de um feixe de laser ou com um apalpador que, quando a ferramenta é posicionada, realiza a medição das suas dimensões ou ainda pode detectar possíveis quebras, enviando uma mensagem a máquina CNC por meio de um receptor previamente instalado (VIEIRA JUNIOR *et al*, 2006). A figura 5 demonstra um equipamento *toolsetter* a laser.

Figura 5 - Tipo de *toolsetter* interno

Fonte: VIEIRA JUNIOR *et al.*, 2006

A utilização do equipamento *toolsetter* a laser proporciona resultados positivos na redução dos setups de ferramentas, pois realizam a medição rápida de seus comprimentos e/ou dos diâmetros. A utilização desse tipo de sistema de pré-ajustagem pode ajudar a reduzir a quantidade de peças não conforme especificação, pois os processos que os utilizam possuem maior repetitividade se comparados aos processos realizados com pré-ajustagem manual. Podem ainda, ajudar a reduzir os custos de operação, pois o tempo de máquina operando é maior que o tempo de máquina parada. A utilização desse sistema pode melhorar o controle do processo, monitorando indiretamente as possíveis alterações térmicas da máquina de usinagem, reduzindo erros manuais de pré-ajustagem. O sistema não possui contato ao medir a ferramenta e dessa maneira, não provoca desgaste nem danos nas ferramentas de corte. Pode detectar a quebra ou uma possível ferramenta incorreta ainda no fuso do equipamento. Sua utilização aumenta a segurança, pois permite que toda a operação de pré-ajustagem e controle dos dimensionais da ferramenta sejam feitos com a máquina de usinagem em funcionamento e sem a permissão de acesso do operador ao seu interior, além de diminuir as intervenções desse no processo (RENISHAW, 2006).

O monitoramento do estado das ferramentas em tempo real é importante pois permite melhorar a produtividade e qualidade da usinagem realizada na máquina CNC. Esse monitoramento permite tomadas de decisão com relação a medidas preventivas a quebra de ferramentas, evitando danos na máquina CNC e na peça usinada (KOIKE *et al.*, 2014).

Os sistemas de pré-ajustagem *toolsetter* podem monitorar o desgaste da ferramenta o que permite detectar possíveis danos, tais como quebra de aresta, evitando, por meio desse monitoramento, danos a máquina CNC ou a peça usinada, já que, quando o dano é detectado, um sinal é enviado imediatamente para a máquina parar. O sistema ainda detecta se há falta de ferramenta e/ou erro da ferramenta inserida no fuso da máquina CNC (SMITH, 2008).

A vida da ferramenta pode ser otimizada, ou seja, a troca é realizada apenas quando o desgaste realmente tenha ocorrido, reduzindo assim os custos com ferramenta. O tempo de máquina parada pode ser reduzido e as trocas podem ser planejadas e otimizadas (SMITH, 2008).

A utilização de um sistema de pré-ajustagem *toolsetter* permite aumentar disponibilidade de uma máquina CNC podendo chegar a 97% do tempo total considerado. Esse tempo quando comparado ao sistema de pré-ajustagem manual apresenta grande benefício, pois realizando o processo manual, a disponibilidade de máquina pode ser reduzida em 20%. Estudo de caso mostrou que essas diferenças apresentadas na disponibilidade dos equipamentos, também é observada no custo de pré-ajustagem e pode chegar a uma diferença de R\$ 35.000,00 em um ano, o que pode justificar os investimentos para aquisição desse tipo de sistema de pré-ajustagem (COSTA, 2014).

Os sistemas de pré-ajustagem *toolsetters* de contato são utilizados para determinar as geometrias das ferramentas de corte, ou seja, verificam suas dimensões como, comprimentos e/ou diâmetros. Também podem verificar as arestas de corte individuais e podem detectar possíveis quebras, a Figura 6 demonstra um *toolsetter* de contato.

Figura 6 - *Toolsetter* por contato

Fonte: Hexagon. Adaptado de https://www.hexagonmi.com/~media/Hexagon%20MI%20Legacy/hxmh/mh/general/brochures/mh_3DFI_Product_Brochure_en.ashx

Esse tipo de sistema de pré-ajustagem permite a medição e detecção de quebras também em ferramentas estacionárias, sistema representado na Figura 7, além de possuir, os mais modernos, sistemas de transmissão de dados sem fio e fixação magnética, o que permite maior utilização da área útil da máquina de usinagem CNC (HEXAGON, 2015).

Figura 7 - *Toolsetter* ferramentas estacionárias

Fonte: Hexagon. Adaptado de https://www.hexagonmi.com/~media/Hexagon%20MI%20Legacy/hxmh/mh/general/brochures/mh_3DFI_Product_Brochure_en.ashx

A partir da revisão da literatura, foi possível elaborar a Tabela 5 para identificar e apresentar de forma resumida a abordagem de cada um dos autores estudados durante a revisão bibliográfica.

Tabela 5 – Resumo Autor X Pesquisa

ITEM	AUTORES														
	ANTUNES	SHINGO	SLACK	ALMOMANI	KARASU	BENJAMIN	BONO / BROLL	VOLPATO et al	ARONSON	REYBEKA	CORRER	SIMON	VIEIRA JUNIOR	FARDIN	SILVA
Influência no tempo de <i>setup</i>	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x
Redução da incerteza de medição							x		x				x	x	
Informações das medidas das ferramentas		x						x	x		x		x	x	
Parada de máquina para <i>setup</i> (disponibilidade)	x	x	x	x	x			x		x	x	x	x		
Risco de colisão								x		x	x		x		
Aumento de Produtividade	x	x	x			x				x	x	x	x		x
Importância da pré-ajustagem de ferramentas		x					x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sistemas de pré-ajustagem de ferramentas								x	x	x	x	x	x	x	x
Aumento da Qualidade									x		x	x	x		x
Influência dos eixos das máquinas CNC na pré-ajustagem								x	x	x	x		x		

Fonte: Autor

Nota-se que a abordagem mais explorada foi a da **influência que os sistemas de pré-ajustagem têm sobre o tempo de setup** de máquinas. Isso corrobora com a abordagem do **aumento da produtividade** (que foi a terceira mais citada) e com a abordagem da **importância da pré-ajustagem para os resultados dos processos** (a segunda mais citada), seja no que se refere à produtividade, seja no que tange à qualidade das peças usinadas. Juntamente com a abordagem do **aumento da qualidade** (a quinta mais citada), está posto que qualidade e produtividade são os principais objetos de melhoria que os sistemas de pré-ajustagem podem oferecer, e são esses pontos os que foram estudados por esta pesquisa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os procedimentos metodológicos adotados para a presente pesquisa.

Partindo-se da revisão teórica feita no capítulo anterior, antes de se pensar na parte experimental, foi elaborado um quadro de análise comparativa entre os benefícios que os sistemas de pré-ajustagem em questão apresentam. Nesse quadro (Tabela 7), que será apresentado na parte de resultados deste trabalho, os aspectos relacionados às questões de qualidade e de produtividade foram destacados.

3.1 EXPERIMENTAÇÃO

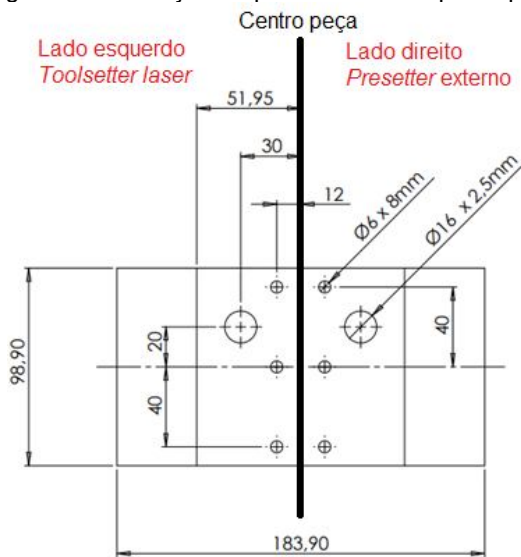
Após verificar teoricamente as similaridades e/ou diferenças nos benefícios proporcionados pelo uso dos diferentes tipos de sistemas de pré-ajustagem (*toolsetters* e *presetters*), foram realizados experimentos, de forma alternada, para avaliar como os sistemas de pré-ajustagem influenciam nas questões de qualidade e de produtividade; ou seja, foram realizadas pré-ajustagens com o sistema de *toolsetter laser* interno ao equipamento de usinagem e pré-ajustagens com o sistema de *presetter* externo ao equipamento de usinagem. A forma de análise foi realizada conforme o tipo de pré-ajustagem realizado na ferramenta de corte antes da operação de usinagem.

Os experimentos foram realizados em um ambiente fabril por meio de ensaios de usinagem, coletando amostras usinadas e anteriormente pré-ajustadas por diferentes tipos de sistemas de pré-ajustagem. As peças foram usinadas com ferramentas pré-ajustadas utilizando o sistema interno de *toolsetter laser* e, posteriormente, com ferramentas pré-ajustadas utilizando o sistema externo de *presetter*. Para a questão qualidade, os dados observados foram as variações dimensionais das peças usinadas em cada um dos experimentos realizados. Para a questão produtividade, os dados observados foram todos os tempos de preparação das ferramentas, incluindo: os tempos de ajuste de ferramentas nos *setups* dos equipamentos, os tempos de troca das ferramentas, os tempos de ajustes necessários, e outros tempos que porventura venham a ocorrer durante as operações de pré-ajustagem.

Os primeiros experimentos realizados foram considerados pré-teste. O corpo de prova utilizado para realização dos ensaios possuía as mesmas características mostradas na Figura 8. Dessa forma, o lado esquerdo foi usinado com ferramentas pré-ajustadas com o *toolsetter laser* e o lado direito foi usinado com ferramentas pré-ajustadas com o *pressetter* externo. A fixação da peça foi realizada em uma morsa e o programa CNC conforme Apêndice 1. As usinagens realizadas foram:

- fresamento de face com fresa de $\varnothing 63,0$ mm, com profundidade de 2,0 mm e comprimento de 51,95 mm.
- furação com broca de $\varnothing 6,0$ mm por uma profundidade de 8,0 mm, sendo realizada 3 vezes.
- interpolação com fresa de topo de $\varnothing 10,0$ mm, objetivando um diâmetro final de $\varnothing 16,0$ mm e profundidade de 2,5 mm. Posteriormente o diâmetro final foi alterado para $\varnothing 14,0$ mm devido ao programa de interpolação.

Figura 8 – Ilustração esquemática do corpo de prova



Fonte: Autor

Após a realização do pré-teste na condição apresentada, foi possível concluir que a fixação utilizada não foi adequada e a peça/amostra se deslocou durante o processo de usinagem, influenciando nos resultados dimensionais. A conclusão gerou ações de melhorias para a realização do experimento, como a alteração da maneira

de fixar a peça, eliminando a morsa e fixando diretamente na mesa da máquina, além de mudanças nas usinagens realizadas.

O experimento definitivo foi realizado utilizando um corpo de prova retangular de aço SAE 1020, com medidas de 230,20 mm (comprimento) X 150,00 mm (largura) X 22,25 mm (espessura). O detalhamento de cada operação realizada na amostra será discutido com mais detalhes nesse capítulo.

A máquina foi um Centro de Usinagem CNC ROMI modelo Discovery 560 e os aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas foram um *toolsetter* interno laser modelo TSG 130 Geotecno e um *pressester* externo *ZOLLER Phoenix* 450. As ferramentas utilizadas foram uma fresa Ø 63,0 mm com 6 cortes e pastilhas de metal duro intercambiáveis, uma broca de Ø 6,0 mm de aço rápido, uma fresa de Ø 10,0 mm de metal duro inteiriça 2 cortes e uma fresa de Ø 20,0 mm com 2 cortes e pastilhas intercambiáveis de metal duro. As usinagens realizadas estão apresentadas na Tabela 6 e foram as seguintes:

1. **fresa Ø 63,0 mm:** usinagem de canal fresado com dimensão de distância com relação ao centro da peça de 47,0 mm e profundidade de 2,0 mm.
2. **fresa Ø 20,0 mm:** usinagem de canal fresado com dimensão de distância com relação ao centro da peça de 20,0 mm e profundidade de 2,0 mm.
3. **fresa Ø 10,0 mm:** usinagem de diâmetro de 14,0 mm realizado através de interpolação e profundidade de 2,5 mm.
4. **broca Ø 6,0 mm:** usinagem de furo com profundidade de 8,0 mm.

Tabela 6 – Esquema do processo de usinagem

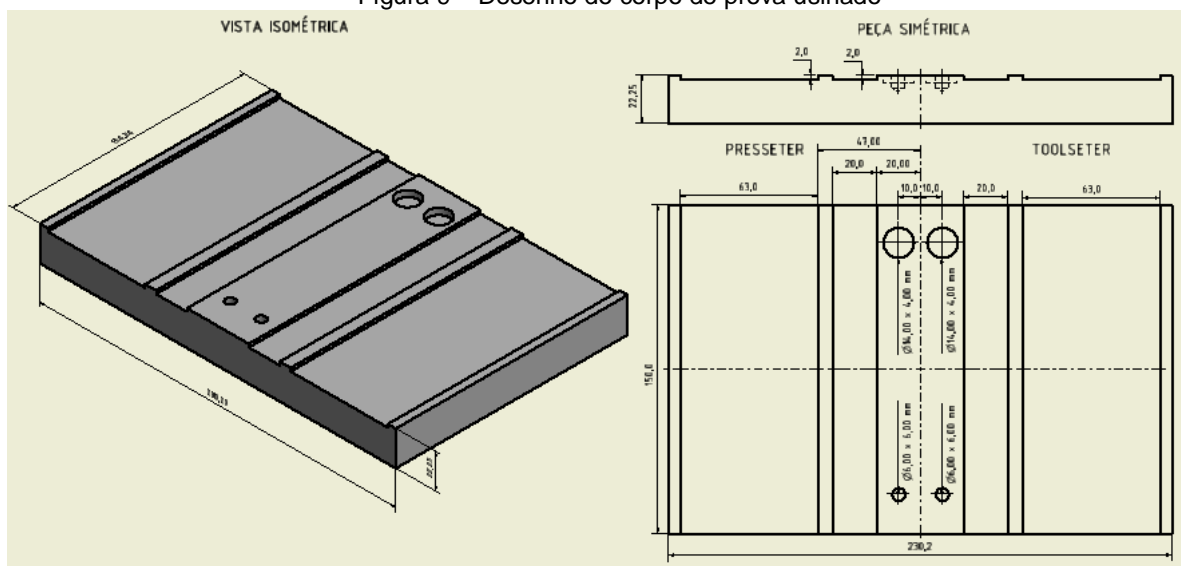
Ferramenta (mm)	Ilustração	Usinagem	Representação	Especificações
Fresa Ø 63,0 pastilhas intercambiáveis 6 cortes		Canal fresado		Distância do centro: 47,0 mm Profundidade: 2,0 mm
Fresa Ø 20,0 pastilhas intercambiáveis 2 cortes		Canal fresado		Distância do centro: 20,0 mm Profundidade: 2,0 mm
Fresa Ø 10,0 2 cortes		Interpolação		Diâmetro do furo: Ø 14,0 mm Profundidade: 2,5 mm
Broca Ø 6,0 aço rápido		Furo		Profundidade: 8,0 mm

Fonte: Autor

As usinagens apresentadas foram pré-estabelecidas em programa CNC (apêndice 2) e as dimensões objetivos do experimento estão apresentadas na Figura 9. A amostra foi dividida simetricamente e o lado esquerdo da peça foi usinado utilizando com ferramentas pré-ajustadas com o sistema *presetter* e o lado direito da peça foi usinado utilizando ferramentas pré-ajustadas com o sistema *toolsetter*.

As ferramentas foram dimensionadas nos dois tipos de aparelhos de pré-ajustagem e as comparações relacionadas à qualidade do produto (dimensional) foram analisadas. O tempo de pré-ajustagem das ferramentas também foi considerado no estudo.

Figura 9 – Desenho do corpo de prova usinado



Fonte: Autor

3.2 COLETA DE DADOS

Os experimentos realizados visavam verificar as similaridades e/ou diferenças nos benefícios proporcionados pelo uso dos diferentes tipos de sistemas de pré-ajustagem (*toolsetters* e *presetters*) e para isso foram comparados os tempos de fabricação de peças usinadas com ferramentas pré-ajustadas com os sistemas *toolsetters* internos e *presetters* externos. Além do tempo de fabricação, foram comparadas as variações dimensionais e consequentemente a qualidade das peças usinadas, resultado dos experimentos.

Os tempos foram coletados durante as atividades de:

- medição das ferramentas (“*in board*” e “*off board*”). No caso do *presetter*, foi medido todo o tempo necessário para realizar a medição das ferramentas: transporte das ferramentas até o equipamento; medição de cada ferramenta; transporte das ferramentas de volta para a máquina. No caso do *toolsetter*, foi medido o tempo de cada ciclo de medição realizado na máquina.

- carga das ferramentas na máquina.

Para a coleta dos tempos foi utilizado um cronômetro comum de cronoanálise.

3.3 EXPERIMENTOS REALIZADOS

Usinagem de peças com ferramentas medidas com cada sistema de pré-ajustagem: externo (*presetter*) e automático interno (*toolsetter laser*). Operações de fresamento e furação foram realizadas num centro de usinagem, a partir de uma amostra, e os ensaios deveriam ser suficientes para produzir as informações necessárias para realizar a comparação entre os dois sistemas.

Para realização do ensaio, um aparelho de *presetter* existente em uma sala de pré-ajustagem de ferramentas da empresa X, foi utilizado para a montagem e o tempo de fabricação de peças usinadas foi medido desde a preparação das ferramentas até a sua usinagem final no equipamento e conferência das dimensões especificadas para o produto final.

A realização dos processos deveria permitir a comparação dos tempos de fabricação de peças usinadas para os dois diferentes tipos de pré-ajustagem de ferramentas estudados.

Para a verificação das variações dimensionais: peças usinadas com ferramentas medidas com a pré-ajustagem automática interno, realizada com aparelho *toolsetter laser*, permitiram comparar as variações dimensionais de peças usinadas com ferramentas ajustadas com o sistema de pré-ajustagem automático externo, realizado com aparelho *presetter*.

3.4 PREPARAÇÃO DA MÁQUINA DE USINAGEM E EQUIPAMENTOS

A máquina e os equipamentos utilizados para a realização dos testes e medição das amostras foram: 1 Centro de Usinagem CNC *Discovery 560* da marca Romi, 1 *toolsetter laser* da marca GeoTecno, 1 *presetter* da marca Zoller, 1 calibrador de altura da marca Mitutoyo, 1 relógio comparador milesimal da marca Mitutoyo e 1 Máquina de Medir por Coordenadas da marca Mitutoyo. Os detalhes e especificações técnicas de cada uma das máquinas e equipamentos utilizados estão descritos a seguir:

1. Centro de Usinagem:

- Fabricante: Romi
- Modelo: *Discovery* 560
- Comando: Fanuc
- Ano de fabricação: 2006

2. Máquina de Medir por Coordenadas:

- Fabricante: *Mitutoyo*
- Modelo: Beyond 916
- Software: Geopak
- Ano de Fabricação: 2002

3. Calibrador de altura:

- Fabricante: Mitutoyo
- Modelo: LH-600 C

4. Paquímetro digital:

- Fabricante: Mitutoyo
- Modelo: digital

5. Relógio comparador:

- Fabricante: Mitutoyo
- Modelo: comparador milesimal

6. Toolsetter laser:

- Fabricante: GeoTecno
- Modelo: TGS 130

7. Presetter externo:

- Fabricante: *Zoller*
- Modelo: *Phoenix* 450

A utilização das máquinas e equipamentos apresentados foi realizada na empresa GeoTecno, localizada na cidade de Santa Bárbara D'Oeste. A realização dos experimentos no centro de usinagem Romi *Discovery* 560, foi executada seguindo os procedimentos:

- ✓ posicionar a peça/amostra na mesa da máquina CNC.
- ✓ medir a planicidade da peça/amostra, utilizando relógio comparador milesimal, fixado ao fuso da máquina através de base com imã.
- ✓ ajustar planicidade da peça/amostra, utilizando calço para aproximar a dimensão a zero (máximo encontrado 0,005mm).
- ✓ alinhar face e lateral da peça/amostra, utilizando relógio comparador milesimal, fixado ao fuso da máquina através de base com imã.
- ✓ ajustar zeramento da face e da lateral da peça/amostra (máximo encontrado 0,005mm).
- ✓ fixar a peça na mesa da máquina CNC, utilizando três grampos com parafusos e porcas.
- ✓ conferir os zeramentos realizados anteriormente.
- ✓ realizar zeramento pelo centro da peça na máquina para que se possa encontrar o “zero peça” (eixos X e Y).
- ✓ realizar zeramento da peça na máquina para que se possa encontrar o “zero peça” (eixos Z).
- ✓ elaborar programa CNC para usinagem.
- ✓ aquecer a máquina CNC durante 30 minutos.
- ✓ carregar as ferramentas de usinagem.
- ✓ digitar o presset das ferramentas, quando utilizado o método de pré-ajustagem externo (*pressetter*) de ferramentas.
- ✓ usinar a peça/amostra.
- ✓ realizar o procedimento de pré-ajustagem interna (*toolsetter*) na máquina.
- ✓ usinar a peça/amostra.
- ✓ retirar a peça/amostra da máquina CNC.
- ✓ realizar a medição das usinagens realizadas.
- ✓ comparar os resultados entre o objetivo do programa CNC e o final encontrado na usinagem.

4. RESULTADOS DA EXPERIMENTAÇÃO REALIZADA

A partir da revisão da literatura, aliada à experiência de especialistas que foram consultados, foi possível identificar os benefícios, as similaridades e as diferenças decorrentes do uso dos sistemas de pré-ajustagem de ferramentas *presettters* (pré-ajustagem interna) e *toolsetters* (pré-ajustagem externa), expostos em uma comparação na Tabela 7.

Tabela 7 – Análise comparativa dos sistemas de pré-ajustagem

Item	Toolsetter	Presetter
Disponibilidade da máq. CNC em caso de Manutenção	↓ disponibilidade 😞	não aplicável 😊
Instalação do equipamento	"In board" 😞	Flexível 😊
Aferição sistema	"In board" 😊	"Off board" 😐
Operação/manuseio do sistema	Operador 😊	Especializada 😞
Tempo de ciclo	Influencia 😞	Não influencia 😊
Detecta desgaste "in process"	Sim 😊	Não 😞
Detecta dimensões "in process"	Sim 😊	Não 😞
Uso em outras M.F.	Não 😞	Sim 😊
Interação com CNC	Sim 😊	Não 😞
Erros inserção de dados (digitação)	Não 😊	Sim 😞
Deslocamento (pessoas) para pré-ajustagem	Não 😊	Sim 😞
Erros de operação (desvios relação ao pgm CNC)	?	?
Ganhos (Produtividade/Qualidade/Custos)	?	?
Legenda		
😞 Maior impacto / desvantagem		
😊 Menor impacto / vantagem		
😐 Sem impacto / sem influencia		

Fonte: Autor

A disponibilidade da máquina CNC de usinagem pode ser afetada pelo tempo necessário para a manutenção dos equipamentos de pré-ajustagem do tipo *toolsetter*, já que o equipamento é instalado dentro da máquina CNC e essa necessariamente não deve estar em operação para que se possa realizar qualquer tipo de intervenção no sistema de pré-ajustagem. O sistema de pré-ajustagem *presetter*, por ser um sistema independente da máquina CNC, caso venha a necessitar de manutenção, não vai influenciar em sua disponibilidade, caracterizando uma vantagem com relação ao sistema interno *toolsetter*.

A instalação dos sistemas de pré-ajustagem também foi estudada e o *presseter* possui vantagem com relação ao *toolsetter* para essa característica. O equipamento de pré-ajustagem externo possui uma alta flexibilidade de instalação. Esse tipo de equipamento pode ser instalado ao lado da máquina CNC, em salas específicas de pré-ajustagem de ferramentas ou em local mais apropriado definido pelo usuário, além disso, apenas um equipamento pode ser disponibilizado para atender um número grande de máquinas CNC. O sistema de pré-ajustagem *toolsetter* deve ser instalado necessariamente um em cada máquina CNC, aumentando os custos e apresentando assim, uma desvantagem em relação ao *presetter*.

A aferição do sistema para o equipamento *toolsetter*, é realizada durante o processo na máquina CNC, portanto, caso exista qualquer tipo de desvio, esse erro pode ser absorvido e compensado durante a referência do sistema. O sistema *presetter* realiza a aferição independente do processo de usinagem e não é possível a compensação de erros.

A operação requer operador especializado com treinamento específico para manusear o sistema de pré-ajustagem *presseter*. O sistema *toolsetter*, utiliza a mesma mão-de-obra que realiza a operação da máquina CNC, tornando-se uma vantagem com relação ao sistema externo, pois além de demandar menor quantidade de pessoas, não necessita de treinamento específico de operação para manuseio do equipamento.

Sobre o tempo de ciclo, o sistema *toolsetter* tem influência direta pois o tempo das medições realizadas para o setup da máquina deve ser contabilizado e considerado, o que não ocorre quando do uso de *presetters*.

Os *toolsetters* permitem a medição “*in process*” das ferramentas, o que permite controlar o desgaste destas ao longo do processo. Já os *presetters* permitem o controle do desgaste das ferramentas, mas apenas com a interrupção do processo e a retirada da ferramenta da máquina.

Por serem equipamentos instalados na mesa da máquina (“*in board*”), os *toolsetters* não permitem o uso para atender a mais de uma máquina, o que não ocorre com os *presetters* (o equipamento é “*off board*” e atende a mais de uma máquina para a medição “*off process*” das ferramentas).

Entretanto, justamente por ser um equipamento “*off board*”, os *presetters* não apresentam, em geral, interação com o CNC das máquinas. Uma exceção é quando

o equipamento do tipo *presetter* tem uma saída de comunicação para os CNCs das máquinas e faz o envio dos valores medidos diretamente, numa comunicação de via única. Já os *toolsetters*, por estarem instalados e dedicados a cada máquina, interagem diretamente com o CNC, não apenas enviando medidas iniciais das ferramentas, mas possibilitando até comparações de medidas ao longo do uso das ferramentas. Outras funções ainda podem ser adicionadas, como a verificação do uso da ferramenta correta utilizando ciclos de programação CNC interagindo com o *toolsetter*.

O envio automático das informações sobre as medidas das ferramentas evita que erros de digitação das medidas ocorram em função da desatenção de operadores ou mesmo por inabilidade. Essa é uma característica dos *toolsetters*, mas que também pode estar presente nos *presetters* quando estes têm comunicação com o CNC.

Os equipamentos *presetters* demandam que pessoas se desloquem com as ferramentas para realizar as medições, pois esses equipamentos ficam, em geral, localizados numa sala de montagem de ferramentas que, nem sempre, está próxima da máquina. Esse deslocamento acrescenta tempo ao setup da máquina quando não há uma preparação prévia das ferramentas, ou quando se quer fazer alguma medição para controle de desgaste e vida das ferramentas. Isso já não ocorre quando se usa o *toolsetter*, pois este está instalado no interior da máquina, evitando a necessidade de deslocamentos.

No que se refere aos desvios na usinagem e aos ganhos de qualidade e de tempos, entende-se que a parte experimental deste trabalho irá trazer as devidas respostas.

De forma resumida, e a partir da revisão teórica e análise do autor, pode-se então destacar sobre os dois tipos de sistemas de pré-ajustagem:

- Vantagens (dos dois sistemas):

1. redução dos tempos de setup
2. redução de erros na regulação de ferramentas
3. redução dos lotes de fabricação
4. aumento da disponibilidade de equipamentos

- Comparativo (entre os dois sistemas que são objeto deste trabalho):

Presetters:

1. flexibilidade de local de instalação, pois não fica fixo na máquina;
2. manutenção do equipamento não tem influência na disponibilidade da máquina CNC;
3. a aferição do sistema pode ser realizada sem interferir nos tempos de processo e ou operação;
4. possibilita a ocorrência de erros na digitação dos valores medidos das ferramentas no CNC;
5. exige mão de obra especializada para instalar, realizar manutenção e operar o equipamento;
6. não influencia no tempo de ciclo da usinagem da peça, porém influencia no tempo de setup, pois é preciso haver um deslocamento entre a máquina e o equipamento, com a(s) ferramenta(s) para ser feita a medição;
7. não detecta desgaste e consequente fim de vida da ferramenta;
8. necessário pré estabelecer vida (min, horas, peças, etc.) de ferramentas para serem registradas na máquina CNC;
9. não possibilita controle “*in process*” (correções automáticas de programa);
10. também realiza a pré-ajustagem de ferramentas estacionárias (ex. ferramentas para tornos);
11. não possui nenhuma interação com a máquina CNC de usinagem, em geral (pode haver uma comunicação para o envio de informações das medidas das ferramentas para a máquina, mas isso é pouco usual).

Toolsetters:

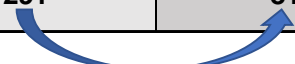
1. permite o controle “*in process*” (automático e instantâneo) das medidas e das condições das ferramentas, além de poder ser uma referência para compensação de dilatações da máquina que provocam a chamada “*deriva térmica*”;
2. deve ser instalado em um local pré determinado, dentro da máquina de usinagem;
3. a manutenção do equipamento influencia diretamente na disponibilidade do equipamento, pois qualquer necessidade de ajustes e/ou consertos devem ocorrer com a máquina parada;
4. a aferição do equipamento pode interferir nos tempos de processo ou operação;

5. realiza a ajustagem da ferramenta automaticamente, evitando erros operacionais como a digitação de valores errados;
6. o próprio operador da máquina CNC opera o *toolsetter*;
7. mão de obra especializada é requerida apenas para instalar e realizar manutenção do equipamento;
8. influencia no tempo de ciclo da peça, pois exige trajetória e programa CNC específico para as medições das ferramentas;
9. possibilita a detecção do desgaste e o consequente controle da vida de ferramentas;
10. não é necessário pré estabelecer tempo de vida de ferramenta de corte, uma vez que é possível medir o desgaste das ferramentas durante o processo;
11. não realiza a pré ajustagem de ferramentas estacionárias;
12. possui total interação com o equipamento de usinagem.

Os tempos de pré-ajustagem de ferramentas e os tempos envolvidos no processo de usinagem das amostras foi separado e cada uma das ferramentas utilizadas foi estudada independentemente.

O processo preparatório para a usinagem do canal fresado com a fresa Ø 63,0 mm foi cronometrado e para a pré-ajustagem realizada com o *presetter*, o tempo de carregamento das ferramentas na máquina foi de 34 segundos, o tempo de digitação dos valores de pré-ajustagem (diâmetro e comprimento) foi de 20 segundos, o tempo de pré-ajustagem no equipamento *Zoller* foi de 57 segundos e o tempo de deslocamento do operador para levar a ferramenta da máquina CNC até a sala de pré-ajustagem foi de 180 segundos, o tempo total envolvido nessa operação foi de 291 segundos. Os tempos para o processo realizado com o *toolsetter*, foram de 34 segundos para o carregamento das ferramentas na máquina CNC, 47 segundos para pré-ajustagem no equipamento TGS-130, totalizando 81 segundos para a operação, ou seja, um tempo 3,6 vezes menor. A Tabela 8 demonstra os valores obtidos na preparação do conjunto.


Tabela 8 – Tempos envolvidos nas operações da fresa Ø 63,0 mm

Fresa Ø 63,0 mm		
Operação	Tempo <i>Presetter</i> (segundos)	Tempo <i>Toolsetter Laser</i> (segundos)
Carregar ferramenta na máquina	34	34
Tempo de digitação de valores de pré-ajustagem na máquina	20	0
Tempo de pré-ajustagem	57	47
Deslocamento do operador para realizar pré-ajustagem	180	0
TOTAL	291	81
Proporção da redução	 - 3,6 vezes	

Fonte: Autor

A usinagem do canal fresado com a ferramenta Ø 20,0 mm foi cronometrada e os tempos para a pré-ajustagem com o *presetter* foram 22 segundos para o carregamento das ferramentas na máquina CNC, 19 segundos para o operador digitar os valores de pré-ajustagem obtidos no equipamento Zoller, 67 segundos para realizar a pré-ajustagem nesse mesmo equipamento e 180 segundos de tempo de deslocamento do operador para transportar a ferramenta até o local onde o *presetter* está instalado, totalizando 288 segundos. O processo realizado com o *toolsetter* necessitou de 22 segundos para o carregamento da ferramenta e 47 segundos para que o equipamento TGS-130 fizesse a pré-ajustagem da ferramenta, totalizando 69 segundos, representando um tempo 4,1 vezes menor que o processo realizado com o *presetter*. A Tabela 9 apresenta os dados de tempo e operação para cada um dos sistemas de pré-ajustagem.


Tabela 9 – Tempos envolvidos nas operações da fresa Ø 20,0 mm

Fresa Ø 20,0 mm		
Operação	Tempo <i>Presetter</i> (segundos)	Tempo <i>Toolsetter</i> <i>Laser</i> (segundos)
Carregar ferramenta na máquina	22	22
Tempo de digitação de valores de pré-ajustagem na máquina	19	0
Tempo de pré-ajustagem	67	47
Deslocamento do operador para realizar pré-ajustagem	180	0
TOTAL	288	69
Proporção da redução	 - 4,1 vezes	

Fonte: Autor

O processo preparatório para a usinagem do diâmetro interpolado a fresa Ø 10,0 mm foi cronometrado e para a pré-ajustagem realizada com o *presetter*, o tempo de carregamento das ferramentas na máquina foi de 25 segundos, o tempo de digitação dos valores de pré-ajustagem (diâmetro e comprimento) foi de 18 segundos, o tempo de pré-ajustagem no equipamento *Zoller* foi de 55 segundos e o tempo de deslocamento do operador para levar a ferramenta da máquina CNC até a sala de pré-ajustagem foi de 180 segundos, o tempo total envolvido nessa operação foi de 278 segundos. Os tempos para o processo realizado com o *toolsetter*, foram de 25 segundos para o carregamento das ferramentas na máquina CNC, 47 segundos para pré-ajustagem no equipamento TGS-130, totalizando 72 segundos para a operação, um tempo 3,8 vezes menor que o obtido utilizando o processo com *presetter*. A Tabela 10 demonstra os valores obtidos na preparação do conjunto.


Tabela 10 – Tempos envolvidos nas operações da fresa Ø 10,0 mm

Fresa Ø 10,0 mm		
Operação	Tempo <i>Presetter</i> (segundos)	Tempo <i>Toolsetter Laser</i> (segundos)
Carregar ferramenta na máquina	25	25
Tempo de digitação de valores de pré-ajustagem na máquina	18	0
Tempo de pré-ajustagem	55	47
Deslocamento do operador para realizar pré-ajustagem	180	0
TOTAL	278	72
Proporção da redução	 - 3,8 vezes	

Fonte: Autor

A usinagem do furo Ø 6,0 mm foi cronometrada e os tempos para a pré-ajustagem com o *presetter* foram 21 segundos para o carregamento das ferramentas na máquina CNC, 16 segundos para o operador digitar os valores de pré-ajustagem obtidos no equipamento *Zoller*, 37 segundos para realizar a pré-ajustagem nesse mesmo equipamento e 180 segundos de tempo de deslocamento do operador para transportar a ferramenta até o local onde o *presetter* está instalado, totalizando 254 segundos. O processo realizado com o *toolsetter* necessitou de 21 segundos para o carregamento da ferramenta e 47 segundos para que o equipamento TGS-130 fizesse a pré-ajustagem da ferramenta, totalizando 68 segundos, um tempo 3,7 vezes menor que o processo realizado com o sistema de pré-ajustagem externo. A Tabela 11 apresenta os dados de tempo e operação para cada um dos sistemas de pré-ajustagem.

Tabela 11 – Tempos envolvidos nas operações da broca Ø 6,0 mm

Broca Ø 6,0 mm		
Operação	Tempo <i>Presetter</i> (segundos)	Tempo <i>Toolsetter</i> <i>Laser</i> (segundos)
Carregar ferramenta na máquina	21	21
Tempo de digitação de valores de pré-ajustagem na máquina	16	0
Tempo de pré-ajustagem	37	47
Deslocamento do operador para realizar pré-ajustagem	180	0
TOTAL	254	68
Proporção da redução	 - 3,7 vezes	

Fonte: Autor

O processo realizado com o *toolsetter* possui uma particularidade, no início da operação e uma vez ao dia, o sistema TGS-130 deve referenciar um padrão na máquina CNC. Esse procedimento garante que as dimensões que serão pré-ajustadas estejam corretas. Os tempos dessa referência foram cronometrados e para realizar o carregamento na máquina, foi necessário 26 segundos e para a pré-ajustagem 36 segundos, totalizando 62 segundos. A Tabela 12 apresenta os tempos e as operações realizadas para a referência do padrão.


Tabela 12 – Tempos envolvidos nas operações de referência

Padrão de referência		
Operação	Tempo <i>Presetter</i> (segundos)	Tempo <i>Toolsetter</i> <i>Laser</i> (segundos)
Carregar ferramenta na máquina	0	26
Tempo de digitação de valores de pré-ajustagem na máquina	0	0
Tempo de pré-ajustagem	0	36
Deslocamento do operador para realizar pré-ajustagem	0	0
TOTAL	0	62

Fonte: Autor

Os tempos totais envolvidos nas operações de pré-ajustagem nos sistemas de *presetter* e *toolsetter* estão apresentados na Tabela 13. A soma de todos os tempos para realizar a operação com o sistema *presetter* é de 18,5 minutos (1111 segundos) e para o *toolsetter* é de 5,8 minutos (352 segundos).

Tabela 13 – Tempos totais

Tempos Totais de Pré-ajustagem		
Ferramenta	Tempo <i>Presetter</i> (segundos)	Tempo <i>Toolsetter</i> <i>Laser</i> (segundos)
Fresa Ø 10,0	278	72
Fresa Ø 20,0	288	69
Fresa Ø 63,0	291	81
Broca Ø 6,0	254	68
Padrão de referência	0	62
TOTAL	1111	352
Proporção da redução	 - 3,1 vezes	

Fonte: Autor

O processo realizado com o *toolsetter* apresentou um ganho de 12,7 minutos ou 3,1 vezes menor se comparado com o processo realizado com o *presetter*, considerando que o deslocamento do operador para realizar a pré-ajustagem das ferramentas com o sistema de *presetter* foi realizado em momentos diferentes, já que, foi considerado como um processo normal de usinagem. Se considerado um processo de liberação de máquina, as medições realizadas no *presetter* podem ocorrer ao mesmo tempo e o deslocamento do operador para realizar a pré-ajustagem será considerado apenas uma vez e sua influência no tempo total será menor. Entretanto, isso pode não ocorrer pois durante a usinagem de cada lote pode ser necessário uma nova medição de ferramentas de forma individual (caso ocorra quebra ou troca).

Exemplificando os valores encontrados, a Tabela 14 apresenta uma simulação realizada em empresa fictícia que utiliza um Centro de Usinagem em seu processo produtivo. A máquina trabalha com uma preparação de ferramenta por turno utilizando

os valores de tempos pesquisados e quatro ferramentas são utilizadas no processo de usinagem. A empresa trabalha 22 dias por mês e 8 horas por turno. Os cálculos adotaram as equações descritas em Vieira Junior et al (2006).

Tabela 14 – Simulação de processo produtivo

Tipo máquina	Quantidade	Número preparações por turno	Número ferramentas por peça
Centro de torneamento	0	0	0
Centro de usinagem	1	1	4
Mandrilladora	0	0	0
Fresadora	0	0	0
Sistema de Produção			
Número de dias	22		
Número de turno	3		
Número de horas/turno	8		
Custo hora máquina ¹	R\$ 200,00		
Medição <i>Presetter</i>		Medição <i>Toolsetter</i>	
	min		min
	1111 seg		352 seg
Tempo Total (horas)	528,0	Tempo Total (horas)	528,0
Tempo Produtivo (horas)	446,5	Tempo Produtivo (horas)	502,2
Tempo Improdutivo (horas)	81,47	Tempo Improdutivo (horas)	25,81
Índice de utilização (%)	85%	Índice de utilização (%)	95%
Desperdício	R\$ 16.294,67	Desperdício	R\$ 5.162,67
Máquina parada	0,1543	Máquina parada	0,0489
Em 12 meses	R\$ 195.536,00	Em 12 meses	R\$ 61.952,00
Estimativa de ganho aproximado de R\$ 133.000,00 para um período de 12 meses utilizando o processo de pré-ajustagem de ferramentas com o <i>Toolsetter</i> .			
Nota 1: Valor utilizado apenas como referência.			

Fonte: Autor

Os valores de pré-ajustagem das ferramentas nos diferentes tipos de sistemas estudados apresentaram comportamento similar e estão apresentados na Tabela 15. As ferramentas pré-ajustadas no *presetter* e no *toolsetter*, apresentaram uma diferença máxima em suas medidas de 0,02 mm no diâmetro da fresa de Ø 63,0 mm, com exceção ao Ø da broca 6,0 mm que apresentou uma diferença de 0,092 mm, provavelmente devido à alta rotação no momento da medição no *toolsetter*.

Comparativamente os valores de pré-ajustagem estão apresentados da seguinte maneira:

1. **padrão de referenciação:** a medição do padrão de referenciação foi realizada no *presseter* para comparar a medição realizada no *toolsetter*. Medição *presseter*, diâmetro 17,964 mm e comprimento 117,852 mm; medição *toolsetter*, diâmetro 17,966 mm e comprimento 117,853 mm – diferença de 0,002 mm no diâmetro e 0,001 mm no comprimento.
2. **fresa diâmetro 63,0 mm:** medição *presseter*, diâmetro 62,820 mm e comprimento 94,983 mm; medição *toolsetter*, diâmetro 62,800 mm e comprimento 94,985 mm – diferença de 0,02 mm no diâmetro e 0,002 mm no comprimento.
3. **fresa diâmetro 10,0 mm:** medição *presseter*, diâmetro 9,968 mm e comprimento 98,788 mm; medição *toolsetter*, diâmetro 9,982 mm e comprimento 98,782 mm; diferença de 0,014 mm no diâmetro e 0,006 mm no comprimento.
4. **broca diâmetro 6,0 mm:** medição *presseter*, diâmetro 6,180 mm e comprimento 134,893 mm; medição *toolsetter*, diâmetro 6,272 mm e comprimento 134,885 mm; diferença de 0,092 mm no diâmetro e 0,008 mm no comprimento.
5. **fresa diâmetro 20,0 mm:** medição *presseter*, diâmetro 19,716 mm e comprimento 120,792 mm; medição *toolsetter*, diâmetro 19,718 mm e comprimento 120,793 mm; diferença de 0,002 mm no diâmetro e 0,001 mm no comprimento.

Tabela 15 – Valores de dimensões de pré-ajustagem

VALORES DE PRÉ-AJUSTAGEM DAS FERRAMENTAS						
FERRAMENTAS	PRESETTER		TOOLSETTER		DIFERENÇA (delta)	
	Ø (mm)	Compr. (mm)	Ø (mm)	Compr. (mm)	Ø (mm)	Compr. (mm)
Padrão de referência	17,964	117,852	17,966	117,853	0,002	0,001
Fresa Ø 63 mm	62,820	94,983	62,800	94,985	0,020	0,002
Fresa Ø 10 mm	9,968	98,788	9,982	98,782	0,014	0,006
Broca Ø 6 mm	6,180	134,893	6,272	134,885	0,092	0,008
Fresa Ø 20 mm	19,716	120,792	19,718	120,793	0,002	0,001

Fonte: Autor

As medições das amostras usinadas foram realizadas em Máquina de Medir por Coordenadas Tridimensional e os resultados estão apresentados conforme a Tabela 16 para a peça denominada A:

Tabela 16 – Comparação entre os sistemas peça A

PEÇA A					
Ferramenta	Dimensão (mm)	PRESETTER		TOOLSETTER	
		Real (mm)	Teórico (mm)	Real (mm)	Teórico (mm)
Fresa Ø 10 mm	Ø 14	13,989	0,011	13,960	0,040
	PROF. 2,5	2,461	0,039	2,470	0,030
Fresa Ø 20 mm	Distância 20,0	19,993	0,007	19,980	0,020
	PROF. 2,0	1,956	0,044	2,000	0,000
Fresa Ø 63 mm	Distância 47,0	47,023	-0,023	46,997	0,003
	PROF. 2,0	1,996	0,004	2,007	-0,007
Broca Ø 6 mm	PROF. 8,0	7,992	0,008	8,011	-0,011

Fonte: Autor

A fresa Ø 10 mm realizou usinagem de uma interpolação de Ø 14,0 mm com profundidade de 2,5 mm. Os resultados observados na medição foram para o Ø 13,989 mm quando a peça foi usinada com ferramenta pré-ajustada com *presetter*, ou seja, um desvio de 0,011 mm com relação a dimensão objetivada no programa CNC

de usinagem. A profundidade para esse mesmo tipo de pré-ajustagem foi de 2,461 mm e o desvio observado foi de 0,039 mm com relação a dimensão a ser usinada. As mesmas características porém usinadas com ferramenta pré-ajustada com *toolsetter*, apresentaram resultados de usinagem de \varnothing 13,960 mm, um desvio de 0,04 mm com relação ao objetivo da usinagem e 2,47 mm para a profundidade, um desvio de 0,03 mm com relação ao programa CNC.

A usinagem realizada com a fresa \varnothing 20 mm objetivou a abertura de um canal com dimensão de distância de 20,0 mm com relação ao centro da peça e profundidade de 2,0 mm. A usinagem realizada com a ferramenta pré-ajustada com *presetter*, resultou a dimensão de distância com relação ao centro de 19,993 mm, um desvio de 0,007 mm com relação ao objetivo da usinagem e uma profundidade de 1,956 mm gerando um desvio de 0,044 mm. A usinagem realizada com o *toolsetter*, uma distância de 19,980 mm e uma profundidade de 2,000, desvio de usinagem de 0,02mm para a distância com relação ao centro da peça e não houve desvio com relação a profundidade nessa usinagem.

O processo utilizado para a fresa \varnothing 63 mm objetivou a usinagem de um canal com dimensão de distância de 47,0 mm com relação ao centro da peça e profundidade de 2,0 mm. A usinagem que utilizou ferramentas pré-ajustadas com *presetter*, produziu resultados de 47,023 mm para a distância com relação ao centro da peça, gerando um desvio de 0,023 mm e uma profundidade de 1,996 mm, ou seja, um desvio de 0,004 mm. O processo de usinagem que utilizou as ferrmantas pré-ajustadas com o *toolsetter*, produziu a amostra com \varnothing 46,997 mm, um desvio de 0,003 e uma profundidade de 2,007 mm, um desvio de 0,007 mm com relação ao objetivo programa no CNC da máquina.

A furação realizada com a broca \varnothing 6,0 mm objetivou a usinagem de um furo com profundidade de 8,0 mm. O processo com a ferramenta pré-ajustada com o *presetter* produziu um furo com profundidade de 7,992 mm, ou seja, um desvio de 0,008 mm com relação ao objetivo e o processo com a ferramenta pré-ajustada com o *toolsetter*, produziu um furo com profundidade de 8,011 mm, um desvio de 0,011 mm com relação ao ajustado no programa.

A amostra denominada B foi dimensionada utilizando o mesmo recurso e o mesmo método de medição utilizado na verificação da amostra A. A Tabela 17 demonstra os resultados para o segundo experimento realizado:

Tabela 17 – Comparação entre os sistemas peça B

PEÇA B					
Ferramenta	Dimensão (mm)	PRESETTER		TOOLSETTER	
		Real (mm)	Teórico (mm)	Real (mm)	Teórico (mm)
Fresa Ø 10 mm	Ø 14	13,987	0,013	13,964	0,036
	PROF. 2,5	2,445	0,055	2,466	0,034
Fresa Ø 20 mm	Distância 20,0	19,993	0,007	19,983	0,017
	PROF. 2,0	1,955	0,045	2,013	-0,013
Fresa Ø 63 mm	Distância 47,0	47,039	-0,039	46,967	0,033
	PROF. 2,0	2,001	-0,001	2,018	-0,018
Broca Ø 6 mm	PROF. 8,0	8,008	-0,008	8,028	-0,028

Fonte: Autor

Assim como no experimento anterior, todos os processos de usinagem realizados foram idênticos, ou seja, a fresa Ø 10 mm realizou usinagem de uma interpolação de Ø 14,0 mm com profundidade de 2,5 mm. Os resultados observados na medição mostraram um Ø 13,987 mm quando a peça foi usinada com ferramenta pré-ajustada com *presetter*, ou seja, um desvio de 0,013 mm com relação a dimensão objetivada no programa CNC de usinagem. A profundidade para esse mesmo tipo de pré-ajustagem foi de 2,445 mm e o desvio observado foi de 0,055 mm com relação a dimensão a ser usinada. As mesmas características porém usinadas com ferramenta pré-ajustada com *toolsetter*, apresentaram resultados de usinagem de Ø 13,964 mm, um desvio de 0,036 mm com relação ao objetivo da usinagem e 2,466 mm para a profundidade, um desvio de 0,034 mm com relação ao programa CNC.

A usinagem realizada com a fresa Ø 20 mm objetivou a abertura de um canal com dimensão de distância de 20,0 mm com relação ao centro da peça e profundidade de 2,0 mm. A usinagem realizada com a ferramenta pré-ajustada com *presetter*, resultou a dimensão de distância com relação ao centro de 19,993 mm, um desvio de 0,007 mm com relação ao objetivo da usinagem e uma profundidade de 1,955 mm gerando um desvio de 0,045 mm. A usinagem realizada com o *toolsetter*, uma distância de 19,983 mm e uma profundidade de 2,013 mm, desvio de usinagem de 0,017 mm para a distância com relação ao centro da peça e 0,013 mm para a profundidade usinada.

O processo utilizado para a fresa Ø 63 mm objetivou a usinagem de um canal com dimensão de distância de 47,0 mm com relação ao centro da peça e profundidade de 2,0 mm. A usinagem que utilizou ferramentas pré-ajustadas com *presetter*, produziu resultados de 47,039 mm para a distância com relação ao centro da peça, gerando um desvio de 0,039 mm e uma profundidade de 2,001 mm, ou seja, um desvio de 0,001 mm. O processo de usinagem que utilizou as ferramentas pré-ajustadas com o *toolsetter*, produziu a amostra com Ø 46,967 mm, um desvio de 0,033 e uma profundidade de 2,018 mm, um desvio de 0,018 mm com relação ao objetivo programa no CNC da máquina.

A furação realizada com a broca Ø 6,0 mm objetivou a usinagem de um furo com profundidade de 8,0 mm. O processo com a ferramenta pré-ajustada com o *presetter* produziu um furo com profundidade de 8,008 mm, ou seja, um desvio de 0,008 mm com relação ao objetivo e o processo com a ferramenta pré-ajustada com o *toolsetter*, produziu um furo com profundidade de 8,028 mm, um desvio de 0,028 mm com relação ao ajustado no programa.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

O estudo, diante da revisão da literatura e dos experimentos realizados por meio das usinagens propostas, seguindo metodologia estabelecida, permite concluir que:

- a. as vantagens, benefícios e similaridades apresentadas na Tabela 7 mostram que os *presetters*:
 1. não interferem na disponibilidade das máquinas nos casos de manutenção dos equipamentos;
 2. oferecem maior flexibilidade na instalação dos equipamentos, pois não ficam internos às máquinas;
 3. têm menor influência direta no tempo de ciclo das peças usinadas, pois as medições são realizadas fora da máquina. Entretanto, considerando-se todo o tempo de medição, incluindo-se os deslocamentos de pessoas com as ferramentas, essa influência acaba sendo maior;
 4. apresentam a possibilidade de atender a mais de uma máquina, justamente por estarem fora das máquinas e localizados em um local centralizado (geralmente a sala de montagem de ferramentas da empresa).
 5. possibilitam a medição de ferramentas estacionárias, como as utilizadas em tornos.
- b. as vantagens, benefícios e similaridades apresentadas na Tabela 7 mostram que os *toolsetters*:
 - i. possibilitam a aferição do equipamento “*in board*”, ou seja, já considerando os desvios inerentes às máquinas;
 - ii. a operação do equipamento é feita pelo próprio operador da máquina, dispensando a necessidade de mão de obra específica para a utilização do equipamento;
 - iii. possibilitam a detecção do desgaste das ferramentas, bem como a medição e o controle dimensional “*in process*”;

- iv. possibilitam a interação do CNC, permitindo explorar funcionalidades que vão além da simples medição das ferramentas;
 - v. evitam o deslocamento de pessoas para realizar a medição das ferramentas, pois está instalado na máquina para a qual irá fornecer diretamente os valores medidos;
 - vi. evitam a ocorrência de erros de inserção de dados derivados de imperícia ou de desatenção dos operadores.
- c. os processos de usinagem que exigem tolerâncias de até 0,05 mm podem utilizar qualquer um dos dois sistemas estudados, *toolsetter* ou *presetter*.
 - d. as pré-ajustagens realizadas com o sistema de *presetter* aparentemente apresentam melhor resultado nos eixos X e Y da máquina CNC.
 - e. as pré-ajustagens realizadas com o sistema de *toolsetter* aparentemente apresentam melhor resultado no eixo Z da máquina CNC.
 - f. os processos que utilizam o sistema de pré-ajustagem *toolsetter* apresentam possibilidades de vantagem com relação a produtividade dos processos estudados, pois os tempos de pré-ajustagem são significativamente menores nesse caso.

De forma geral, os dois tipos de sistema de pré-ajustagem apresentam vantagens e benefícios, seja a partir do que foi levantado na revisão teórica, seja no que a experimentação possibilitou identificar, que induzem às seguintes conclusões:

- os sistemas têm vantagens e benefícios próprios e o uso de ambos, de forma complementar, é aquele que traz maiores vantagens aos sistemas de produção. Apenas no quesito **tempo de pré-ajustagem** é que os *toolsetters* se mostraram claramente melhores que os *presetters*.

- com base nos resultados da Tabela 14, os *toolsetters*, quando utilizados nas condições apresentadas, trazem um benefício maior se comparados aos *presetters*. No caso exemplificado anteriormente, houve uma estimativa de ganho de R\$ 133.000,00 em um período de 12 meses.

Com base nos estudos realizados ficam ainda propostas para trabalhos futuros, com o intuito de ampliar o nível de pesquisa e de conhecimento gerado sobre o assunto abordado:

- a. realizar estudos comparativos dos dois sistemas de pré-ajustagem estudados em ambiente de produção realizando a usinagem de peças de produção, com dispositivos definidos de fixação.
- b. realizar estudo sobre as influências nos resultados dimensionais das ferramentas pré-ajustadas e usinadas pelos dois sistemas estudados, *toolsetter* e *presetter*, levando em consideração os desvios dos eixos X, Y e Z da máquina CNC.
- c. realizar estudo da influência da rotação (RPM) do eixo árvore da máquina CNC no valor de pré-ajustagem da ferramenta ajustada no *toolsetter*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARONSON, R.B. Presetting: Prelude to Perfection. **Manufacturing Engineering**, Dearborn, v.124, n.2, p.86-91, 2000.

ALMOMANI, M.A.; ALADEEMY, M.; ABDELHADI, A.; MUMANI, A. A proposed approach for setup time reduction through integrating conventional SMED method with multiple criteria decision-making techniques. **Computers & Industrial Engineering**, v. 66, p. 461-469, 2013.

ANTUNES, J. *et al.* **Sistemas de Produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

BARDUZZI, Jaqueline. **Avaliação do uso de troca rápida de ferramentas em fornecedores de usinagem do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Nove de Julho – UNINOVE, São Paulo, 2016.

BENJAMIN, S.J.; MURUGAIAH, U.; MARATHAMUTHU, S. The use of SMED to eliminate small stops in a manufacturing firm. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 24, p. 792-807, 2011.

BONO, M. J.; SEUGLING, R. M.; KROLL, J. J.; NEDERBRAGT, W. W. An uncertainty analysis of tool setting methods for a precision lathe with a B-axis rotary table. **Precision Engineering**, v. 34, p. 242-252, 2009.

BONO, M. J.; KROLL, J. J. Tool setting on a B-axis rotatory table of a precision lathe. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 48, p. 1261-1267, 2008.

CAUCHICK MIGUEL, P.A. (Coord.). **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2012.

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

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. **Anais...** São Paulo: 2005.

COSTA, F. S.; VIEIRA JUNIOR, M.; BAPTISTA, E. A.; CORRER, I. Ganhos de Produtividade e redução de perdas com o uso de sistemas *toolsetter* laser. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 34.; 2014, Curitiba. **Anais...** Paraná: 2014.

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.

FOGLIATTO, F. S.; FAGUNDES, P. R. M. Troca rápida de ferramentas: proposta metodológica e estudo de caso. **Gestão & Produção**, v.10, p. 163-181, 2003.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5ª Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

HEXAGON Metrology. **Measuring on machine tools: m&h Probing Systems and Software** – Part of Hexagon, Waldburg Germany, p. 1-35. 2015.

KOIKE, R.; KAKINUMA, Y.; AOYAMA, T. Drill fracture detection by integrating disturbance observer and rotational digital filter. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 7, p. 177-184, 2014.

KUMAR, R. **Research methodology** – a step-by-step guide for beginners. 3. ed. London: Sage, 2011.

MARTINS, R. A. **Pesquisa-ação na Engenharia de Produção**. In: CAUCHICK MIGUEL, P.A. (Coord.). **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2012.

REBEYKA, C.J.; VOLPATO, N.; COSTA, D.D. Avaliação das técnicas aplicadas para medir ferramentas de corte utilizadas nas máquinas CNC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 3., 2005, Joinville-SC. **Anais...** III COBEF, 2005.

RENISHAW. **High speed, non-contact, tool setting and breakage detection. News from Renishaw**. Disponível em: [http://resources.renishaw.com/en/download/\(eb3dd93893b144f3b8023e46b853f13f\)](http://resources.renishaw.com/en/download/(eb3dd93893b144f3b8023e46b853f13f)). Acesso em: 03/01/2018 – 17:00 horas.

SHINGO, S. **Sistema de Troca Rápida de Ferramenta: Uma Revolução nos Sistemas Produtivos**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

SILVA, R. F. A.; SILVA, J. B. A.; DINIZ, L. S.; NOBREGA, L. H. M. S.; SILVA, V. N. S. Sistema para pré-ajustagem de ferramentas, utilizando processamento de imagens, aplicado a um centro de usinagem CNC. **Revista Principia**, v. 36, p. 141-156, 2017.

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

SIMON, A. T.; LIMA, C. R. C. Computer numeric control machine tools utilization by metalworking companies in Brazil. **Int. J. Manufacturing Research**, v. 10, p. 267-285, 2015.

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: ABEPRO, 2002.

SIMON, A. T. Panorama do parque nacional de máquinas CNC de usinagem. In: CONGRESSO DE USINAGEM, 2008, São Paulo.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON R. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

VIEIRA JUNIOR, MILTON; SIMON, A. T. ; CORRER, IVAN ; MARTINS, RONALDO DE OLIVEIRA ; SANTOS, TAIANA ALMEIDA FERREIRA DOS . Análise dos tempos de pré-ajustagem de ferramentas de corte via internet. In: **Usinagem 2006**, 2006, São Paulo - SP. Anais do Usinagem 2006. São Paulo - SP: Ed. Aranda, 2006. p. 1-9.

VIEIRA JUNIOR, M.; PEREIRA, F. H.; LUCATO, W. C.; COSTA, F. S.; Influence of feed rate and spindle speed on referencing laser tool-setters. **The Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 37, p. 1015-1028, 2014.

VIEIRA JUNIOR, M; SILVA, J. M.; CORRER, I.; COPPINI, N. L.; BAPTISTA, E. A. Losses caused by the presetting of tools by the manual method. **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, v. 1, p. 565-569, 2011.

VIEIRA JUNIOR, M. *et al.* Comparação de tempos entre o método manual e sistemas a laser. **Máquinas e Metais**, v. 48, p. 108-121, 2012.

VIEIRA JUNIOR, M. *et al.* Variações na qualidade dimensional causadas pelo método de pré-ajustagem de ferramentas em centros de usinagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 8., 2015, Salvador. **Anais...** Salvador: 2015.

VOLPATO, N.; REBEYKA, C.J.; COSTA, D.D. A Proposal for Tool-setting Data Integration. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2009, V41, n9-10, pp. 960 – 971.

VOLPATO, N.; REBEYKA, C.J.; COSTA, D.D. Integração de Máquinas de Medição de Ferramentas com Máquinas CNC. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 3., 2004, Belém. **Anais...** Pará: III CONEM, 2004.

KARASU, M.K.; CAKMAKCI, M.; CAKIROGLU, M.B.; AYVA, E.; ORTABAS, N.D. Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production. **Measurement**, v. 47, p. 741–748, 2014.

APÊNDICE 1

PROGRAMA CNC% (UTILIZADO NA USINAGEM PARA REALIZAR EXPERIMENTO -
PRÉ-TESTE)
O0062(ANDRE)

G1902B183.9D98.9H14.4I91.95J49.45K0.
G17G21G90G94G64
G53G0Z0H0

T12(FRESA FACEAR)
M6
G54S600M3
G0X-92Y-100
G43Z10H12D12
G1Z-2F290
G1G41X-51.95Y-80
Y95
G40Y140
G53G0Z0H0

T13(FRESA 10MM)
M6
G54S1200M3
G0X-30Y20
G43Z10H13D13
G1Z0F200
G41X-37
M98P63L10
G90
G3I7J0
G1G40X-30
G0Z10
G53G0Z0H0

T14(BROCA 6MM)
M6
G54S1400M3
G0X-12Y40
G43Z10H14D14
G82Z-8R2F90
Y0
Y-40
G80
G53G0Z0H0
M30
%

APÊNDICE 2

PROGRAMA CNC% (UTILIZADO NA USINAGEM PARA REALIZAR EXPERIMENTO -
USINAGEM DAS AMOSTRAS)

O0064(ANDRE 2 LADO)

G1902B230.D136.H14.4I115.J68.K0.

G17G21G90G94G64

G53G0Z0H0

T12(FRESA FACEAR 63MM)

M6

G54S600M3

G51.1X0

G0X-100Y-110

G43Z10H12D12

G1Z-2F290

G1G41X-47Y-100

Y100

G40Y115

G50.1

G53G0Z0H0

T13(FRESA 10MM)

M6

G54S1200M3

G51.1X0.

G0X-10Y50

G43Z10H13D13

G1Z0F200

G41X-3

M98P63L10

G90

G3I-7J0

G1G40X-10

G50.1

G0Z10

G53G0Z0H0

T14(BROCA)

M6

G54S1400M3

G51.1X0

G0X-10Y-50

G43Z10H14D14

G82Z-8R2F90

G80

G50.1

G53G0Z0H0

T15(FRESA 20MM)

M6

G54S1300M3

G51.1X0

G0X-32Y-90

G43Z10H15D15

G1Z-2F156

G1G41X-20Y-79
Y80
X-42
Y-80
G40X-32Y-90
G50.1
G53G0Z0H0
M30
%