

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA

FACULDADE DE ENGENHARIA ARQUITETURA E URBANISMO

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE PRÉ-AJUSTAGEM
DE FERRAMENTAS INTERNO A LASER PARA USO EM MÁQUINAS-
FERRAMENTA CNC**

ENG. IVAN CORRER

ORIENTADOR: PROF. DR. MILTON VIEIRA JUNIOR

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2006

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE PRÉ-AJUSTAGEM
DE FERRAMENTAS INTERNO A LASER PARA USO EM MÁQUINAS-
FERRAMENTA CNC**

IVAN CORRER

Dissertação de Mestrado defendida, em 28 de agosto de 2006, pela
Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Milton Vieira Júnior

UNIMEP

Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini

UNIMEP

Prof. Dr. Paulo Roberto de Aguiar

UNESP - FEB

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pelo dom da vida, pelos meus pais José e Rute, meus irmãos Herton e Anne, minha namorada Aline, e demais familiares e amigos.

Ao professor Milton Vieira Junior pela orientação, compreensão e incentivo dispensado ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Alexandre Tadeu Simon pelo incentivo e amizade.

Ao professor Paulo Eduardo Silveira pelo apoio técnico e amizade durante o desenvolvimento deste trabalho

Ao professor Álvaro Abackerli pelos conselhos e dicas na realização dos ensaios laboratoriais

Aos técnicos, pelo auxílio no desenvolvimento, projeto e realização dos ensaios, especialmente Ronaldo, Frederico, Leandro, Sérgio (automação), Adeilton e Sérgio (metrologia).

Ao Chefe dos técnicos Roberto Bocchio, pela ajuda e companheirismo.

Aos alunos e bolsistas do laboratório de Automação da Manufatura: Taiana, Guilherme, Leonan, Lucas, Felipe e Tiago.

A todos os amigos da graduação, especialmente Éder, Tiago, Lineu, Carraro, Cherry.

À CAPES pelo apoio financeiro.

***“Não me desencorajo, porque cada tentativa errada descartada é
outro passo a frente.”***

Thomas Alva Edison (1847 – 1931)
Cientista americano

CORRER, Ivan. ***Projeto e construção de um sistema de pré-ajustagem de ferramentas interno a laser para uso em máquinas-ferramenta CNC***. 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

RESUMO

Apresenta-se a proposta de desenvolvimento de um sistema de *presetting* interno a laser, para a automação das atividades de pré-ajustagem de ferramentas durante o processo de usinagem. Foi utilizada inicialmente uma metodologia para determinar a eficiência do sistema eletrônico desenvolvido, através de ensaios iniciais, para determinar as variações de posição durante a medição, e posteriormente à realização de testes finais em ambiente com temperatura controlada e no chão-de-fábrica, especificamente em um centro de usinagem. Os resultados obtidos pelo sistema de *presetting* a laser desenvolvido, apresentam um resultado satisfatório no que se refere: aos parâmetros de precisão (tolerâncias) do processo de usinagem das empresas do Parque Industrial Brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: *Setup*, Pré-ajustagem de Ferramentas, Sistemas de *Presetting*, Laser.

CORRER, Ivan. *Projeto e construção de um sistema de pré-ajustagem de ferramentas interno a laser para uso em máquinas-ferramenta CNC*. 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

ABSTRACT

This work presented proposal of development of an toolsetting laser, for the automation of the activities of setup tools during the milling process. A methodology was used initially to determine the efficiency of the developed electronic system, through initial tests, to determine the variations of position during the measurement, and later to the accomplishment of final tests in environment with controlled temperature and the shop floor, specifically in a milling center. The results obtained for the toolsetting laser system developed, present a satisfactory result in that if it relates: to the parameters of precision (tolerances) of the milling process of the Brazilian Industrial Park companies.

Keywords: *Setup, presetter, tool-setting, laser, milling process.*

SUMÁRIO

Lista de figuras.....	iv
Lista de tabelas	viii
Lista de equações	ix
Lista de abreviaturas e siglas.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo	3
1.2. Metodologia	4
1.3. Estrutura da dissertação	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1. Tempos de <i>setup</i>	8
2.1.1. Tempo de <i>setup</i> em processos de usinagem com máquinas CNC	11
2.1.1.1. Documentação do trabalho	12
2.1.1.2. Preparação da ferramenta.....	13
2.1.1.3. Preparação e fixação da peça.....	16
2.1.1.4. Controle do processo	18
2.1.1.5. Desenvolvimento e transferência do programa	19
2.1.2. Índice de utilização de sistemas de <i>pre</i> -ajustagem de ferramentas no parque industrial brasileiro	21
2.1.2.1. Atividades de suporte nos processos de usinagem em máquinas cnc.....	21
2.1.2.2. Atual situação.....	23
2.2. Sistemas de pré-ajustagem de ferramentas (<i>presetting</i>)	29
2.2.1. Sistemas de <i>Presetting</i> externo	31
2.2.1.1. Tipos de <i>presetting</i> externos	32

2.2.2. Sistemas de <i>presetting</i> interno.....	35
2.2.2.1. Tipos de <i>presetting</i> internos	36
2.2.3. Pré-ajustagem de ferramentas.....	39
2.2.4. Pré-ajustagem manual.....	39
2.2.4.1. Pré-ajustagem externa	41
2.2.4.2. Pré-ajustagem interna	48
2.2.5. Controle do processo.....	52
2.2.6. Comparação entre os sistemas de <i>presetting</i> (<i>externos x internos</i>).....	53
2.2.7. Porque as empresas não utilizam estes sistemas.....	58
2.3. Sistemas existentes de <i>presetting</i> interno a laser e suas principais características.....	60
2.3.1. Funcionamento básico de um sistema laser	60
2.3.2. Sistemas de <i>presetting</i> a laser (vantagens e limitações).....	61
2.3.3. Características estruturais dos sistemas laser	63
2.3.4. Características eletrônicas e ópticas dos sistemas laser	64
2.3.5. Características de proteção do sistema laser	66
2.3.6. Características de <i>softwares</i> e métodos de medição e detecção de ferramentas.....	70
2.4. Escolha do sistema de <i>presetting</i>	72
3. METODOLOGIA.....	74
3.1. Anteprojeto do protótipo do sistema de <i>presetting</i> interno a laser	74
3.1.1. Descrição do banco de ensaios e do sistema de <i>presetting</i>	74
3.1.1.1. Estrutura do protótipo.....	75
3.1.1.2. Sistema eletrônico.....	76
3.1.1.3. Montagem do banco de ensaios.....	77
3.1.1.4. Instrumentos utilizados no banco de ensaios	78
3.1.2. Avaliação do sistema	81
3.1.2.1. Ensaio experimental.....	82

3.1.3. Resultados Anteprojeto do protótipo	86
3.2. Desenvolvimento do protótipo do sistema de presetting a laser	90
3.2.1. Características do protótipo do sistema de <i>presetting</i> laser: equipamentos e componentes eletrônicos utilizados.	90
3.2.1.1. Estrutura do protótipo	90
3.2.1.2. Sistema limitador do feixe laser	91
3.2.1.3. Módulo laser	92
3.2.2. Teste do sistema laser em laboratório	92
3.2.2.1. Montagem banco de ensaios	92
3.2.2.2. Equipamentos e sistemas utilizados	93
3.2.2.3. Metodologia para realização e análise dos testes	96
3.2.3. Teste do sistema laser em uma máquina-ferramenta CNC	105
3.2.3.1. Montagem do banco de ensaios	105
3.2.4. Equipamentos e sistemas utilizados	106
3.2.4.1. Metodologia para realização e análise dos testes	108
4. Resultados e discussões	113
4.1. Resultados do anteprojeto do protótipo e protótipo	113
4.2. Discussões dos resultados	116
5. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	118
5.1. Considerações finais	118
5.2. Sugestão para trabalhos futuros	120
Anexos	122
Referências Bibliográficas	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Medição manual na própria máquina.....	14
Figura 2 – Sistema Externo de Pré-ajustagem (Presettters).....	15
Figura 3 – Sistema Interno de Pré-ajustagem sem Contato (Tool Setting Laser).....	16
Figura 4 – Edge Finder (Descobridor de Extremidades).....	17
Figura 5 – Sonda de inspeção (localização da peça e inspeção em processo).....	17
Figura 6 – Monitoramento da ferramenta em processo(presetting interno).....	19
Figura 7 – Presetting externo Manual: a) equipamento; b) detalhe do contato mecânico do sistema.....	33
Figura 8 – Presetting externo com projetor óptico: a) equipamento; b) detalhe da sombra da ferramenta.....	33
Figura 9 – Presetting externo de máquina fotográfica.....	34
Figura 10 – Probe Touch trigger usado em Máquinas de Medir por Coordenadas.....	35
Figura 11 – Presetting Interno por Contato – A) Centro de torneamento; B) Tornos CNC.....	37
Figura 12 – Presetting Interno por Contato para centro de usinagem: A)Comprimento da ferramenta; B)Comprimento e diâmetro da Ferramenta.....	38
Figura 13 – Tool Setting Laser (centro de usinagem).....	38
Figura 14 – Suporte de Fixação de troca rápida de ferramenta (presetting externo).....	43
Figura 15 – Medidas traduzidas em código G da máquina.....	46
Figura 16 – Softwares de gerenciamento de ferramentas.....	47
Figura 17 – Sistema de identificação de medidas das ferramentas (etiquetas) : A) fresa; b) broca.....	48
Figura 18 – Presetting interno de contato para Tornos CNC.....	51

Figura 19 – Checagem da ferramenta sem interrupção do processo	53
Figura 20 – Sistema de troca rápida de ferramentas: a) sistema de fixação Capto; b) Suporte de fixação de ferramenta de presetting externo.....	55
Figura 21 – Sistema de fixação de ferramentas em tornos CNC	56
Figura 22 – Fixação de um sistema de presetting interno (Lateral da máquina Ferramenta)	58
Figura 23 – Características Estruturais dos sistemas de presetting internos a laser: a) sistema fixo; b) sistema desmembrado.....	64
Figura 24 – Sistema de projeção do feixe Laser através de grandes aberturas em dispositivos de presetting a laser	65
Figura 25 - Sistema de projeção do feixe laser através de micro-furos em dispositivos de presetting	66
Figura 26 – Sistema de proteção do sistema laser tipo “shutter”: a) Esquema estrutural; b) Rajada de ar para limpar o orifício de saída do feixe laser	67
Figura 27 – Sistema de proteção do feixe laser através de abertura mecânica por obturadores “shutter”	68
Figura 28 - Sistema de proteção do feixe laser através de micro-furos	70
Figura 29 – Anteprojeto do protótipo do sistema de presetting.....	75
Figura 30 – Fluxograma do circuito eletrônico do anteprojeto do protótipo	76
Figura 31 – Banco de ensaio utilizado.....	78
Figura 32 – Conjunto montado (protótipo, suporte e colar micrométrico)	80
Figura 33 – Detalhe da interrupção do laser pelo fuso do colar micrométrico e detalhe do furo (1mm)	81
Figura 34 – Detalhe da medição manual.....	83
Figura 35 – Teste 1 – Identificação do comportamento do circuito eletrônico do anteprojeto do protótipo, com sistema acionado em 2,5 horas	84
Figura 36 – Teste 2 - Identificação do comportamento do circuito eletrônico do anteprojeto do protótipo, com sistema acionado em 8 horas	85

Figura 37 – Teste 3 - Identificação do comportamento do circuito eletrônico do anteprojeto do protótipo, com sistema acionado em 12 horas	86
Figura 38 – Variação da posição total (ΔS_{total}) e variação da posição parcial ($\Delta S_{parcial}$)	88
Figura 39 – Sistema limitador feixe laser	91
Figura 40 – Banco de ensaios do protótipo (laboratório)	93
Figura 41 – Módulo de temperatura ambiente e laser.....	94
Figura 42 – Detalhe banco de ensaios.....	95
Figura 43 – Detalhe interrupção feixe laser.....	96
Figura 44 – Teste 1 (variação da temperatura do laser no período de 6 horas)	98
Figura 45 – Teste 2 (estudo do comportamento do aquecimento e desaquecimento do feixe laser).....	98
Figura 46 – Teste 1 Adicional (comportamento do aquecimento do sistema laser no período de 1 hora)	99
Figura 47 – Teste 3 (comportamento da variação de posição em um período de 6 horas com o sistema laser acionado)	100
Figura 48 – Teste 2 Adicional (comportamento da variação de posição em um período de 5 horas com o sistema laser acionado)	101
Figura 49 – Teste 4 (comportamento da variação de posição em um período de 7 horas com o sistema laser ligado/desligado)	102
Figura 50 – Teste 4.1 (Detalhe de uma janela de medição referente ao aquecimento e desaquecimento do sistema laser)	103
Figura 51 – Teste 4.2 (Detalhe de uma janela de medição referente ao aquecimento e desaquecimento do sistema laser)	104
Figura 52 – Teste 3 A (detalhe de uma mudança brusca de temperatura simulada em laboratório).....	104
Figura 53 – Montagem banco de ensaio (chão-de-fábrica).....	105
Figura 54 – Detalhe da interrupção do feixe laser pela ferramenta	107
Figura 55 – Detalhe do banco de ensaios final (centro de usinagem)	108

Figura 56 – Teste 5 (comportamento da variação de posição em um período de 7 horas com o sistema laser acionado em uma máquina-ferramenta)	110
Figura 57 – Teste 4A (comportamento da variação de posição em um período de 5 horas com o sistema laser acionado em uma máquina-ferramenta)	111
Figura 58 – Teste 6 (comportamento da variação de posição em um período de 7 horas com o sistema laser ligado/desligado em uma máquina-ferramenta).....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Passos no processo de Setup.....	9
Tabela 2 – Representatividade da pesquisa realizada por Simon (2001).....	23
Tabela 3 –Utilização das técnicas de programação, transferência de programas e pré-ajustagem de ferramentas no Parque Industrial Brasileiro	24
Tabela 4 – Redução do tempo de setup em centro de usinagem através da pré-ajustagem de ferramentas	44
Tabela 5 – Resultados dos testes parciais	88
Tabela 6 – Comportamento da Temperatura do sistema laser (PFL)	114
Tabela 7 – Comportamento da variação de posição com o sistema laser acionado	114
Tabela 8 – Comportamento da variação de posição com o sistema laser acionado apenas no instante da medição (PFL, PFM).....	115
Tabela 9 – Resultados de testes adicionais	115
Tabela 10 – Comparativo entre repetibilidade de medição do sistema proposto e sistemas comerciais	119

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC	25
Equação 2 – Tempo efetivamente disponível.....	25
Equação 3 – Tempo total de horas improdutivas	26
Equação 4 – Variação da posição total (Δs_{total})	86
Equação 5 – Variação da posição parcial ($\Delta s_{parcial}$).....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A - Ampères

AC - Alternative Current

CAD - Computer Aided Design

CAM - Computer Aided Manufacturing

CAPTO - Sistema de fixação para Troca Rápida de Ferramentas

CNC - Comando Numérico Computadorizado

DNC - Distributed Numerical Control

DC - Direct Current

EA - Emissão Acústica

GS/s - Giga Sample / second

h. - horas

HSC - High Speed Cutting

I_u - Índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC

MDI - Manual Data Input

Mhz - Megahertz

min. - minutos

mm - milímetros

MMC - Máquina de Medir Coordenadas

ms - milisegundos

MΩ - Megaohms

PC - Personal Computer

s - segundos

S_d - Ponto de detecção menos disperso

S_D - Ponto de detecção mais disperso

S_{30min} - Ponto de detecção no instante 30 minutos

Setup - Tempo de preparação

PIL - Testes com Protótipo Inicial em Laboratório (ambiente com temp. controlada)

PFL - Testes com Protótipo Final em Laboratório (ambiente com temp. controlada)

PFM - Testes com Protótipo Final em Máquina-ferramenta

R\$ - unidade de moeda brasileira

T_d - Tempo total disponível

T_i - Tempo improdutivo

T_t - Tempo efetivamente disponível para o trabalho

T_{ti} - Tempo total de horas improdutivas

TRF - Troca Rápida de Ferramentas

US\$ - Unidade de moeda Norte-Americana

V - volts

°C - Graus Celsius

µm - micron metro

Δs_{parcial} - Variação da Posição Parcial

Δs_{total} - Variação da Posição Total

1. INTRODUÇÃO

Dada a necessidade de melhorar a eficiência dos processos de manufatura, referentes aos tempos de *setup*, um grande esforço vem sendo destinado na melhoria e otimização destes tempos de preparação em máquinas-ferramenta. Estes tempos representam uma parcela significativa do tempo total de produção de uma empresa, principalmente pela tendência das empresas possuírem uma linha diversificada de produtos, com pequenos e médios lotes de produção. Devido a estes fatores, os tempos de preparação das máquinas têm forte influência na eficiência de uma empresa e na formação dos custos das peças produzidas pela mesma (COSTA *et al.*, 2004).

A crescente globalização exige um processo contínuo de inovação dos sistemas de manufatura, obrigando as empresas a implementar tecnologias inovadoras para manter sua vantagem competitiva. A tecnologia CNC é um destes elementos que recebeu um dos mais altos investimentos nos últimos anos. As empresas investem em máquinas CNC para aumentar sua competitividade através de uma série de melhorias nos processos de produção, incluindo aumento de flexibilidade, tempos de ciclos reduzidos e a habilidade de produzir lotes pequenos de maneira econômica. A sua implementação exige um planejamento criterioso e o seu sucesso depende de vários fatores, incluindo a utilização de técnicas adequadas para a execução das atividades de suporte necessárias à sua operação (DEGARMO *et al.*, 1997).

O CNC é considerado como o mais dinâmico recursos dos processos de fabricação, constituindo um dos maiores desenvolvimentos para a automatização das máquinas operatrizes de usinagem (LEATHAM, 1986). Assim, a máquina assume o controle do processo de trabalho, sendo que o operador se restringe a alimentá-la (matéria-prima, ferramentas, dispositivos), acioná-la e controlá-la à distância, podendo ser responsável por mais de uma máquina simultaneamente. Em ritmos de difusão crescente da tecnologia CNC, surgiram recentemente os centros de usinagem (universal, vertical e horizontal), que são máquinas CNC polivalentes cujas principais características se referem à possibilidade de troca automática de ferramentas e, eventualmente, de mudanças automáticas das peças (COSTA *et al.*, 2004).

A implantação desta tecnologia pode proporcionar grande potencial para melhoria de desempenho em muitas operações produtivas e, portanto, uma das questões mais importantes no processo de implementação é obter a máxima utilização deste potencial, no menor tempo possível. As empresas investem em máquinas-ferramenta CNC para aumentar sua capacidade competitiva através do aumento da flexibilidade, melhoria da qualidade, redução dos tempos de ciclos e habilidade de produzir lotes pequenos de maneira econômica. Porém, se os métodos e processos de implantação e operação utilizados pela empresa são, em si, inadequados e ineficientes, a tecnologia somente vai evidenciar os problemas existentes e não solucioná-los (SLACK *et al.*, 1997).

Uma das atividades que comprometem a competitividade da tecnologia CNC e que deve ser enfrentada, tendo em vista a automação dos processos industriais, é a baixa utilização de sistemas de pré-ajustagem de ferramentas (*presettters*) em máquinas CNC (SIMON, 2001).

Freqüentemente, empresários investem centenas de milhares de dólares na aquisição de uma nova máquina-ferramenta CNC para aumentar a produção de sua empresa, quando poderiam obter o mesmo aumento de produtividade com o maquinário existente a uma fração do custo. Muitas

máquinas trabalham efetivamente (arrancando cavaco), menos de 50% do tempo total do processo. Para o restante do tempo, estas máquinas ficam paradas, enquanto o operador executa a operação de pré-ajustagem manual das ferramentas. Portanto, em vez de investir em um maquinário adicional, o empresário pode investir em equipamentos como sistemas de *presetting* de ferramentas que permitem reduzir e/ou eliminar o tempo desperdiçado nesta operação. (McCARTHY, 1996).

Simon (2001), identificou que apenas uma pequena parte dos usuários de máquinas-ferramenta CNC no Parque Industrial Brasileiro, em especial os usuários de Centros de Usinagem, se utilizam de recursos que permitem a realização da pré-ajustagem das ferramentas antes da montagem no magazine das máquinas. A grande maioria prefere realizar esse tipo de ajustagem, de forma manual, com as ferramentas já montadas na máquina em uma atividade que demanda tempos de ordem significativa, comprometendo a produtividade e flexibilidade.

Segundo Lorincz (2004), com o advento mundial da tecnologia de usinagem em altas velocidades de corte (HSC), as exigências do mercado em peças cada vez mais complexas e com grande qualidade, associado à acirrada competição global do setor metal mecânico, cada vez mais será necessário que empresas, grandes ou pequenas, monitorem suas ferramentas, de forma rápida, segura e precisa, com a menor interrupção possível do processo de usinagem.

1.1. OBJETIVO

O presente trabalho objetiva:

1. Desenvolver um sistema de *presetting* interno a laser para uso em máquinas-ferramenta CNC, utilizando-se de matéria prima

existente no mercado nacional. O sistema de pré-ajustagem de ferramentas interno a laser é proposto de forma que ferramentas possam ser pré-ajustadas (medidas) automaticamente¹.

1.2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, o método utilizado para a coleta e análise dos dados foi o experimental, segundo definição de Gil (1988), o experimento representa o melhor exemplo de pesquisa científica. Essencialmente, a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-las, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

A revisão bibliográfica acompanha todo o desenvolvimento deste trabalho. Em um momento inicial foi feita pesquisa sobre os temas relacionados: tempo de *setup*, tipos de *setup*, pré-ajustagem de ferramentas, sistemas automáticos de pré-ajustagem, sistemas disponíveis no mercado e suas principais características.

Por meio de pesquisas de campo realizadas por autores como Simon (2001), dentre outros, que estarão sendo discutidas no transcorrer da dissertação, foi possível determinar que um grande número de empresas no parque industrial brasileiro não utiliza este tipo de tecnologia por vários motivos dentre eles, desconhecimento destes equipamentos e principalmente pelo alto custo. Portanto com este cenário apresentado, o presente trabalho visa apresentar a proposta de um sistema de *presetting* de ferramentas interno de baixo custo.

¹ Deste ponto em diante, o termo "sistemas de pré-ajustagem de ferramentas" poderá ser substituído por "sistemas de *presetting*", por ser comumente utilizado nas indústrias brasileiras.

Para o desenvolvimento deste sistema, uma solução inicial foi desenvolvida, utilizando-se de um sistema a laser tipo (*laser point*) de uma “caneta laser” para a realização de testes parciais em um laboratório com temperatura controlada, para que fosse possível estudar o comportamento do sistema laser no que se refere à variação de posição de detecção do sistema laser (interrupção do feixe), aquecimento do feixe laser, e comportamento geral do sistema.

Posteriormente, o sistema de *presetting* a laser foi re-projetado e foram feitas algumas modificações, como: mudança do sistema limitador do feixe laser, estrutura do protótipo e substituição para um sistema laser comercial. Com o protótipo do sistema final foram realizados testes em ambiente laboratorial com temperatura controlada, para analisar a qualidade de medição no que se refere a precisão e repetibilidade do sistema, e testes em chão-de-fábrica, especificamente em um centro de usinagem, na qual o sistema foi instalado na mesa da máquina-ferramenta, para simular o equipamento trabalhando em condição real.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este documento – apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Metodista de Piracicaba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção está dividido em 5 capítulos:

- Capítulo 1: introdução do presente trabalho, com o intuito de situar o leitor dentro do panorama em que se encontra a proposta de desenvolvimento; apresenta também a estrutura da dissertação, descrevendo brevemente os capítulos que compõem o documento.

- Capítulo 2: Revisão bibliográfica, dividida em três sub-itens:
 - Tempos de preparação (*setup*), com subtítulos que tratam de tempos de *setup* em processos de usinagem, e apresentam técnicas para a redução do mesmo como: Documentação do trabalho, preparação da ferramenta, preparação e fixação da peça, controle do processo e desenvolvimento e transferência do programa NC. É apresentado também neste capítulo um levantamento do índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC no Parque Industrial Brasileiro realizado.
 - Sistemas de pré-ajustagem de ferramentas (*presetting*), com subtítulos que tratam dos tipos de sistemas de *presetting* (externos e internos) existentes no mercado; formas de pré-ajustagem de ferramentas; comparação entre os sistemas de *presetting* externos e internos e por fim apresentam-se alguns fatores que influenciam as empresas a não utilizarem desta tecnologia.
 - Principais características dos sistemas de *presetting* interno a laser existentes. Características estruturais, eletrônicas e ópticas, de proteções do sistema e de software.
- Capítulo 3: Metodologia utilizada na pesquisa
 - Apresentação da proposta de desenvolvimento do sistema de *presetting* interno a laser.
 - Anteprojeto do protótipo do sistema de *presetting* interno a laser, banco de ensaios proposto e avaliação de desempenho do protótipo.

- Desenvolvimento do protótipo do sistema de *presetting* interno a laser proposto, mudanças estruturais e eletrônicas referente ao anteprojeto, banco de ensaios proposto (laboratório e chão-de-fábrica).
- Capítulo 4: Resultados e discussões dos testes
- Capítulo 5: Conclusões e Considerações finais do presente trabalho e sugestões para trabalhos futuros.
- Referências bibliográficas utilizadas e citadas que deram suporte a confecção do presente documento.
- Anexos, para dar suporte esclarecedor relativo ao conteúdo do trabalho e testes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos itens será apresentada a revisão bibliográfica realizada para o desenvolvimento da presente pesquisa.

2.1. TEMPOS DE *SETUP*

O tempo de preparação (ou *Setup*²) é definido por Slack *et al.* (1997) como o tempo decorrido na troca do processo do final da produção de um lote até a produção da primeira peça boa do próximo lote.

Em outras palavras, segundo Neumann *et al.* (2002), pode-se dizer que o tempo de *setup*³ é o tempo necessário para preparar os operadores e os equipamentos para a fabricação de outro produto pertencente a um outro lote de produção.

Os tempos de *setup* podem ser reduzidos através de uma variedade de métodos, por exemplo, eliminar o tempo necessário para a busca de

² “*Setup*” é o termo mais utilizado no setor industrial para caracterizar a “preparação da máquina” para a produção, portanto será apresentado desta forma no transcorrer do trabalho.

³ “Tempo de *Setup*” é o termo mais utilizado nas empresas de usinagem brasileiras, para caracterizar o “tempo de preparação” de um equipamento e/ou máquina para efetiva produção, portanto será apresentado desta forma no transcorrer do trabalho.

ferramentas e equipamentos, a pré-preparação de tarefas que retardam as trocas e a constante prática de rotinas de *setup*.

Normalmente, pensa-se que os procedimentos de *setup* são infinitamente variáveis, dependendo do tipo de operação e do equipamento utilizado. Contudo, segundo Shingo (2000), se estes procedimentos forem analisados sob outro ponto de vista pode-se verificar que todas as operações de *setup* compreendem uma seqüência de passos. Em preparações tradicionais, a distribuição do tempo geralmente é semelhante ao apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 – PASSOS NO PROCESSO DE SETUP

<i>Operação</i>	<i>Proporção de tempo (%)</i>
Preparação, ajustes pós-processamento e verificação de matéria prima, matrizes, guias, etc.	30%
Montagem e remoção de matrizes, etc.	5%
Centragem, dimensionamento, e estabelecimento de outras condições.	15%
Corrida e testes de ajustes	50%

FONTE: SHINGO (2000)

Shingo (2000), define estas operações da seguinte maneira:

- ✓ **Preparação, ajustes pós-processamento, verificação de materiais, ferramentas, etc.** Este passo assegura que todos os componentes e ferramentas estejam onde deveriam estar e funcionando perfeitamente. Aqui também se inclui o período após o processamento quando estes itens são removidos e retornam ao local de estocagem, a limpeza da máquina, etc.

- ✓ **Montagem e remoção de navalhas, ferramentas, componentes, etc.** Inclui a remoção dos componentes e das ferramentas após o término do processamento e a sua fixação para o próximo lote.
- ✓ **Medições, posicionamentos e calibrações.** Este passo refere-se às medições e às calibrações necessárias para realizar a operação de fabricação, tais como centragem, dimensionamento, medição de temperatura ou pressão, etc.
- ✓ **Corridas de teste e ajustes.** Nestas etapas, os ajustes são realizados após um processamento de uma peça. Quanto maior a precisão das medições e das calibrações no passo anterior, tanto mais fáceis serão os ajustes nesta fase. A maior dificuldade está em ajustar corretamente o equipamento. A grande proporção de tempo associada à corrida de testes deriva deste problema. Para tornar as corridas de teste e ajustes mais fáceis, deve-se entender que a abordagem mais efetiva é aumentar a precisão das medições e calibrações anteriores.

Para Shingo (1996), a preparação antes e depois das operações, por exemplo, troca de ferramentas e trocas de dispositivos, seguindo os conceitos da Troca Rápida de Ferramenta (TRF) é uma das maneiras mais eficazes de melhorar o tempo de *setup*.

Shingo (1996), define que existem dois tipos de operação:

- ✓ **Setup interno** – operações que só podem ser executadas enquanto a máquina ainda estiver parada, tais como, fixação e remoção de uma matriz e ou ferramenta.
- ✓ **Setup externo** – operações que podem ser executadas enquanto a máquina ainda está em operação (transporte de matrizes, preparação das ferramentas de troca, etc).

Em qualquer análise de operações de *setup*, é importante distinguir o trabalho que pode ser feito enquanto a máquina está funcionando e aquele que deve ser feito com a máquina parada. O princípio fundamental da melhoria de *setup* é transformar uma operação de *setup interno* em uma de *setup externo* visando à redução dos tempos de preparação, cuja influência sobre os tempos de produção será mais bem analisada na seqüência deste trabalho (SHINGO, 1996).

2.1.1. TEMPO DE *SETUP* EM PROCESSOS DE USINAGEM COM MÁQUINAS CNC

Os longos tempos de *setup*, ainda são uma realidade em muitas empresas de usinagem. O *setup* é uma das atividades que não agrega valor ao produto, e necessita ser reduzido o quanto possível (CHANESKI, 2002).

De acordo com Hanson (1999), o foco principal de uma empresa de usinagem é manter a máquina-ferramenta “removendo” cavaco continuamente, mas é claro que é impossível alcançar este objetivo em sua plenitude.

Entretanto, com o uso de técnicas, métodos e equipamentos que possibilitem a redução dos tempos de *setup*, a proporção entre o tempo improdutivo (preparação da máquina, ferramenta, etc) tende a diminuir em relação ao tempo produtivo (usinando) de um processo.

Caussin (2001) apresenta três fatores básicos que controlam o tempo de *setup* em um processo de usinagem:

- ✓ Planejamento do trabalho envolvendo programação e documentação;
- ✓ Preparação e fixação de ferramentas e peça;
- ✓ Otimização dos processos de usinagem.

Segundo Caussin (2001), investindo pouco tempo, apenas organizando suas ferramentas, pode-se economizar muito tempo na montagem e preparação das ferramentas para o trabalho. Esta economia, em um ambiente produtivo com lotes diversificados, gira em torno de 1 hora em um turno diário de 8 horas, ou seja, 12 % do tempo total de produção no período.

Caussin (2001) apresenta cinco técnicas práticas para minimizar o tempo total gasto na operação de *setup* em máquinas-ferramenta:

- ✓ Documentação do trabalho;
- ✓ Preparação da ferramenta;
- ✓ Fixação da peça;
- ✓ Controle do processo e
- ✓ Desenvolvimento e transferência do programa.

Essas técnicas serão mais bem explicadas a seguir.

2.1.1.1. DOCUMENTAÇÃO DO TRABALHO

A não documentação de informações de *setups* de uma peça, pode gerar, futuramente, um desperdício de tempo caso seja necessário repetir uma atividade já executada e que demandou tempo para preparação do ferramental, dispositivos, parâmetros de usinagem, etc.

Para evitar esta situação, um documento ou folha de processo, pode ser feito com informações básicas, contendo instruções de montagens dos dispositivos de fixação e de orientação da peça, listas de ferramentas, dentre outras variáveis. Podem ser usadas também, máquinas fotográficas e/ou

vídeos, a fim de apresentar a montagem do dispositivo, da peça e do magazine de ferramentas (CAUSSIN, 2001).

2.1.1.2. PREPARAÇÃO DA FERRAMENTA

Para garantir a usinagem precisa de peças em máquinas-ferramenta CNC, o sistema de controle deve “saber” a posição da ferramenta no porta-ferramenta, ou magazine, e as dimensões das mesmas. Essas dimensões se referenciam a um ponto de ajustagem fixo no porta-ferramenta. (WEATHERALL, 1992).

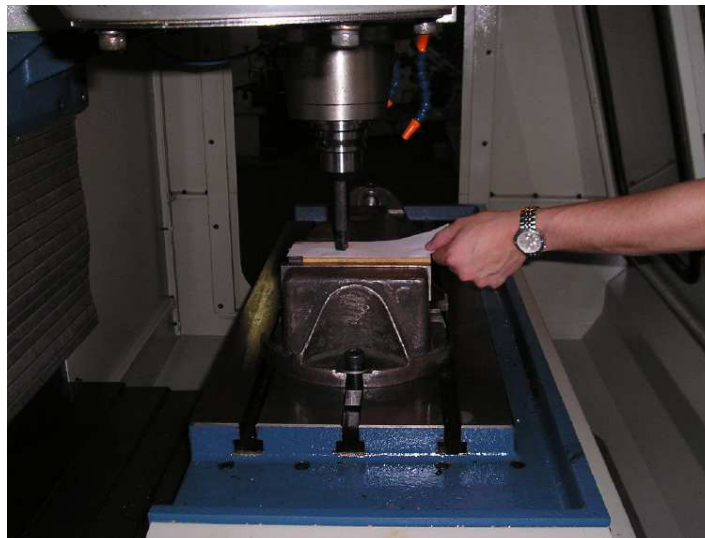
Inicialmente, deve-se localizar todas as ferramentas que serão utilizadas no processo. Este processo, na maioria das vezes, consome um elevado tempo, tendo em vista a desorganização do ferramental muitas vezes disposto por lugares distintos pela fábrica. Gruber (2001), apresentou um levantamento realizado numa empresa norte-americana, no qual o tempo de *setup* (localização, montagem e pré-ajustagem) girava em torno de 7 a 12 minutos por ferramenta.

Localizadas as ferramentas, deve-se definir suas dimensões. Este processo pode ser feito de três maneiras distintas:

- ✓ A primeira maneira para a determinação das medidas das ferramentas é a *pré-ajustagem manual*. Deve ser ressaltado que esta forma de preparação **NÃO** contribui para a redução do tempo de *setup* no processo de usinagem em máquinas CNC: A execução da pré-ajustagem manual de ferramentas é executada de duas maneiras:
 - **Medição manual na própria máquina** – é uma forma simples de medição do comprimento de ferramentas, e é utilizado o próprio comando CNC para o cálculo do comprimento. Para

isto basta encostar a aresta da ferramenta em uma superfície de referência da peça ou da máquina (ROMI, 1995). O operador aproxima a ferramenta e controla o contato da aresta sobre a superfície de referência geralmente utilizando uma folha de papel (Figura 1). Entretanto este tipo de procedimento requer experiência do operador, pois utiliza a movimentação manual aumentando o risco de danos da aresta de corte da ferramenta e demanda um tempo excessivo para a realização das medições.

- **Medição através da usinagem experimental** - inicialmente, o operador introduz manualmente no comando da máquina as medidas das ferramentas determinadas de forma aproximada. Após uma pequena usinagem experimental, mede-se a peça. Os desvios de medidas determinados em relação às dimensões do desenho, como dados de correção para a respectiva ferramenta, são introduzidos no comando da máquina manualmente pelo operador (DEGARMO *et al*, 1997).



FONTE: REBEYKA ET AL. (2005)

FIGURA 1 – MEDIÇÃO MANUAL NA PRÓPRIA MÁQUINA

- ✓ A segunda maneira é através da utilização de aparelhos externos de pré-ajustagem de ferramentas, conhecidos como *Presetters* (Figura 2). Estes equipamentos permitem executar o ajuste das ferramentas previamente e fora da máquina de maneira rápida e com precisão tal, que os dados de correção da ferramenta possam ser transferidos ao comando CNC com total confiança e sem perda de tempo (SIMON, 2001). As características deste tipo de equipamento serão mais bem explicadas em capítulos posteriores.

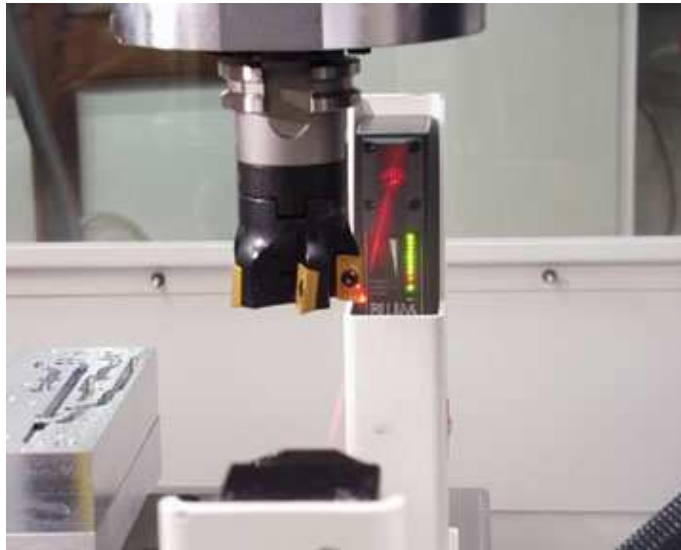


FONTE: IDC (2005)

FIGURA 2 – SISTEMA EXTERNO DE PRÉ-AJUSTAGEM (PRESETTERS)

- ✓ A terceira maneira é através de aparelhos internos de pré-ajustagem de ferramentas, conhecidos como *Tool-Settings* (Figura 3). Estes sistemas podem ser ópticos, por sensores de contato ou por medição a laser, e podem ser fixados em diversas partes da máquina. Em fresadoras CNC e centros de usinagem, normalmente são instalados na mesa da máquina-ferramenta. Neste caso, o conjunto de ferramentas é montado no magazine ou porta-ferramenta da máquina e a partir daí, através de uma sub-rotina do comando da máquina, as ferramentas são medidas uma a uma. Estas medidas são compensadas e introduzidas automaticamente no comando (SIMON,

2001). As características deste tipo de equipamento serão mais bem explicadas em capítulos posteriores.



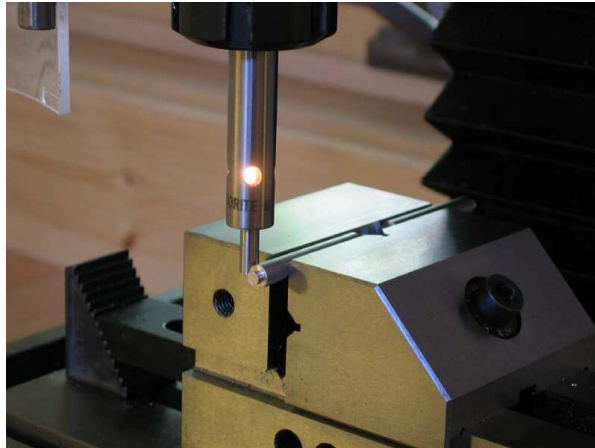
FORTE: BLUM (2005a)

FIGURA 3 – SISTEMA INTERNO DE PRÉ-AJUSTAGEM SEM CONTATO (TOOL SETTING LASER)

2.1.1.3. PREPARAÇÃO E FIXAÇÃO DA PEÇA

A preparação da peça para a usinagem pode ser um processo demorado, pois dependendo do produto a ser fabricado, como peças de superfícies complexas, são utilizados dispositivos complexos de fixação de forma a obter uma fixação precisa.

A maioria dos controles CNCs atuais possui rotinas automatizadas para fazer a preparação da peça para a usinagem, que permite fixar as correções a serem estabelecidas, com duração menor de tempo do que métodos convencionais. A localização das origens da peça é realizada com um simples *edge finder*, ou descobridor de extremidades (Figura 4), que detecta a posição da peça na área de trabalho da máquina-ferramenta, através do contato mecânico entre o sistema e a peça (CAUSSIN, 2001).



FONTE: PARALLAX (2005)

FIGURA 4 – EDGE FINDER (DESCOBRIDOR DE EXTREMIDADES)

Para um nível mais elevado de automatização, a localização da peça pode ser determinada pela detecção, através do contato de uma sonda de inspeção com a peça (Figura 5) que pode ser adicionada ao magazine da máquina-ferramenta. Tipicamente, a sonda seria a primeira ferramenta no fuso da máquina-ferramenta a capturar os pontos para calcular a posição da mesma (CAUSSIN, 2001).



FONTE: MARPOSS (2005a)

FIGURA 5 – SONDA DE INSPEÇÃO (LOCALIZAÇÃO DA PEÇA E INSPEÇÃO EM PROCESSO)

2.1.1.4. CONTROLE DO PROCESSO

Mudanças de condições de usinagem durante o processo oferecem outra oportunidade para economia de tempo. Um exemplo é detectar e compensar o desgaste da ferramenta sem interromper o processo, ou até mesmo detectar a quebra da ferramenta ou parte dela.

Uma das técnicas para o controle do processo é o emprego de sondas de inspeção durante a programação, para conferir diâmetros, posicionamentos e profundidades de furos (Figura 5). Deste modo, dados de ferramenta ou *offset* de ferramentas podem ser modificados, assegurando que as peças sejam usinadas dentro das tolerâncias estabelecidas (CAUSSIN, 2001).

Outro método utilizado para o controle do processo é a utilização de sistemas *Tool-Setting*, também conhecido por sistemas de *presetting* interno, para o monitoramento da ferramenta de corte, ajustando e compensando mudanças nas dimensões das ferramentas durante o processo e checando quebras (Figura 6). Considerando que estes métodos são automatizados, o tempo destinado para verificar o atual estágio de vida da ferramenta é reduzido (CAUSSIN, 2001).

Muitos controles oferecem características de gerenciamento de vida da ferramenta. O *Fadal Tool Life Management Systems* (Sistema de Gerenciamento da Vida da Ferramenta) da empresa norte-americana *Fadal*, fabricante de máquinas e comandos para máquinas operatrizes, por exemplo, é baseado no tempo efetivo de usinagem. Após o carregamento das ferramentas no magazine, é inserido no comando da máquina o tempo de vida da ferramenta (determinado pelo fabricante da ferramenta através de catálogos), que possibilita identificar e informar o momento ideal da troca da ferramenta (FADAL, 2005).



FONTE: MARPOSS (2005c)

FIGURA 6 – MONITORAMENTO DA FERRAMENTA EM PROCESSO(PRESETTING INTERNO)

2.1.1.5. DESENVOLVIMENTO E TRANSFERÊNCIA DO PROGRAMA

Shulz (1999), aponta que para se obter uma produção eficiente com máquinas CNC, a atividade de programação e transferência de programas deve atender as exigências crescentes de redução de custos, diminuição dos tempos de fabricação e elevada qualidade. Para tanto é fundamental que os meios de apoio a esta tarefa sejam eficientes e confiáveis.

Segundo Caussin (2001), são três as formas básicas de programação e transferência de programas CNC no comando da máquina:

- ✓ Programação e transferência do programa no chão-de-fábrica diretamente no comando da máquina;
- ✓ Programação e transferência do programa *off-line* essencialmente na sala de programação e desenvolvimento de produto;
- ✓ Combinação entre programação e transferência do programa dos itens anteriores.

Para empresas que programam diretamente no controle da máquina, alguns controladores permitem ao operador programar, editar e verificar graficamente programas, enquanto a máquina usina peças. A maioria destes controladores oferece sub-rotinas específicas de usinagem que minimizam o número de linhas para criar um programa. Muitos controladores baseados em PC oferecem a capacidade de operar um software CAM diretamente do controle da máquina e fazem alguns tipos de peças com programação mais rápida e fácil (CAUSSIN, 2001)

Para empresas que empregam programadores dedicados e operadores de máquinas, o tempo pode ser economizado usando um mesmo software CAD/CAM para programação *off-line* das peças. Com um servidor central que age como um armazenador de dados, podem ser armazenados programas CNC e informações de *setup*, que podem ser acessados por empregados autorizados.

Conectando o computador usado para programação e o controle da máquina-ferramenta em um servidor central, esta “interconexão” entre equipamentos possibilita uma transferência rápida de programas, com redução de tempo. Com uso de um servidor central, programas de peças podem ser carregados ou salvos diretamente no servidor. Desta forma, o operador nunca deixará a máquina recuperar e/ou salvar um programa de peça (CAUSSIN, 2001).

A partir do uso de servidor central, os programas passam a ser transmitidos às máquinas diretamente da memória do computador central, o que confere maior confiabilidade ao sistema (LYNCH, 1997).

2.1.2. ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE PRE-AJUSTAGEM DE FERRAMENTAS NO PARQUE INDUSTRIAL BRASILEIRO

Conforme apresentado anteriormente, o elevado tempo de *setup* em processos de usinagem em máquinas CNC, continuam ainda sendo uma realidade nas empresas de usinagem, especialmente no parque industrial brasileiro.

Esta realidade pode ser observada através do levantamento das condições da tecnologia CNC no parque industrial brasileiro realizado por Simon (2001), na qual foi pesquisado o índice de utilização de sistemas de pré-ajustagem de ferramentas em máquinas-ferramenta CNC.

Os resultados desta pesquisa serão mais bem explicados a seguir. Entretanto, primeiramente serão explicadas as diferenças entre as atividades de suporte gerais e as atividades de suporte específicas nos processo de usinagem em máquinas CNC.

2.1.2.1. ATIVIDADES DE SUPORTE NOS PROCESSOS DE USINAGEM EM MÁQUINAS CNC

Ao analisar as máquinas-ferramenta convencionais, verifica-se que para sua operação é necessária a execução de um conjunto de atividades. Estas atividades abrangem ações que vão desde o planejamento da operação, até a manutenção da máquina e podem ser denominadas de atividades de suporte. Dentre elas podem ser citadas (SIMON,2001):

- ✓ Elaboração do processo de fabricação;
- ✓ Preparação da máquina
- ✓ Colocação da matéria prima;
- ✓ Inspeção da qualidade da peça;
- ✓ Colocação e retirada da matéria prima e/ou peça;
- ✓ Manutenção da máquina.

Segundo Simon (2001), essas atividades são também necessárias à operação das máquinas-ferramenta CNC e, por serem comuns as duas aplicações, podem ser classificadas como *atividades de suporte gerais*.

Entretanto, sozinhas, as *atividades de suporte gerais* não são suficientes para colocar a máquina-ferramenta CNC em operação. Para isso são necessárias atividades adicionais, que podem ser denominadas *atividades de suporte específicas* à operação da mesma. Dentre estas atividades se destacam:

- ✓ Elaboração do programa CNC;
- ✓ Transferência do programa CNC, e
- ✓ Pré-ajustagem de ferramentas.

São estas *atividades de suporte específicas*, que diferenciam as máquinas-ferramenta CNC das convencionais e lhes conferem mais vantagens sobre estas últimas. Tanto as *atividades de suporte específicas*, como as *gerais*, não agregam valor ao produto e, portanto, precisam ser prioritariamente otimizadas.

2.1.2.2. ATUAL SITUAÇÃO

O levantamento das condições de utilização da tecnologia CNC no parque industrial brasileiro realizado por Simon (2001), apresentou o índice de utilização de sistemas de pré-ajustagem de ferramentas em máquinas-ferramenta CNC. A Tabela 2 apresenta a representatividade da pesquisa em relação ao número de empresas existentes no parque industrial brasileiro, pesquisadas anteriormente por Gonçalves (1999).

TABELA 2 – REPRESENTATIVIDADE DA PESQUISA REALIZADA POR SIMON (2001)

<i>Itens</i>	<i>Pesquisa do Parque Industrial Brasileiro (GONÇALVES, 1999)</i>	<i>Uso da tecnologia CNC no Parque Industrial Brasileiro (SIMON, 2001)</i>	<i>Representatividade da pesquisa de Simon (2001) x Gonçalves (1999)</i>
Quantidade de empresas que possuem máquinas convencionais e CNC	3.433	411	12,0
Quantidade de máquinas CNC (gerais)	20.424	2.292	11,2
Quantidade de máquinas CNC (específicas)	16.040	2.292	23,1

FONTE: ADAPTADO DE SIMON (2001) E GONÇALVES (1999)

As atividades específicas de suporte à operação das máquinas-ferramenta CNC pesquisadas foram: a elaboração do programa CNC, a transferência do programa CNC para a máquina e a pré-ajustagem de ferramentas de corte, a fim de determinar o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC e o total de horas improdutivas em relação a cada uma destas atividades. Devido ao escopo do trabalho apenas será analisada a atividade específica de pré-ajustagem de ferramentas.

A Tabela 3 apresenta o percentual geral de utilização das técnicas de programação, transferência de programas e pré-ajustagem de ferramentas no parque industrial brasileiro.

TABELA 3 – UTILIZAÇÃO DAS TÉCNICAS DE PROGRAMAÇÃO, TRANSFERÊNCIA DE PROGRAMAS E PRÉ-AJUSTAGEM DE FERRAMENTAS NO PARQUE INDUSTRIAL BRASILEIRO

Atividade de suporte	Técnica utilizada	Utilização⁴(%)
Elaboração (programas)	Programação manual	40,4%
	Programação via sistemas CAD/CAM	23,6%
	Programação assistida por computador	23,1%
	Programação via MDI ⁵	43,8%
Transferências (programas)	Transferência de dados via MDI	62,3%
	Fita perfurada	2,2%
	Sistema DNC/Computador PC	35%
	Transportador de dados/computador portátil	16,8%
Pré-ajustagem (ferramenta)	Não utilizam sistemas de <i>presetting</i>	77,4%
	Utilizam sistemas de <i>presetting</i>	22,6%

FONTE: ADAPTADO DE SIMON (2001)

Como pode-ser observado na Tabela 3, **77,4%** das empresas de usinagem brasileiras ainda utilizam da pré-ajustagem manual, fazendo com que suas máquinas permaneçam “paradas” por longos períodos para a realização da pré-ajustagem das ferramentas.

⁴ Deve ser ressaltado que o nível de utilização (%) das atividades de suporte, poderá não atingir 100% na soma das técnicas utilizadas, tendo em vista que muitas empresas utilizam-se de 2 (duas) ou mais técnicas em seu processo de usinagem

⁵ *Manual Data Input (MDI) – entrada de dados manual*

A seguir serão apresentadas algumas definições utilizadas na pesquisa feita por Simon (2001) para identificar o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC (I_u), tempo efetivamente disponível para o trabalho (T_t) e tempo total de horas improdutivas (T_{ti}).

O índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC (I_u) é definido como sendo a relação do tempo efetivamente disponível (T_t) para o trabalho, e do tempo total disponível (T_d). A Equação 1, apresenta o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC

$$I_u = \frac{T_t}{T_d}$$

EQUAÇÃO 1 – ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO DAS MÁQUINAS-FERRAMENTA CNC

O tempo realmente trabalhado ou tempo efetivamente disponível para o trabalho (T_t) é dado pela diferença entre o tempo total disponível (T_d) e o tempo improdutivo (T_i). A Equação 2, apresenta o tempo efetivamente disponível

$$T_t = T_d - T_i$$

EQUAÇÃO 2 – TEMPO EFETIVAMENTE DISPONÍVEL

O tempo improdutivo (T_i), é definido por Simon (2001) com sendo aquele, na qual a máquina fica parada, sem produzir cavaco, e, portanto, não agregando valor ao produto, como por exemplo:

- ✓ Máquina parada para manutenção;
- ✓ Falta de ferramental;
- ✓ Falta de matéria prima;

- ✓ Falta de operador;
- ✓ Preparação da máquina.

O tempo total de horas improdutivas (T_{ii}), é dado pela diferença entre o tempo total disponível (T_d) e o tempo realmente trabalhado (T_t). A Equação 3, apresenta o tempo total de horas improdutivas.

$$T_{ii} = T_d - T_t$$

EQUAÇÃO 3 – TEMPO TOTAL DE HORAS IMPRODUTIVAS

Baseados, nas definições de Simon (2001) descritas nos parágrafos anteriores, Correr *et al.* (2005) apresentaram uma avaliação do tempo total de horas improdutivas (T_{ii}) e do índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC (I_u) em uma empresa de usinagem a partir da utilização da técnica **manual** de pré-ajustagem de ferramentas.

A empresa pesquisada por Correr *et al.*, (2005), possuía 51 máquinas-ferramenta CNC, entre tornos, fresadoras CNC, centros de usinagem, etc., e trabalhava em dois turnos diários de 8 horas, totalizando anualmente um tempo total disponível (T_d) de 205.632 horas. O índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC em função da técnica **manual** de pré-ajustagem de ferramentas calculado foi de **93%**, gerando um volume de **15.477 horas** improdutivas/ano para empresa. Este valor de horas improdutivas, multiplicado pelo valor hora/máquina (R\$ 40,00) da empresa pesquisada, gera para a mesma um prejuízo de aproximadamente **R\$ 619.080,00 ano**.

O cenário apresentado no parágrafo anterior é apenas um de muitos, que ocorrem diariamente nas empresas de usinagem do Parque Industrial Brasileiro e no exterior. No decorrer do trabalho serão apresentadas novas pesquisas realizadas sobre os tempos envolvidos na etapa de pré-ajustagem

de ferramentas manual, e que prejudicam o aumento da capacidade competitiva das empresas em relação à flexibilidade, melhoria da qualidade, redução dos tempos de ciclos e na habilidade de produzir lotes pequenos de maneira econômica.

Em um levantamento realizado por Correr *et al* (2006), com o intuito de determinar o nível de utilização, além dos motivos que dificultam a implantação de sistemas de *presetting* de ferramentas em empresas de usinagem de pequeno, médio e grande porte da região da cidade de Santa Bárbara d'Oeste-SP, foi possível determinar que a grande maioria das empresas pesquisadas (20 empresas), aproximadamente 90% destas, não utiliza este tipo de tecnologia pelo alto custo de aquisição e manutenção destes sistemas, como também foi possível relatar que empresas menores desconheciam este tipo de tecnologia.

A seguir serão apresentadas pesquisas realizadas no Brasil, sobre as atividades de pré-ajustagem de ferramentas, além de propostas de sistemas automáticos para pré-ajustagem de ferramentas, que visam atender a este cenário.

Rebeyka *et al.* (2005), apresentaram um levantamento das formas de medir as ferramentas utilizadas em máquinas-ferramenta CNC, avaliando as suas características relacionadas às limitações para a integração no sistema de manufatura. Este levantamento foi realizado em 27 empresas da região de Curitiba-PR objetivando mapear um quadro local para este tema, e através deste trabalho pode-se concluir que nenhuma das técnicas de pré-ajustagem encontradas está devidamente integrada ao sistema de manufatura.

Volpato *et al.* (2004), propuseram um sistema de baixo custo (via DNC), para a integração de máquinas de medição de ferramentas (*presettters* de ferramentas) com máquinas CNC, pois algumas máquinas do ambiente

industrial não dispõem de interfaces adequadas, permanecendo isoladas ao sistema de manufatura.

Em busca da redução do tempo de *setup*, da atividade de pré-ajustagem de ferramentas, Vieira Jr. *et al.* (2004, 2005a,b,c), propuseram o desenvolvimento de um sistema de pré-ajustagem de ferramentas utilizando um sistema de monitoramento via emissão acústica (EA) para identificar o momento de contato entre as ferramentas de um centro de usinagem e o dispositivo de pré-ajustagem instalado na máquina.

2.2. SISTEMAS DE PRÉ-AJUSTAGEM DE FERRAMENTAS (*PRESETTING*)

Pode-se observar que a pré-ajustagem de ferramentas interfere diretamente no tempo de *setup* do processo de usinagem em máquinas CNC, além de ser uma das atividades de suporte de preparação da máquina CNC que mais contribui para o aumento do tempo improdutivo no processo de usinagem, e conseqüentemente no custo total do processo.

Segundo Fullone (2002), fazer uma checagem criteriosa nas máquinas-ferramenta, antes de qualquer usinagem, ajudará a assegurar um produto de qualidade. Determinar a condição da ferramenta é uma das variáveis que podem influenciar na qualidade do produto.

Atualmente, existem no mercado sistemas de pré-ajustagem de ferramenta, que são valiosas ferramentas para redução do tempo de *setup* (FULLONE, 2002). Estes sistemas são designados para o uso em máquinas ferramentas CNC, pois neste tipo de processo é essencial saber as características de cada ferramenta individualmente (comprimento, diâmetro, etc), a fim de garantir a qualidade do produto final (ARONSON, 2000).

Em resumo estes sistemas informam ao controle da máquina, de forma automática (sistemas interligados e ou integrados na máquina-ferramenta) ou semi-automática (sistemas desprovidos de comunicação direta com o comando

da máquina) as dimensões das ferramentas que serão usadas. Estas informações são transferidas ao programa CNC que compensa e armazena estas informações (ARONSON, 2000).

Sistemas de pré-ajustagem de ferramentas podem ser divididos em duas categorias distintas:

- ✓ **Presetters** – equipamentos de medição de ferramentas de uso externo em máquina-ferramenta, capazes de reduzir consideravelmente os tempos gastos na pré-ajustagem de ferramentas, e
- ✓ **Tool-Settings** – equipamentos de medição de ferramentas de uso interno em máquinas-ferramenta, além de reduzir o tempo gasto na pré-ajustagem, é um importante sistema para o controle do processo de usinagem, monitorando e verificando problemas relacionados às condições das ferramentas de corte.

Esses sistemas serão mais bem explicados e exemplificados na seqüência deste trabalho. Entretanto é importante ressaltar que, para facilitar a compreensão técnica destes sistemas os mesmos serão apresentados da seguinte maneira:

- ✓ **Sistemas de Presetting⁶ “externo”** – para os sistemas de *presetters* em geral, tendo em vista a medição da ferramenta ser realizada “EXTERNAMENTE” da máquina-ferramenta CNC.
- ✓ **Sistema de Presetting “interno”** – para os sistemas *Tool-Settings* em geral, considerando a medição da ferramenta ser realizada “INTERNAMENTE” na máquina-ferramenta.

2.2.1. SISTEMAS DE *PRESETTING* EXTERNO

Presetting externos estão presentes na indústria desde os anos 40 sob várias formas, mas só começaram a ter uso crescente recentemente, para verificar as ferramentas desde o início da produção. Esta tendência desenvolveu principalmente, porque a maioria das operações industrial já não pode mais tolerar o método manual de pré-ajustagem de ferramentas, e a tradicional forma de “tentativa-e-erro” (ARONSON, 2000).

De uma forma geral, *presetting* externos executam o ajuste das ferramentas previamente e fora da máquina de maneira rápida e com tal precisão que os dados de correção de ferramenta podem ser transferidos ao comando da máquina com total confiança e sem perda de tempo (WICK, 1995).

De acordo com Simon (2001), os *presetting* externos são fabricados nas mais diversas configurações e capacidades. Podem ser dotados de inúmeros recursos, desde concepções simples que utilizam relógios comparadores, até as mais sofisticadas, equipadas com sistemas ópticos, adaptadores de porta-ferramenta com troca-rápida, interfaceamento com sistemas de gerenciamento de ferramentas e DNC (*Distributed Numerical Control*).

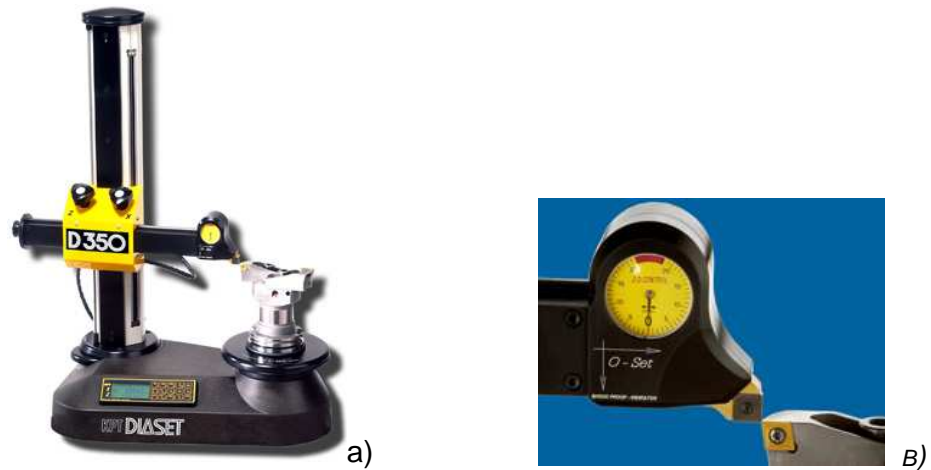
Realizando uma pesquisa via internet (GOOGLE, 2006a), através da palavra-chave “presetter”, é possível encontrar um grande número de modelos e marcas destes equipamentos, dos quais se destacam *Zooler (USA)*, *Elbo Controlli (Itália)* e *PWB (Suíça)*.

⁶ O termo “sistema de *presetting*” é comumente utilizado nas empresas de usinagem para identificar os equipamentos de “*presettters*” utilizados externamente, e “*tool-settings*” utilizado internamente na máquina-ferramenta.

2.2.1.1. TIPOS DE *PRESETTING* EXTERNOS

Os *presetting* externos disponíveis no mercado utilizam sistemas de toque mecânico ou óptico para determinar as dimensões da ferramenta. Sua medição pode ser manual ou automática.

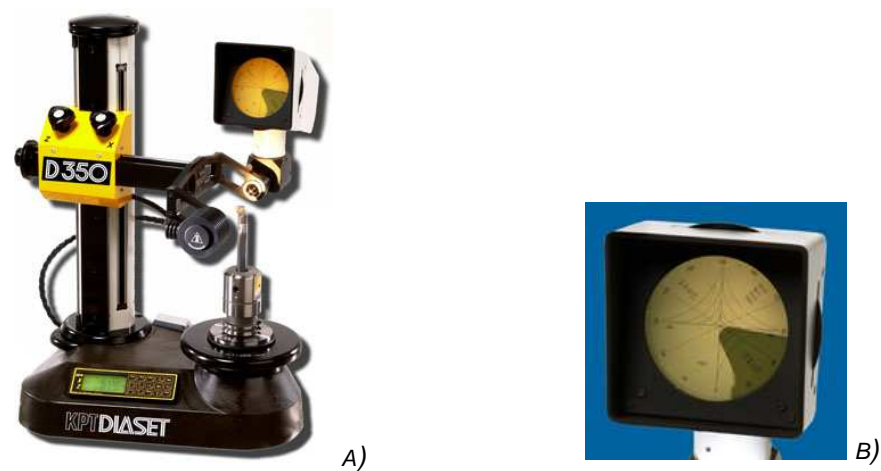
- ✓ ***Presetting externo manual.*** Geralmente são os mais simples, em relação aos sistemas de *presetting* externos com tecnologia mais avançada, e por isso custam menos, de US\$ 5.000 a US\$ 15.000. Entretanto, pela simplicidade do sistema e dos equipamentos utilizados (réguas, relógios comparadores, etc) dependem diretamente da sensibilidade do operador que está executando a medição das ferramentas o que pode gerar erros na medição (FULLONE, 2002). Exemplos de sistemas:
 - ***Presetting externo mecânico*** (Figura 7a). Fáceis de serem manuseados, todavia, requerem um operador altamente qualificado e treinado. Como a detecção da ferramenta é feita por contato mecânico (Figura 7b), o operador deve girar a ferramenta para determinar a parte mais saliente da mesma para efetuar a medição (McCARTHY, 1996; FULLONE, 2002).
 - ***Presetting externo com projetor óptico*** (Figura 8a). Exigem menos habilidade para operar, mas a subjetividade ainda é um assunto em questão. Neste sistema, uma sombra da ferramenta de corte entra em visão (Figura 8b). O operador gira a ferramenta até identificar visualmente a extremidade da ferramenta de corte (FULLONE, 2002; ARONSON, 2000).



FORNTE: BIG KAISER (2005)

FORNTE: BIG KAISER (2005)

FIGURA 7 – PRESETTING EXTERNO MANUAL: A) EQUIPAMENTO; B) DETALHE DO CONTATO MECÂNICO DO SISTEMA



FORNTE: BIG KAISER (2005)

FORNTE: BIG KAISER (2005)

FIGURA 8 – PRESETTING EXTERNO COM PROJETOR ÓPTICO: A) EQUIPAMENTO; B) DETALHE DA SOMBRA DA FERRAMENTA

- ✓ **Presetting externo automático.** Possuem equipamentos e instrumentos de tecnologia mais avançada (laser, réguas ópticas, máquina fotográfica, etc). São os que possuem o custo mais elevado

entre os sistemas de *presetting* externo, a partir de US\$ 30.000. Entretanto, eliminam o erro do operador, tendo em vista que a função do operador é apenas mover o sensor para a área da ferramenta (McCARTHY, 1996; ARONSON, 2000), Exemplo:

- ***Presetting externo de máquina fotográfica*** (Figura 9). São os mais fáceis de utilizar, e os mais avançados. Estes sistemas eliminam a subjetividade visual e/ou conjeturas (foto da ferramenta), pois o sistema automaticamente indica o diâmetro e o comprimento máximo, ou seja, um outro operador pode levar a mesma ferramenta, recarregá-la e girá-la novamente no equipamento de *presetting* externo, e irá adquirir os mesmos valores dimensionais da ferramenta (FULLONE, 2002).



FORTE: PWB (2005)

FIGURA 9 – PRESETTING EXTERNO DE MÁQUINA FOTOGRÁFICA

Os *presetting* externos, com tecnologia mais avançada podem investigar parte por parte a ferramenta, ou no caso aresta por aresta, e determinar se existem falhas em uma delas. Esta característica é importante porque a meta em muitas indústrias é reduzir o tempo para produção de uma peça. Como resultado a esta tendência, os fabricantes de ferramentas de corte estão produzindo ferramentas que estão se tornando cada vez mais complexas a fim

de reduzir o número de ferramentas necessárias para execução de um processo de usinagem e, conseqüentemente, estas se tornam mais caras. Portanto, qualquer falha na pré-ajustagem de ferramentas executada manualmente pode causar danos ao ferramental e ao produto e conseqüentemente, o aumento do custo do processo, tendo em vista a necessidade de substituição da ferramenta avariada (ARONSON, 2000; BRAMLET, 2005).

2.2.2. SISTEMAS DE *PRESETTING* INTERNO

Em 1972 um desenhista criou a primeira sonda de inspeção para processos de usinagem do tipo “*Probe touch trigger*” (Figura 10), para resolver uma exigência de inspeção de complexos tubos de combustível dos motores da aeronave Concorde, devido à precisão requerida para evitar deflexões no diâmetro dos tubos (SAUNDERS, 1998).



FONTE: WALKER (2003)

FIGURA 10 – *PROBE TOUCH TRIGGER* USADO EM MÁQUINAS DE MEDIR POR COORDENADAS

A sonda do tipo “*Probe Touch Trigger*”, se tornou um sucesso e revolucionou o uso de Máquinas de Medir por Coordenadas (MMC) para

inspeção pós-processo de componentes fabricados. Desde então, estes sistemas têm sido encontrados em um vasto campo de aplicações em máquinas-ferramenta, aumentando a automação dos processos de produção, e permitindo às empresas entregar componentes precisos, minimizando o desperdício e maximizando a produtividade (SAUNDERS, 1998).

Entretanto, com o advento da tecnologia, sondas para máquinas-ferramenta têm sido beneficiadas desses desenvolvimentos, e um vasto número de sistemas de sondas pode agora satisfazer todas as exigências. Sistemas de sondas para máquinas-ferramenta CNC entram em duas categorias principais: inspeção e pré-ajustagem (SAUNDERS, 1998).

Devido ao escopo deste trabalho, apenas serão explicados detalhadamente os sistemas de sondas para pré-ajustagem de ferramentas, ou *presetting* internos.

Realizando uma pesquisa via internet (GOOGLE, 2006b), através da palavra-chave "*tool-setting*", é possível encontrar vários fabricantes destes equipamentos, dos quais se destacam: *Renishaw (Reino Unido)*, *Marposs (Itália)* e *Blum (Alemanha)*, todas empresas estrangeiras.

2.2.2.1. TIPOS DE PRESETTING INTERNOS

Os sistemas existentes no mercado são usados em máquinas-ferramenta para conferir o diâmetro e comprimento da ferramenta automaticamente, corrigir e compensar tolerâncias das ferramentas de corte antes da usinagem, como também monitorar o desgaste e quebra das mesmas.

Estes sistemas possuem um *software* instalado junto ao comando da máquina, que executa automaticamente ou semi-automaticamente as etapas

de pré-ajustagem e checagem da condição da ferramenta durante o processo de usinagem. Existem dois tipos de *presetting* internos:

- ✓ ***Presetting internos por contato (Tool-Setting Probe)***. Estes equipamentos utilizam sensores e dispositivos para detecção de contato da ferramenta com o equipamento compensando, comprimento, diâmetro e identificando avarias nas ferramentas. Estes sistemas são utilizados principalmente em centros de torneamento (Figura 11a), tornos CNC (Figura 11b) e centros de usinagem (Figura 12a e Figura 12b).

- ✓ ***Presetting interno sem contato (Tool Setting Laser)***. Diferentemente dos sistemas por detecção de contato, nestes sistemas um sistema laser detecta a ferramenta, detectando e/ou compensando as medidas (comprimento e diâmetro) e checando avarias. Estes sistemas são utilizados principalmente em centros de usinagem (Figura 13).



a)

FONTE: RENISHAW (2005b)



b)

FONTE: MARPOSS (2005 b)

FIGURA 11 – PRESETTING INTERNO POR CONTATO – A) CENTRO DE TORNEAMENTO; B) TORNOS CNC



A)

FONTE: BLUM (2005 b)



B)

FONTE: HEIDENHAIN (2005)

FIGURA 12 – PRESETTING INTERNO POR CONTATO PARA CENTRO DE USINAGEM: A) COMPRIMENTO DA FERRAMENTA; B) COMPRIMENTO E DIÂMETRO DA FERRAMENTA



FONTE: MARPOSS (2005 c)

FIGURA 13 – TOOL SETTING LASER (CENTRO DE USINAGEM)

2.2.3. PRÉ-AJUSTAGEM DE FERRAMENTAS

Uma parcela relativamente grande do tempo de *setup* de máquinas-ferramenta é consumida na pré-ajustagem das ferramentas, ou seja, na determinação e correção das suas medidas. A análise e redução dos tempos envolvidos nesta etapa do processo de manufatura, conseqüentemente, são de fundamental importância para se obter um maior tempo produtivo disponível da máquina (SIMON, 2001).

Beard (1998), sugere que o ideal é fornecer para a máquina-ferramenta um conjunto de ferramentas completamente qualificado para um determinado trabalho, antes de iniciar a etapa de preparação da máquina. Uma vez montadas as ferramentas nos seus respectivos alojamentos, parte-se imediatamente para a produção, sem necessidade de a ferramenta tocar a peça e sem necessidade de peça teste.

2.2.4. PRÉ-AJUSTAGEM MANUAL

Um dos processos mais utilizados por usuários de máquinas ferramentas CNC, para a determinação das medidas da ferramenta é a técnica de pré-ajustagem manual das ferramentas, que faz da máquina-ferramenta um dispositivo de medição (ARONSON, 2000).

Conforme comentado, existem dois métodos para a pré-ajustagem manual, sendo o primeiro método o da medição manual direta na máquina, e o segundo método através da usinagem experimental.

As etapas para realização da pré-ajustagem de ferramentas através da medição manual direta na máquina-ferramenta CNC são basicamente (VOLPATO *et al.*, 2004):

- ✓ Escolher as ferramentas a serem utilizadas;
- ✓ Montar as ferramentas nos suportes;
- ✓ Inserir todas as ferramentas a serem utilizadas na usinagem no magazine da máquina;
- ✓ Determinar uma superfície como referência; normalmente a primeira ferramenta é movimentada ao longo dos seus eixos para localizar a peça nos eixos X,Y e Z (referenciamento da peça, ou zero peça);
- ✓ Mover as ferramentas individualmente ao longo dos seus eixos até tocar a face superior da peça referenciada anteriormente (eixo Z), para determinação do comprimento da ferramenta;
- ✓ Tocar a ferramenta na peça para determinar o comprimento da mesma. Nesta etapa o operador controla o contato da aresta da ferramenta sobre a superfície de referência (face superior da peça) geralmente utilizando uma folha de papel (Figura 1). Este tipo de procedimento requer experiência do operador, pois utiliza a movimentação manual aumentando o risco de danos na aresta de corte da ferramenta;
- ✓ E por fim, armazenar os valores da correção das medidas da ferramenta, no comando da máquina.

Outro método utilizado por usuários de máquinas-ferramenta CNC, para a pré-ajustagem, é a medição das ferramentas através da usinagem experimental com posterior medição da peça e correção dos dados da ferramenta.

As etapas para realização da pré-ajustagem de ferramentas através da usinagem experimental são basicamente (DEGARMO *et al.*,1997):

- ✓ Escolher as ferramentas a serem utilizadas;
- ✓ Montar as ferramentas nos suportes;
- ✓ Inserir todas as ferramentas a ser utilizadas na usinagem no magazine da máquina;
- ✓ Introduzir no comando da máquina as medidas das ferramentas determinadas de forma aproximada;
- ✓ Executar uma pequena usinagem experimental;
- ✓ Medir a peça;
- ✓ Determinar os desvios de medidas em relação às dimensões do desenho da peça e introduzi-los no comando, como dados de correção para a próxima ferramenta.

Dependendo do tipo de máquina, estes dois métodos de pré-ajustagem consomem em média, de 50% a 75% do tempo gasto na substituição de uma ferramenta. Durante estes processos de pré-ajustagem, a máquina não está produzindo cavaco, o que compromete a sua produtividade, além de estar limitada pela habilidade do operador (WICK, 1995).

2.2.4.1. PRÉ-AJUSTAGEM EXTERNA

Saunders (1998), menciona que automatizando o processo de pré-ajustagem de ferramentas, além dos ganhos em velocidade de processo, o uso de um sistema *presetting* externo possibilitará, aumento na precisão e operação livres de erros.

Como apresentado anteriormente, existem diferentes tipos de *presetting* externos, mas as etapas para a realização da pré-ajustagem de ferramentas são semelhantes entre si, e resume-se em:

- ✓ Escolher as ferramentas a serem utilizadas;
- ✓ Montar as ferramentas nos suportes;
- ✓ Posicionar a ferramenta no suporte de fixação do *presetting* que possui o alojamento idêntico ao da fixação da ferramenta no eixo árvore principal da máquina CNC, servindo como sistema de referência entre o equipamento e o eixo árvore (Figura 14);
- ✓ Determinar as dimensões da aresta de corte das ferramentas, em relação ao ponto de referência do sistema;
- ✓ Determinar as medidas da ferramenta;
- ✓ Transferir as medidas ao comando da máquina.

Deve-se ressaltar, que todas as etapas descritas anteriormente são realizadas como atividades de *setup* externo (SHINGO, 1996), ou seja, enquanto a máquina está usinando, o operador pode montar e medir as peças no *presetting* externo para o próximo trabalho. No final do processo, todas as ferramentas são retiradas, e o magazine é recarregado com as ferramentas pré-ajustadas para o próximo processo.

Presetting externo pode ser montado em uma área de trabalho separada, uma sala de pré-ajustagem ou laboratório de metrologia. Também pode ser montado no chão de fábrica onde os operadores podem usá-lo. Neste caso, um operador pode pré-ajustar as ferramentas enquanto a máquina em que trabalha está usinando (ARONSON, 2000).

De acordo com Zooler (1998) a medição de ferramentas fora da máquina conduz a economias significativas e pode aumentar a produtividade de uma empresa em pelo menos 12,5%. Wick (1995) comenta que com o uso de *presetting* externo, os ajustes na primeira peça podem ser reduzidos ou mesmos eliminados, dependendo da tolerância requerida. É um meio rápido e confiável para medição de diâmetros e comprimentos de ferramentas, que elimina a necessidade de usar a máquina como dispositivo de medição de ferramenta.

FORTE: PWB (2005)

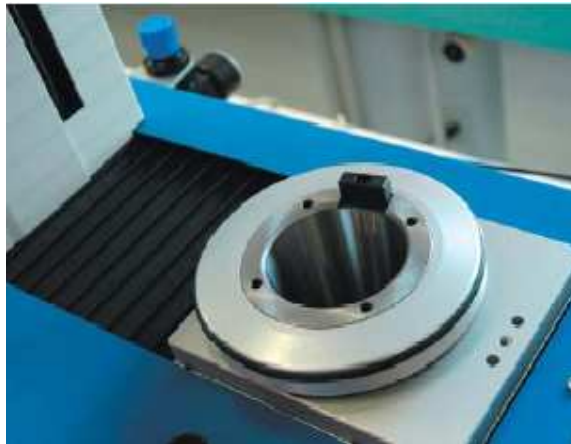


FIGURA 14 – SUPORTE DE FIXAÇÃO DE TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTA (PRESETTING EXTERNO)

Aronson (2000), aponta a pré-ajustagem de ferramentas como um grande benefício na produção de qualquer volume. Entretanto a pré-ajustagem de ferramentas pode ser mais importante quando o produto é em baixo volume e as peças produzidas são de alta precisão, devido ao custo do produto e erros proveniente de uma pré-ajustagem sem qualidade.

Gruber (2001), apresenta que uma empresa norte-americana reduziu de 6,4 horas para 1,5 horas o tempo de *setup* utilizando um sistema de *presetting* externo. Com aproximadamente 3.200 *setups*/ano, a empresa economizou 15.580 horas ou especificamente US\$ 470.000 anuais.

Aronson (2000), apresenta que o uso de um *presetting* externo em uma empresa norte-americana gerou uma redução do número de descarte de peças

por turno de 8% para 0,5%, melhorando a precisão da medição das ferramentas em 70% e controlando o tempo improdutivo da máquina.

A Tabela 4 apresenta o tempo adicional gasto na atividade de pré-ajustagem de ferramentas em um centro de usinagem. Estes valores são fornecidos pela empresa norte-americana *Davis Tool*, divisão de ferramentas do grupo *Gidding Lewis*, em conjunto com a empresa alemã *Zoller*, tradicional fabricante de aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas.

TABELA 4 – REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP EM CENTRO DE USINAGEM ATRAVÉS DA PRÉ-AJUSTAGEM DE FERRAMENTAS

Operação	Ferramenta Pré-Ajustada	Ferramenta não Pré-Ajustada
Colocar a ferramenta no magazine	20 s	20 s
Mover até a face da peça, calcular correção, retornar a ferramenta para a posição anterior.	---	130 s
Entrar com a correção da ferramenta	30 s	30 s
Executar a usinagem	Igual	Igual
Verificar dimensão	---	30 s
Tempo necessário para preparação de uma ferramenta	50 s	210 s
Redução de tempo através da pré-ajustagem	160 s = 2,66 min	

FONTE: ADAPTADO DE SIMON (2001)

Fullone (2002), apresenta que um típico cenário de usinagem envolvendo 20 ferramentas, no qual o operador pode gastar, posicionando e tocando todas as ferramentas a fim de pré-ajustá-las, aproximadamente de 1 a 1,5 horas, que representa de 12 a 18% de um turno de trabalho de 8 horas. O uso de um sistema *presetting* externo junto a um carrossel adicional de 20 ferramentas melhoraria a produtividade substancialmente. Enquanto a máquina estaria usinando, um *presetting* externo pode medir e montar o segundo jogo

de 20 ferramentas. No final do ciclo e após a remoção da peça finalizada, o magazine é recarregado com todas as ferramentas pré-ajustadas para iniciar outro trabalho.

De acordo com Zoller (1998) e Beard (1998), com o uso de *presetting* externo para a pré-ajustagem das ferramentas, as mesmas se tornam mais confiáveis desde o início do processo, tendo em vista que alguns problemas podem ser detectados e ou eliminados. Por exemplo, eliminar trincas ou quebras de insertos e/ou ferramentas, resultado do toque ríspido da aresta da ferramenta com a peça, em uma típica pré-ajustagem manual.

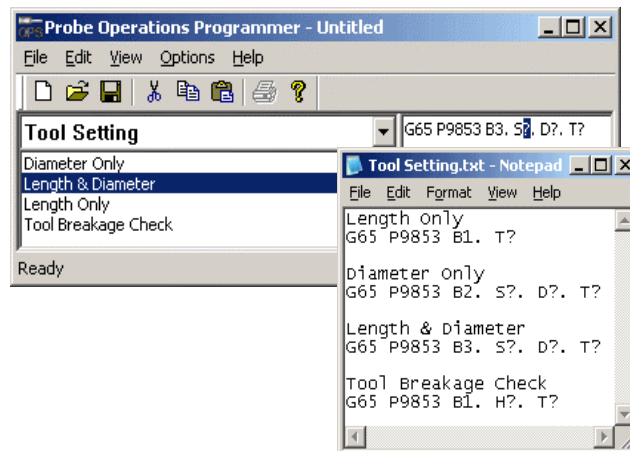
Segundo Beard (1998), a utilização de *presetting* externo não apenas permite eliminar os tempos gastos no processo de pré-ajustagem de ferramentas, mas também, obtém ganhos em produtividade, reduções de custos e tempos do ciclo de fabricação. Além disso, este procedimento permite reduzir a taxa de refugo decorrente da atividade de preparação, e provê um meio de identificar problemas de disponibilidade de ferramentas antes de se iniciar a preparação da máquina e aumenta o tempo de arranque do cavaco em pelo menos 20%.

A seguir serão apresentados outros benefícios, além da redução do tempo de *setup*, resultantes da aplicação de *presetting* externo em chão de fábrica.

Redução do erro humano

Diferentemente de um elevado número de *presetting* externos, especialmente os mais simples (sistemas mecânicos e ópticos) em que é necessário “digitar” diretamente no painel de controle da máquina as medidas determinadas pelo sistema de *presetting*, alguns sistemas de *presetting* externos modernos possuem tecnologia que permitem traduzir os valores de medidas coletados em código de máquina – Código G (Figura 15) e transferir

estes dados diretamente ao comando da máquina, via rede DNC por exemplo. Além da redução do tempo de transferência manual das medidas no comando, estes sistemas modernos eliminam erros de digitação, provenientes da transferência manual das medidas no comando.



FONTE: PROBEOPS (2005)

FIGURA 15 – MEDIDAS TRADUZIDAS EM CÓDIGO G DA MÁQUINA

Presetting externo também pode ser interconectado a um software adicional de gerenciamento que permite ao usuário criar pacotes ou agrupamentos de ferramentas, para cada máquina ou peça. Com esta prática de pré-ajustagem de ferramentas, as informações podem ser salvas num computador central de forma que o usuário, acessando estas informações, obtenha o jogo de ferramentas e seus respectivos valores disponíveis para o próximo trabalho a ser executado. Se o usuário preferir pode atribuir informações para cada montagem de ferramenta, de forma que o mesmo descubra qual pino de fixação, suporte de ferramenta, inserto, etc. é necessário utilizar para a montagem específica de qualquer ferramenta (FULLONE, 2002.)

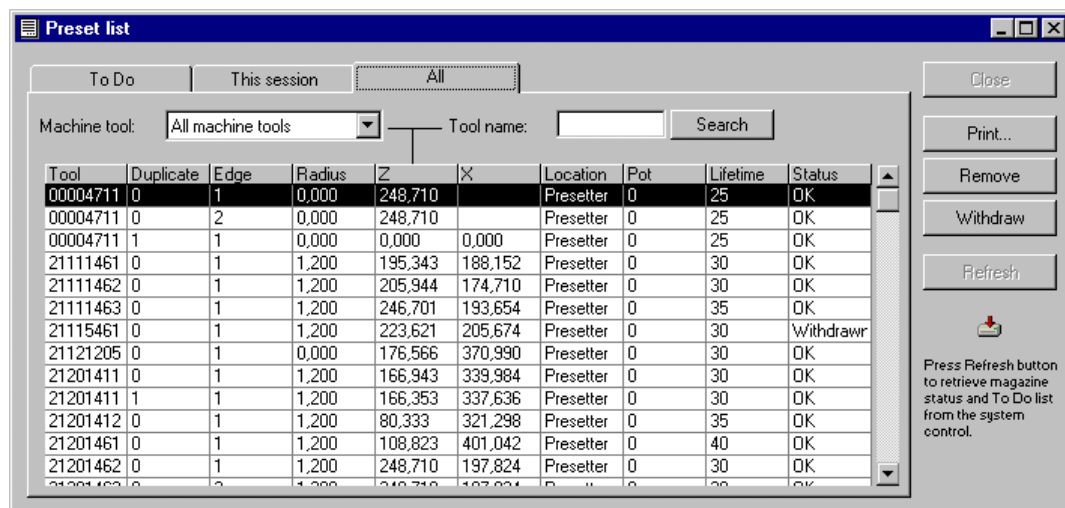
Aumento na precisão da medição

A maioria dos *presetting* externos medem com precisão excepcional de 0,001 mm. Estes sistemas fazem algo mais que medir e compensar o

comprimento da ferramenta. Qualquer *presetting* externo com um sistema óptico e/ou com máquina fotográfica permite aos operadores identificar problemas na pré-ajustagem de ferramentas que não pode ser observado e identificado apenas com a inspeção visual. Por exemplo, é possível determinar se todos os insertos ou arestas de uma ferramenta de desbaste estão com o mesmo diâmetro e comprimento. Se não estão, problemas com a peça e/ou processo podem surgir: acabamento superficial ruim, vibração e trepidação. Estes problemas são descobertos facilmente em um *presetting* externo óptico e/ou máquina fotográfica (FULLONE, 2002).

Gerenciamento das ferramentas

Alguns sistemas de *presetting* externos possuem softwares que trabalham em conjunto com outros softwares de controle (Figura 16). Nesta configuração é possível construir um histórico de desempenho das ferramentas em forma de arquivo. Este não possibilita apenas comparar o desempenho da ferramenta em apenas um setor da empresa, mas em sua totalidade.



The screenshot shows a software window titled "Preset list". It has a menu icon and window controls (minimize, maximize, close). Below the title bar are three tabs: "To Do", "This session", and "All". Under the "All" tab, there is a "Machine tool" dropdown menu set to "All machine tools", a "Tool name:" text input field, and a "Search" button. The main area contains a table with the following columns: Tool, Duplicate, Edge, Radius, Z, X, Location, Pot, Lifetime, and Status. The table lists various tool IDs and their corresponding parameters. On the right side of the window, there are several buttons: "Close", "Print...", "Remove", "Withdraw", and "Refresh". Below the "Refresh" button is a small icon of a refresh symbol and a text instruction: "Press Refresh button to retrieve magazine status and To Do list from the system control."

Tool	Duplicate	Edge	Radius	Z	X	Location	Pot	Lifetime	Status
00004711	0	1	0,000	248,710		Presetter	0	25	OK
00004711	0	2	0,000	248,710		Presetter	0	25	OK
00004711	1	1	0,000	0,000	0,000	Presetter	0	25	OK
21111461	0	1	1,200	195,343	188,152	Presetter	0	30	OK
21111462	0	1	1,200	205,944	174,710	Presetter	0	30	OK
21111463	0	1	1,200	246,701	193,654	Presetter	0	35	OK
21115461	0	1	1,200	223,621	205,674	Presetter	0	30	Withdraw
21121205	0	1	0,000	176,566	370,990	Presetter	0	30	OK
21201411	0	1	1,200	166,943	339,984	Presetter	0	30	OK
21201411	1	1	1,200	166,353	337,636	Presetter	0	30	OK
21201412	0	1	1,200	80,333	321,298	Presetter	0	35	OK
21201461	0	1	1,200	108,823	401,042	Presetter	0	40	OK
21201462	0	1	1,200	248,710	197,824	Presetter	0	30	OK
21201462	0	1	1,200	248,710	197,824	Presetter	0	30	OK

FONTE: QPLUS (2005)

FIGURA 16 – SOFTWARES DE GERENCIAMENTO DE FERRAMENTAS

Alguns softwares oferecem um sistema de troca de dados que ajuda gerenciar as ferramentas, permitindo aos usuários “chamar” dados de peças a serem usinadas posteriormente, ajudando a estabelecer previamente um programa para a nova peça, bem como identificando quais as ferramentas estarão disponíveis para o trabalho. No caso, os dados das ferramentas podem ser transmitidos de forma manual ou automática ao CNC. Em alguns sistemas, um circuito integrado ou etiqueta fixada na ferramenta (Figura 17), armazena todos os dados necessários da mesma, o qual é reconhecido posteriormente quando a ferramenta é chamada do magazine para a usinagem. Quando uma determinada ferramenta é chamada, esta é fixada no fuso e começa a cortar. O programa CNC sabe compensar erros daquela ferramenta particularmente com antecedência (ARONSON, 2000; BRAMLET, 2005).



a)



b)

FONTE: VOLPATO ET AL. (2004)

FIGURA 17 – SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS DAS FERRAMENTAS (ETIQUETAS) : A) FRESA; B) BROCA

2.2.4.2. PRÉ-AJUSTAGEM INTERNA

A medição de ferramentas é crítica em processos de usinagem. O conhecimento exato do comprimento, diâmetro, até mesmo perfil das

ferramentas, e a habilidade de medir e monitorar essas dimensões, com o passar do tempo pode ajudar na otimização dos processos (KOEPFER, 2000).

A ferramenta de corte representa o fim do efeito de uma longa cadeia de parâmetros de processos. O CAD representa o projeto da peça. O CAM faz a programação e a trajetória da ferramenta. Toda a precisão e velocidade estabelecidas a serem utilizadas na usinagem da peça na máquina-ferramenta, bem como a estabilidade do sistema de fixação da ferramenta, devem vir juntas para executar a primeira usinagem (KOEPFER, 2000).

Segundo Koepfer (2000), nenhum dos procedimentos produzirá resultados satisfatórios se a atual ferramenta de corte é mais longa, curta ou com diâmetro diferente do programado. Além do mais, dimensões de ferramentas que foram coletadas com a ferramenta parada e/ou fora da máquina (*presetting* externo), podem ser afetadas por desalinhamentos entre ferramenta/eixo árvore e por forças dinâmicas criadas pelo mesmo conjunto montado durante a rotação da ferramenta.

Os *presetting* internos com contato (*tool-setting probe*) e sem contato (*tool-setting laser*), possibilitam “compensar” estas interferências descritas no parágrafo anterior durante a pré-ajustagem de ferramentas realizada internamente na máquina-ferramenta.

As etapas relacionadas à pré-ajustagem de ferramentas através dos *presetting* internos, com ou sem contato, são semelhantes e resumem-se em:

- ✓ Escolher as ferramentas a serem utilizadas;
- ✓ Montar as ferramentas nos suportes;
- ✓ Carregar todas as ferramentas no magazine da máquina;

- ✓ Acionar a sub-rotina automática de pré-ajustagem de ferramentas no comando da máquina;
- ✓ Movimentação automática das ferramentas até o dispositivo de *presetting* interno;
- ✓ Detecção automática das medidas das ferramentas;
- ✓ Armazenamento automático das medidas no comando da máquina.

Segundo Sterioff (2003), *presetting* internos na grande maioria requerem uma mínima intervenção do operador, possui uma fixação simples e possibilitam uma significativa redução no tempo de *setup*.

Sterioff (2003), apresentou uma pesquisa, feita em uma empresa norte-americana que possuía um processo de pré-ajustagem longo devido a utilização da pré-ajustagem manual. Conseguiu reduzir de 3 a 5 vezes o tempo desta operação, com a utilização de um *presetting* interno a laser.

A seguir serão apresentados outros benefícios, além da redução do tempo de *setup*, resultantes da aplicação dos *presetting* internos no chão de fábrica.

Redução do erro humano

Como todo o processo de pré-ajustagem de ferramentas é automático, sem a intervenção do operador, eliminam-se erros provenientes da determinação manual do comprimento das ferramentas e erros de digitação que podem ocorrer durante o processo de correção das medidas das ferramentas.

Sterioff (2003), apresenta que o ciclo automático sem a intervenção humana da rotina de pré-ajustagem da ferramenta facilita a usinagem automatizada, pois ajuda as empresas a manter muitas de suas máquinas operando o tempo necessário em qualquer hora do dia ou noite.

Aumento na precisão da medição

Os *presetting* internos conferem o comprimento e diâmetro da ferramenta antes da usinagem. Em relação aos *presetting* interno a laser, Sterioff (2003) descreve que uma das vantagens é a capacidade de pré-ajustar as ferramentas em velocidade operacional (com a ferramenta rotacionando), tendo em vista não existir nenhum contato mecânico entre a ferramenta e o dispositivo durante a medição (Figura 13).

Segundo Saunders (1998), nos países industriais mais desenvolvidos, a tendência é empregar *presetting* internos de contato, para pré-ajustagem de ferramentas em tornos mecânicos CNC onde a pré-ajustagem é manual, trabalhosa e propensa a erro (Figura 18). Isto se deve ao fato de que os tornos mecânicos, comumente, não possuem um sistema de troca rápida de ferramentas, no caso a fixação das ferramentas geralmente é realizada mecanicamente sem referência alguma, através de pinos e parafusos de fixação. Portanto seria inviável o uso de *presetting* externos para estes casos.



FONTE: HAAS AUTOMATION (2005)

FIGURA 18 – PRESETTING INTERNO DE CONTATO PARA TORNOS CNC

2.2.5. CONTROLE DO PROCESSO

Presetting interno de ferramentas, não só determinam com precisão as dimensões das ferramentas (comprimento e diâmetro) dentro da máquina, mas também monitoram o estado das ferramentas em tempo real. A inspeção com *presetting* internos, fixa os valores dimensionais das ferramentas antes da usinagem, confere dimensões durante o ciclo de usinagem, e inspecionam quebras das ferramentas (SAUNDERS, 1998).

Com o uso de *presetting* internos, qualquer ajuste do comprimento da ferramenta ou outro tipo de compensação na máquina é alcançado dentro da precisão da máquina, ou seja, a precisão da ferramenta só está limitada pela precisão da máquina (STERIOFF, 2003).

Considerando empresas que produzem peças com geometrias complexas e conseqüentemente necessita de um tempo de produção demasiado, o uso de sistemas de *presetting* interno, especialmente a laser, possibilita a habilidade de conferir o comprimento e diâmetro da ferramenta com muita precisão em tempo real. Esta atividade é essencial, tendo em vista problemas que venham a ocorrer em relação a desgastes de ferramentas e quebras que possam interferir na qualidade final do produto como variações de medidas, dentre outras, e que terão a necessidade do re-trabalho da peça.

Koepfer (2000), ressalta que a utilização de sistemas de *presetting* internos a laser na forma de sistemas de medição e monitoramento de ferramentas é útil para conseguir maior produtividade e obter resultados mais eficientes na redução de *setup* se comparados aos sistemas tradicionais de pré-ajustagem manual, pois o sistema ajuda a obter leituras mais eficientes e consistentes do que de operador para operador.

A detecção de quebra de ferramentas é um importante recurso de sistemas de medição e monitoramento de ferramentas. A boa resolução da medição a laser torna possível determinar a condição individual de cada

ferramenta. Desgastes, lascamentos ou fraturas de cada aresta de corte podem ser determinadas rapidamente e checadas freqüentemente quando necessário, sem a interrupção do processo.

A Figura 19, apresenta uma medição sendo realizada durante o processo de usinagem com refrigeração.



FONTE: BLUM (2005 a)

FIGURA 19 – CHECAGEM DA FERRAMENTA SEM INTERRUPÇÃO DO PROCESSO

2.2.6. COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE PRESETTING (EXTERNOS X INTERNOS)

Em um cenário típico de usinagem, um único sistema de *presetting* externo, geralmente, é suficiente para a pré-ajustagem de todas as ferramentas utilizadas por uma empresa durante o turno de trabalho em suas máquinas.

Para garantir que o investimento num sistema de *presetting* externo seja compensado, a empresa deve investir primeiramente na capacitação técnica do(s) funcionário(s) que irão utilizar o sistema, investir em ferramental e no “gerenciamento” das ferramentas.

Geralmente, as empresas que utilizam sistemas de *presetting* externos, possuem um local específico, conhecido como sala de pré-ajustagem de

ferramentas para a medição das ferramentas e contam com técnicos capacitados para execução da operação. Normalmente trabalham de 1 a 2 técnicos, podendo o quadro técnico ser acrescido devido à demanda do número de *setups* e ferramentas utilizadas. Existem empresas que chegam a ter quase 80.000 *setups*/ano (ZELINSKI, 2005).

O técnico ou operador responsável prepara a ferramenta para cada trabalho, e mede cada ferramenta fora da linha. Desta maneira as ferramentas são reunidas e as medidas são estabelecidas antes dos operadores iniciarem a preparação da máquina. Após esta etapa as ferramentas estão prontas para a produção, sem a necessidade de executar a pré-ajustagem dentro da máquina (BEARD, 1998).

Interferências como condições ergonômicas do equipamento de *presetting* externo, que não possibilite um conforto adequado ao operador durante a medição podem influenciar na precisão das leituras (ARONSON, 2000).

O investimento em ferramental (ferramentas e acoplamentos), se torna necessário pelo fato que, enquanto a máquina está usinando, o operador pode medir e montar o próximo jogo de ferramentas junto ao sistema de *presetting* externo. No final do ciclo e remoção da peça finalizada, o magazine é recarregado com todas as ferramentas pré-ajustadas para o início de um novo ciclo. Desta forma, a empresa deve possuir ferramental suficiente para que todas as máquinas trabalhem sem esperar a disponibilidade de qualquer ferramenta (FULLONE, 2002). Empresas que utilizam esta técnica de pré-ajustagem chegam a ter até 5000 ferramentas disponíveis para o uso. (ZELINSKI, 2005).

O gerenciamento das ferramentas é fundamental para o sucesso da implantação do sistema de *presetting* externo na empresa. Este sistema é responsável em informar quando e onde serão utilizadas as ferramentas, além de quantas e quais serão utilizadas. Portanto, uma empresa com um grande

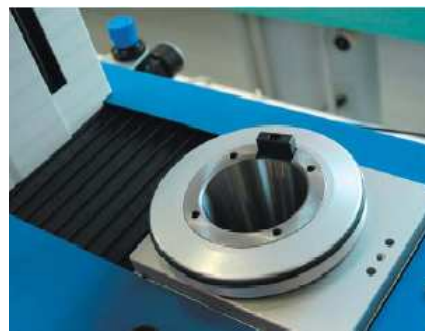
número de máquinas-ferramenta, necessita de um gerenciamento de ferramentas mais efetivo, demandando maiores investimentos em softwares e sistemas de gerenciamento.

Uma grande limitação no uso de sistemas de *presetting* externos em processos de usinagem está relacionado às máquinas-ferramenta (Ex. tornos mecânicos) que não possuem um sistema de fixação de troca rápida de ferramenta, como sistema CAPTO de fixação (Figura 20a). Nos sistemas de *presetting* externos, o local da fixação da ferramenta, para posterior medição, é padronizado ao sistema de fixação da ferramenta da própria máquina-ferramenta (Figura 20b), possibilitando que as medições feitas pelo sistema de *presetting* sejam compatíveis as medições na máquina.

Normalmente, a fixação das ferramentas em tornos CNCs são feitas por limitadores e parafusos (Figura 21), inviabilizando a pré-ajustagem de ferramentas externa para estes casos.



FONTE: SANDVIK (2005)



FONTE: PWB (2005)

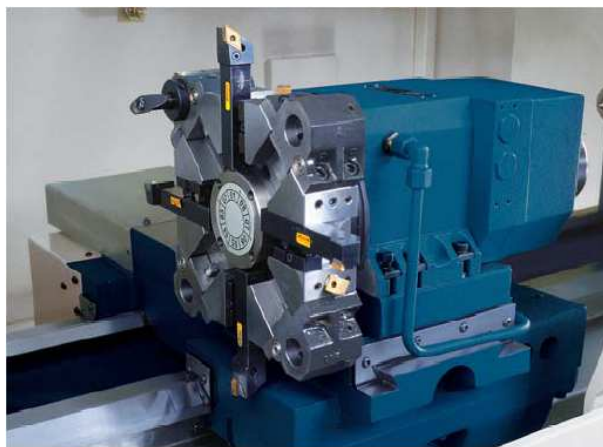
b)

FIGURA 20 – SISTEMA DE TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTAS: A) SISTEMA DE FIXAÇÃO CAPTO; B) SUPORTE DE FIXAÇÃO DE FERRAMENTA DE PRESETTING EXTERNO

Como pode ser observado, o retorno do investimento em um sistema de *presetting* externo não é imediato, devido às fases de implantação (treinamento, investimento em ferramental e sistemas de gerenciamento de ferramentas, etc) que são necessárias para sua eficiente implantação.

Normalmente, os resultados aparecem após um ano ou mais. Zelinski (2005), comenta que foram necessários 2 anos para que uma empresa norte-americana se adequasse a esta mudança.

Diferentemente dos sistemas de *presetting* externos, no qual apenas um único sistema é capaz de medir todas as ferramentas utilizadas pela empresa no chão-de-fábrica, o sistema de *presetting* interno é individual, tornando-se uma desvantagem diante dos sistemas de *presetting* externos.



FONTE: ROMI (2005)

FIGURA 21 – SISTEMA DE FIXAÇÃO DE FERRAMENTAS EM TORNOS CNC

A pré-ajustagem de ferramentas executada em sistemas de *presetting* interno, mesmo sendo feita internamente na máquina, é muito rápida, não tendo influência no aumento do tempo de *setup*. Porém, segundo Aronson (2000) e Zelinski (2004), realizar a pré-ajustagem de ferramentas dentro da máquina, têm a vantagem de compensar erros associados a desalinhamentos entre ferramenta e o eixo árvore da máquina e por forças dinâmicas criadas pelo mesmo conjunto montado durante a rotação da ferramenta, que não podem ser detectados na pré-ajustagem externa.

Além de abranger as principais vantagens dos sistemas de *presetting* externos (redução do tempo de *setup*, redução do erro humano, aumento de

precisão da medição, etc), o grande diferencial dos sistemas de *presetting* internos é a automatização da usinagem e o monitoramento das ferramentas.

A maioria dos sistemas de *presetting* internos, requerem uma mínima intervenção do operador durante o processo de pré-ajustagem de ferramentas, facilitando a usinagem automatizada, auxiliando as empresas manterem suas máquinas operando o tempo necessário e desacompanhadas, em qualquer hora (STERIOFF, 2003).

O uso de sistemas de *presetting* interno possibilita, monitorar e compensar comprimento e diâmetro das ferramentas, e checar avarias nas ferramentas em tempo real. Esta atividade é essencial a fim de garantir um produto de qualidade, eliminando e/ou minimizando problemas como variações de medidas, principais causadores de re-trabalhos em peças (ZELINSKI, 2004).

Os sistemas de *presetting* interno possibilitam um processo flexível na determinação das medidas ferramentas. Estes sistemas, especialmente os a laser, podem medir ferramentas de todos os tipos (concêntricas, não concêntricas) e de todos os comprimentos, sem nenhuma adequação do equipamento (*hardware* e *software*), além de serem instalados em qualquer parte da estrutura da máquina (Figura 22) (STERIOFF, 2003).

Diferentemente dos sistemas de *presetting* externos, que não são adequados para a pré-ajustagem de ferramentas em máquinas que não possuem um sistema de fixação de troca rápida de ferramenta, na pré-ajustagem interna isto não ocorre, tendo em vista, que a pré-ajustagem das ferramentas é executada após a fixação da ferramenta no suporte da máquina. Atualmente, existem sistemas específicos para o uso em torno mecânicos, como o apresentado na Figura 18, que possui um braço que se estende automaticamente, posicionando o sistema de *presetting* interno de contato dentro da máquina com grande repetibilidade e acuracidade.



FONTE: STERIOFF (2003)

FIGURA 22 – FIXAÇÃO DE UM SISTEMA DE PRESETTING INTERNO (LATERAL DA MÁQUINA FERRAMENTA)

2.2.7. PORQUE AS EMPRESAS NÃO UTILIZAM ESTES SISTEMAS

Presetting de ferramentas estão crescendo em popularidade em países desenvolvidos como parte da pré-produção reduzindo custos de processos. Empresas europeias já utilizam este tipo de tecnologia há algum tempo, diferentemente de empresas norte-americanas que começaram há pouco tempo perceber os benefícios destes sistemas. Principalmente, utilizados em grandes empresas norte-americanas, os sistemas de *presetting* estão gradualmente penetrando em médias e pequenas empresas (FULLONE, 2002).

Em relação ao Brasil, como pode ser observado anteriormente em pesquisa feita por Simon (2001), a popularidade destes sistemas nas empresas do Parque Industrial ainda é baixa. Se analisar as empresas que utilizam destes sistemas em seu processo, em quase toda a sua totalidade são empresas de grande porte e multinacionais.

Fullone (2002) e Aronson (2000), acreditam que sistemas de *presetting* ainda não foram usados em seu total potencial por duas razões: Falta de conhecimento por parte das empresas sobre as vantagens oferecidas e principalmente pelo custo destes sistemas.

A falta de conhecimento é um obstáculo que dificulta algumas empresas a fazer os sistemas de *presetting* “serem aceitos”. Muitos empresários pensam que sistemas de *presetting* só são efetivos e possibilitam retorno do investimento para empresas que possuem processos de usinagem com lotes diversificados, o qual requerem repetitivas pré-ajustagens de ferramentas (HANSON, 1999; FULLONE, 2002).

A segunda e principal razão, para a não utilização de sistemas de *presetting* pelas empresas, segundo Fullone (2002) e Aronson (2000) é o custo destes equipamentos. Há pouco tempo, um sistema de *presetting* externo básico custava aproximadamente nos Estados Unidos US\$10.000 e unidades mais complexas eram vendidas a US\$25.000. Hoje, sistemas de *presetting* externo nos Estados Unidos são mais acessíveis, de maior precisão e outras características adicionais, com preços que podem variar de US\$5.000 a US\$10.000. *Presetting* externos de médio grau custam de US\$15.000 a US\$30.000, e os sistemas mais avançados a partir de US\$35.000, dependendo dos itens opcionais.

No Brasil estes sistemas chegam às empresas com um custo que varia de US\$10.000 até US\$ 40.000, pois todos estes sistemas são importados, inviabilizando a aquisição destes equipamentos para uma grande parte das empresas brasileiras, especialmente pequenas e médias empresas nacionais que dependem exclusivamente de seu capital para investimentos em equipamentos.

2.3. SISTEMAS EXISTENTES DE PRESETTING INTERNO A LASER E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

No decorrer deste trabalho foram apresentadas as vantagens propiciadas pelos sistemas de *presetting* internos a laser aplicado em máquinas-ferramenta CNC. A seguir, serão explicadas detalhadamente estas vantagens bem como as características estruturais, eletrônicas e de software dos sistemas existentes.

2.3.1. FUNCIONAMENTO BÁSICO DE UM SISTEMA LASER

Basicamente, sistemas de *presetting* a laser usam um feixe laser gerado por um transmissor (diodo laser) e um sistema receptor do feixe laser (circuito óptico), fixados em um dispositivo. Este dispositivo pode ser instalado na mesa da máquina ferramenta, ou num lado em que o feixe passe através da área de trabalho. A passagem da ferramenta através do feixe laser causa a redução da intensidade da luz do feixe no receptor, na qual um sinal é gerado e enviado ao comando da máquina CNC para armazenar a posição da máquina naquele instante e conseqüentemente é derivada a dimensão da ferramenta. Este procedimento é utilizado para detecção de comprimento e diâmetro da ferramenta.

2.3.2. SISTEMAS DE PRESETTING A LASER (VANTAGENS E LIMITAÇÕES)

Conforme as empresas Renishaw (2003) e Blum (2003), líderes mundiais de sistemas de *presetting* interno de ferramentas, os benefícios de um sistema de *presetting* interno a laser são:

- ✓ Ciclos rápidos de pré-ajustagem de ferramentas. As ferramentas podem ser movimentadas em direção ao feixe laser em uma alta velocidade sem o risco de dano no equipamento;
- ✓ Ferramentas são medidas em velocidades convencionais de usinagem;
- ✓ Ferramentas muito delicadas e de pequenos diâmetros podem ser medidas sem desgaste ou dano;
- ✓ Quebra de ferramenta pode ser checada em altos avanços;
- ✓ Cada face ou tipo de ferramenta podem ser checadas a fim de detectar possíveis danos;
- ✓ Pré-ajustagem automática de ferramentas. Possibilita uma total automação, eliminando erros do operador.

Segundo Koepfer (2000), lasers oferecem duas vantagens distintas para medições de ferramentas. O feixe é basicamente um padrão, mantendo sempre a mesma posição “um tamanho ajusta tudo”, e é um sistema de medição sem contato. No caso, sistemas de medição a laser, são projetados para operar em um ambiente severo na zona de corte da máquina ferramenta. Normalmente o dispositivo de *presetting* é o único componente visível. A orientação não é um problema, e onde o espaço é limitado o sistema pode ser montado verticalmente ou em ângulo (Figura 22).

Segundo Renishaw (2003) e Blum (2003), alguns fatores devem ser estudados e analisados, para não impactar na ineficiência dos sistemas de *presetting* laser. São eles:

- ✓ **Esquema óptico** – a óptica e a forma de abertura do foco do feixe de laser, afeta a performance da medição em diferentes pontos ao longo do feixe;
- ✓ **Proteção do sistema óptico durante a usinagem** – o ambiente da máquina-ferramenta é severo e o sistema laser deve ser mantido limpo e desobstruído para manter a performance e qualidade das medidas;
- ✓ **Proteção do sistema óptico durante a medição** – fluídos refrigerantes e partículas do material durante a usinagem estão ainda presentes durante a medição, assim a proteção deve ser mantida sem a perda da acuracidade;
- ✓ **Integração entre sistema de *presetting* e máquina** - comunicação entre o sistema laser e o comando CNC,
- ✓ **Rejeição de gotejamento de fluido** – gotas e partículas que passam através do feixe laser durante a medição não deve ser confundida com a ferramenta em si;
- ✓ **Métodos e técnicas de medição** – fatores que limitam a precisão da medição das ferramentas;
- ✓ **Métodos e técnicas de detecção de quebras de ferramentas** – fatores que influenciam na detecção da quebra das ferramentas;

- ✓ **Software de programação** – ciclos fáceis de usar são necessários para medir e detectar uma grande faixa de tipos de ferramentas;
- ✓ **Tipos de arranjos construtivos** – o menor e o melhor, para todos os tipos de máquinas.

Como pode ser observado, são muitos os fatores que podem limitar a eficiência do sistema a laser, portanto empresas fabricantes destes equipamentos como *Renishaw*, *Blum* e *Marposs* estão cada vez mais atentas a estes fatores e procuram novas técnicas, desde estruturais, eletrônicas e de software para obterem medições cada vez mais confiáveis.

2.3.3. CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DOS SISTEMAS LASER

Atualmente, os sistemas de *presetting* a laser baseiam-se em duas configurações:

- ✓ **Sistema fixo** (Figura 23a). Com uma construção única, são tipicamente montados na mesa de um centro de usinagem vertical ou em pequenas máquinas CNC de alta velocidade. A principal vantagem deste sistema é a facilidade e rapidez para sua instalação. Mas a interferência no volume da área de trabalho da máquina, bem como a maximização do diâmetro das ferramentas que podem ser medidas, são algumas das limitações;
- ✓ **Sistema desmembrado** (Figura 23b), Com transmissor e receptor montados em suportes fixos em pontos extremos da máquina-ferramenta, são freqüentemente usados em grandes centros de usinagem horizontais e máquinas com trocadores de paletes. A principal vantagem deste tipo de sistema é que o mesmo não limita e/ou atrapalha a área de usinagem, fator essencial em

máquinas com trocadores de paletes. Entretanto sua instalação e calibração são complexas, comparado aos sistemas fixos, e tendem a ter uma ligeira diminuição na repetibilidade das medições devido a distância entre o transmissor e receptor do sistema laser.



a)



b)

FONTE:BLUM (2005a)

FONTE:RENISHAW (2005b)

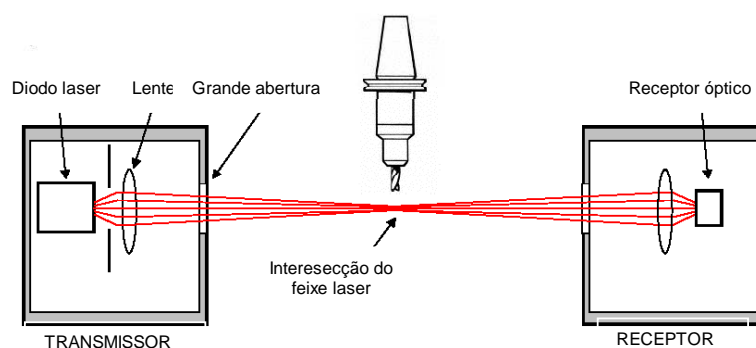
FIGURA 23 – CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DOS SISTEMAS DE PRESETTING INTERNOS A LASER: A) SISTEMA FIXO; B) SISTEMA DESMEMBRADO

2.3.4. CARACTERÍSTICAS ELETRÔNICAS E ÓPTICAS DOS SISTEMAS LASER

Nos sistemas de *presetting* interno a laser existentes, o feixe laser é gerado por um diodo laser (emissor), em contrapartida um circuito de detecção (receptor), detecta quando o feixe é interrompido pela ferramenta (KOEPFER, 2000).

Em relação a forma de propagação e projeção do feixe laser para detecção de ferramentas, existem vários métodos sendo utilizados pelas empresas fabricantes destes equipamentos.

Um dos métodos é a propagação do feixe laser passando através de lentes que focam em um ponto central entre o transmissor e o receptor, passando por grandes aberturas do dispositivo (Figura 24). Este tipo de configuração resulta em um feixe laser que é perfeitamente focado para um simples ponto. Na realidade, o feixe se estreita próximo ao ponto de foco, o qual podem ser utilizados para detectar e medir pequenas ferramentas (RENISHAW, 2003).



FONTE: ADAPTADO DE RENISHAW (2003)

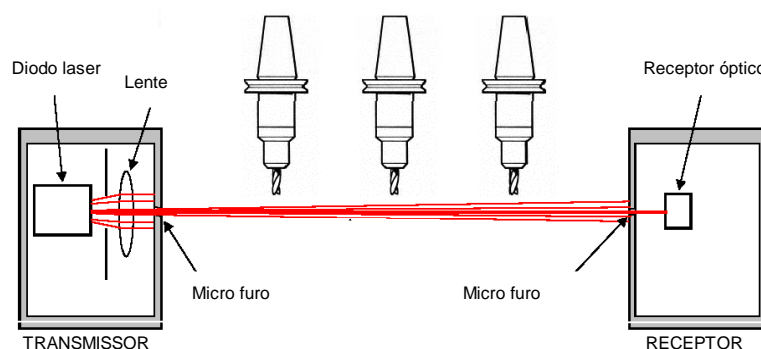
FIGURA 24 – SISTEMA DE PROJEÇÃO DO FEIXE LASER ATRAVÉS DE GRANDES ABERTURAS EM DISPOSITIVOS DE PRESETTING A LASER

Segundo Renishaw (2003), a principal desvantagem deste sistema é a falta de flexibilidade. Devido ter sido projetado apenas para medir e detectar ferramentas no ponto de intersecção do feixe, esta flexibilidade interfere diretamente na medição de ferramentas com pequenos diâmetros, que não podem ser detectadas em outras posições do feixe laser.

Outro método de propagação e projeção do feixe laser em um sistema de *presetting*, é passar o feixe através de dois pequenos furos (micro-furos) entre o emissor e o receptor do sistema laser (Figura 25). O micro-furo localizado no transmissor laser define a forma e o tamanho do laser, o qual diverge ao longo de seu percurso, entretanto o segundo micro-furo localizado na outra extremidade do dispositivo, foca o laser para atingir o receptor óptico.

Obtem-se, portanto um feixe laser estreito e adequado para medições (RENISHAW, 2003).

Este tipo de configuração possibilita medições precisas de ferramentas em qualquer ponto do feixe laser, diferentemente do sistema anterior. Com esta característica, usuários podem ganhar tempos de ciclos valiosos em processos de usinagem de grandes peças. Instalando este sistema com grandes separações entre o emissor e receptor, é possível fazer medições e checar ferramentas em qualquer ponto do feixe e não apenas em um ponto determinado, eliminando grandes movimentações de ferramentas para a checagem das mesmas.



FONTE: ADAPTADO DE RENISHAW (2003)

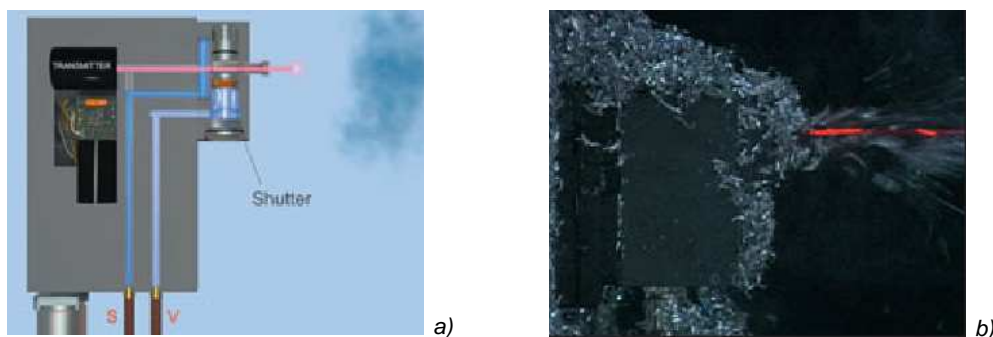
FIGURA 25 - SISTEMA DE PROJEÇÃO DO FEIXE LASER ATRAVÉS DE MICRO-FUROS EM DISPOSITIVOS DE PRESETTING

2.3.5. CARACTERÍSTICAS DE PROTEÇÃO DO SISTEMA LASER

Como se sabe, o interior de uma máquina-ferramenta é um ambiente hostil, com fluídos refrigerantes, cavacos ou sujeiras presentes no meio e na camada superficial de todas as partes internas da máquina. Fluídos refrigerantes misturados ao ar, formam uma névoa, que cobrem rapidamente qualquer superfície óptica exposta no ambiente. No caso, um sistema de *presetting* a laser necessita de um feixe laser óptico limpo e canal por onde o

feixe irá passar desobstruído, para uma boa performance do sistema (RENISHAW, 2003).

Existem diferentes sistemas para proteção do feixe laser nos sistemas de *presetting* a laser. Um desses sistemas é o que utiliza o método de abertura mecânica de obturadores, conhecidos por “*shutter*”, para manter a óptica do sistema laser limpo, combinado a uma rajada de ar para limpar a abertura quando o sistema está pronto para medir (Figura 26).

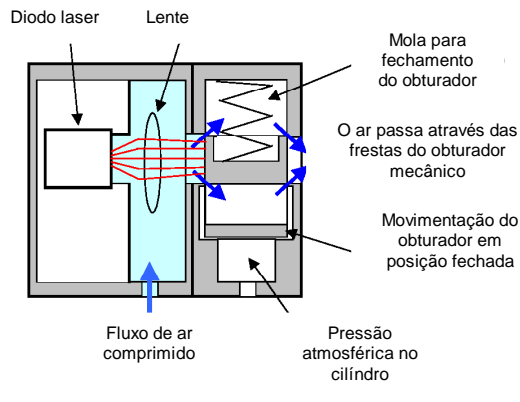


FONTE: BLUM (2005a)

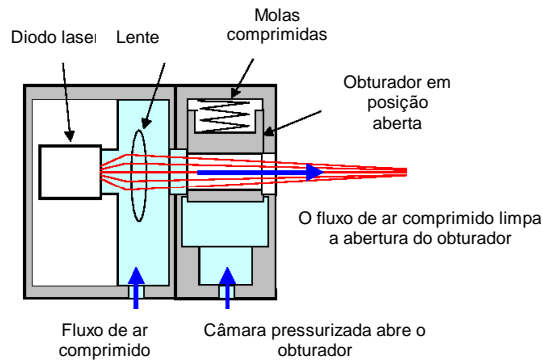
FONTE: BLUM (2005a)

FIGURA 26 – SISTEMA DE PROTEÇÃO DO SISTEMA LASER TIPO “SHUTTER”: A) ESQUEMA ESTRUTURAL;
B) RAJADA DE AR PARA LIMPAR O ORÍFICO DE SAÍDA DO FEIXE LASER

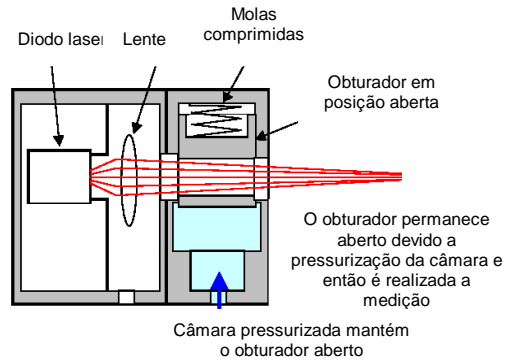
A Figura 27 apresenta detalhadamente o funcionamento do método de abertura mecânica do obturador. Este tipo de sistema é operado pneumaticamente por meio de uma válvula solenóide, acionada por um sinal emitido pelo comando da máquina. Durante a usinagem esta abertura é mantida fechada por um sistema mecânico com mola, e um fluxo de ar contínuo “sangra” por dentro de pequenas frestas que passam pelas frestas do obturador (Figura 27a). Com a abertura do sistema, o ar pressurizado na parte anterior do obturador é lançado em uma rajada que passa através da abertura limpando-a de sujeiras e líquidos (Figura 27b). Com a abertura limpa, o ar da câmara do sistema laser é interrompido para a realização da medição da ferramenta (Figura 27c).



a)



b)



c)

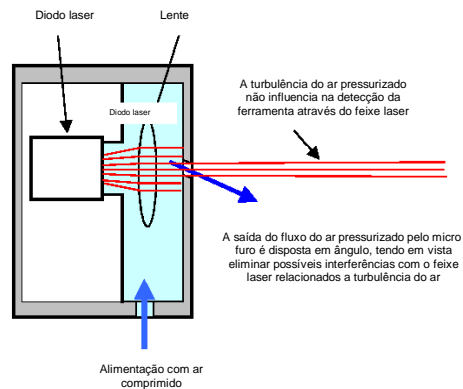
FONTE: ADAPTADO DE RENISHAW (2003)

FIGURA 27 – SISTEMA DE PROTEÇÃO DO FEIXE LASER ATRAVÉS DE ABERTURA MECÂNICA POR OBTURADORES “SHUTTER”

Segundo Renishaw (2003) e Blum (2003), existem algumas limitações para o uso deste tipo de configuração. São elas:

- ✓ *Limpeza regular do obturador.* Isto se deve ao fato de que a entrada de fluídos refrigerantes podem causar um entupimento no mecanismo de abertura mecânica, tornando o sistema inoperável;
- ✓ *Fluxo de ar interrompido no instante da medição.* Com aberturas relativamente grandes ambos, transmissor e receptor, ficam expostos e vulneráveis aos fluídos ou cavacos, que pode se depositar no transmissor e receptor;
- ✓ *Grandes aberturas.* Exige um fluxo de ar substancial para proteger o sistema óptico.

Outro tipo de sistema de proteção do feixe laser, é através de um fluxo de ar contínuo através de pequenas aberturas (micro-furos) na qual o feixe laser é propagado (Figura 28). Este sistema evita a necessidade de sistemas de aberturas mecânicas, válvulas solenóides e sinais de controle do comando da máquina para atuar no sistema. O pequeno diâmetro dos furos combinado com o fluxo de ar é suficiente para proteger o sistema durante a usinagem, até mesmo em máquinas com sistemas de refrigeração de alta pressão. Durante a medição da ferramenta o fluxo de ar permanece ativo, mantendo o mesmo nível de proteção em todo processo, evitando que cavacos e fluídos refrigerante penetrem no sistema e interfiram na medição.



FONTE: ADAPTADO DE RENISHAW (2003)

FIGURA 28 - SISTEMA DE PROTEÇÃO DO FEIXE LASER ATRAVÉS DE MICRO-FUROS

2.3.6. CARACTERÍSTICAS DE SOFTWARES E MÉTODOS DE MEDIÇÃO E DETECÇÃO DE FERRAMENTAS

Segundo a empresa Renishaw (2003), rotinas de software são necessárias para proporcionar o uso de todas as vantagens de flexibilidade fornecidas pela tecnologia laser implantada nos sistemas de *presetting*.

As rotinas de medições dos sistemas de *presetting* a laser existentes no mercado, incluem:

- ✓ Medição do comprimento da ferramenta;
- ✓ Medição do diâmetro e raio da ferramenta;
- ✓ Medições de perfil de ferramentas.

Em relação à detecção de quebra de ferramentas, as rotinas incluem as seguintes verificações/checagens:

- ✓ Comprimentos radial e axial;

- ✓ Diâmetro radial;

- ✓ Verificação da extremidade / detecção de perda da extremidade.

Para a medição do comprimento e diâmetro das ferramentas, alguns softwares como os da empresa *Renishaw*, programam a máquina para mover a ferramenta em direção ao feixe laser primeiramente a uma distância tolerada suficiente para considerar incertezas na montagem das ferramentas. O movimento inicial é em avanço rápido para ganhar tempo na aproximação da ferramenta para detecção inicial da mesma. Após a detecção, a ferramenta é afastada a uma pequena distância. A ferramenta é novamente movimentada em direção ao feixe laser em avanço reduzido a fim de detectar a posição da mesma com maior precisão. Este procedimento é feito inicialmente para medição do comprimento da ferramenta, e posteriormente para medição do diâmetro da mesma.

Para detectar a quebra de ferramentas, um dos métodos mais utilizados e confiáveis propiciado pelos softwares existentes segundo a empresa *Renishaw* (2003) funciona da seguinte maneira: A extremidade da ferramenta é movimentada em uma velocidade rápida através do feixe laser, atravessando-o pela dimensão programada no software que determina uma quebra de ferramenta. Em seguida, o ciclo para detectar a quebra da ferramenta é acionado. A extremidade da ferramenta fica parada no feixe laser em um período curto de tempo (0,1 e 0,3 segundos). Caso a luz do feixe laser é recebida pelo receptor por mais do que o período especificado, o software identifica a quebra da ferramenta, caso a luz não é recebida no receptor, o software identifica que não existe quebra da ferramenta. Esta técnica possibilita que pequenas ferramentas sejam cheçadas mesmo ainda com o sistema de refrigeração funcionando, reduzindo os tempos de ciclos.

2.4. ESCOLHA DO SISTEMA DE PRESETTING

De acordo com Lorinez (2001), os sistemas de *presetting* mecânicos têm limitações inerentes. Com esses sistemas a ferramenta toca o dispositivo para verificar o comprimento e detectar a quebra, neste instante o fuso da máquina deve estar parado ou com baixa rotação para não danificar a superfície de contato do dispositivo e a ferramenta. Ferramentas muito sensíveis, são impossíveis de verificar com um sistema mecânico, especialmente ferramentas com insertos de cerâmicas ou ferramentas de diamante que são danificadas facilmente pelo contato.

Devido ao contato constante das ferramentas com o dispositivo, o mesmo começa a se desgastar e perder a exatidão. O fato é que dispositivos mecânicos têm um ciclo de vida mais curto que o sistema laser. Estatísticas apontam que a degradação do dispositivo mecânico é 60% maior do que o sistema óptico. No caso, o dispositivo mecânico pode sofrer influências externas durante a medição, como cavacos que se depositam na superfície de contato do dispositivo e que prejudicam a precisão na medição. Entretanto, isto não se aplica ao sistema laser (LORINEZ, 2001).

Conforme Lorinez (2001), a empresa alemã Blum, uma das maiores empresas mundiais fabricantes de sistemas de *presetting* internos, apresentou em uma pesquisa que, 90% dos dispositivos de *presetting* internos de contato existentes no mercado, usam somente um sentido para medição (para medir e ajustar o comprimento da ferramenta). Esta limitação ocorre pela grande

dificuldade em desenvolver dispositivos mecânicos que sejam capazes de medir com precisão e repetibilidade em dois sentidos (comprimento e diâmetro).

A empresa Blum estima que em um futuro próximo, os novos centros de usinagem sairão de fábricas munidos com sistemas de *presetting* internos. Dos quais os sistemas a laser encontrarão cada vez mais aceitação (LORINEZ, 2001).

Por estas e outras vantagens discutidas no decorrer do presente trabalho, o sistema a laser foi o escolhido para o desenvolvimento do sistema de *presetting*.

3. METODOLOGIA

O presente projeto têm o propósito de desenvolvimento de um ***Protótipo de sistema de presetting interno a laser*** para uso em máquinas-ferramenta CNC. O sistema permitirá a automação da etapa de pré-ajustagem de ferramentas, identificando e compensando automaticamente o comprimento e o diâmetro das ferramentas utilizadas no processo de usinagem.

3.1. ANTEPROJETO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA DE PRESETTING INTERNO A LASER

O presente capítulo apresenta o desenvolvimento do sistema de *presetting* interno a laser, apresentando os equipamentos e materiais utilizados para realização dos testes.

3.1.1. DESCRIÇÃO DO BANCO DE ENSAIOS E DO SISTEMA DE PRESETTING

A Figura 29, apresenta o anteprojeto do protótipo do sistema de *presetting* a laser desenvolvido para o presente projeto.

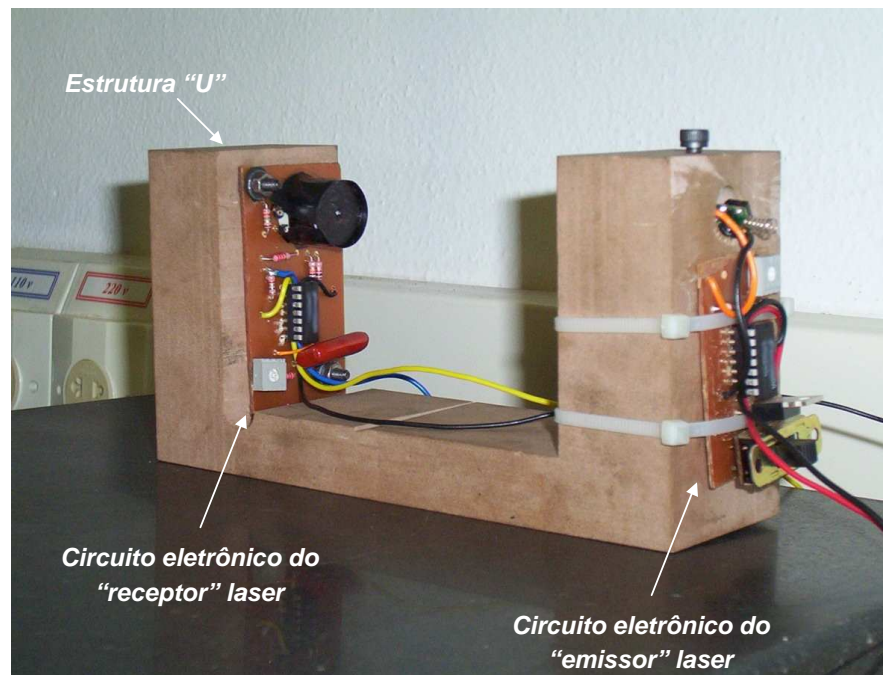


FIGURA 29 – ANTEPROJETO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA DE PRESETTING

3.1.1.1. ESTRUTURA DO PROTÓTIPO

A estrutura do anteprojeto do protótipo, foi projetada e posteriormente confeccionada em resina epóxi com dimensões aproximadas de (200mm x 50mm x 100mm). O projeto em “U” foi utilizado pela sua praticidade e por facilitar a fixação dos circuitos eletrônicos laser (emissor e receptor) nas colunas laterais da estrutura. A abertura entre as duas colunas laterais da estrutura, aproximadamente 120mm, foi projetada visando medir um grande número de ferramentas existentes no mercado (grandes variações de diâmetros de ferramentas).

3.1.1.2. SISTEMA ELETRÔNICO

Para o anteprojeto do protótipo do sistema de *presetting* a laser, o sistema eletrônico foi projetado com dois circuitos eletrônicos: um circuito eletrônico do emissor laser e outro do receptor laser. Estes dois circuitos estão descritos a seguir, e apresentados na Figura 30, a partir de um fluxograma.

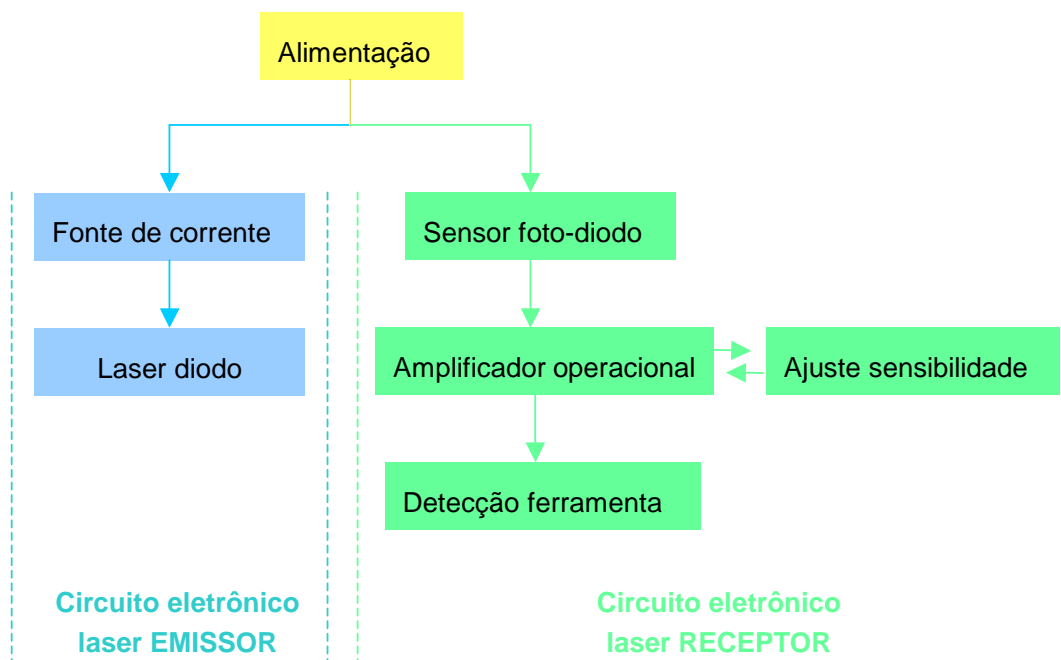


FIGURA 30 – FLUXOGRAMA DO CIRCUITO ELETRÔNICO DO ANTEPROJETO DO PROTÓTIPO

Circuito eletrônico do emissor laser

O circuito emissor consiste de um diodo laser, do tipo “*laser point*” de uma caneta laser comercial, alimentado por uma fonte de corrente, montado em uma placa de circuito impresso. A principal função deste circuito eletrônico é o de propagar um fluxo de feixe laser constante até outro lado da coluna da

estrutura do protótipo, no qual está localizado o circuito eletrônico do receptor laser.

Circuito eletrônico do receptor laser

O circuito receptor, consiste de um sensor foto-diodo, montado em uma placa de circuito impresso. Este circuito detecta quando o feixe laser, focado ao sensor foto-diodo, é interrompido.

Para atingir o sensor foto-diodo, o feixe laser passa através de um pequeno furo, aproximadamente 1mm, que delimita a seção transversal do mesmo, aumentando com isso a precisão das medições, tendo em vista a irregularidade de forma do feixe laser proporcionado pelo equipamento utilizado nos experimentos.

A sensibilidade de detecção do sistema eletrônico do receptor laser desenvolvido, pode ser pré-configurada de forma eletrônica, ou seja, o sistema pode ser configurado para detectar a ferramenta quando o feixe é interrompido em 10% como também ser configurado para detecção em 50%.

3.1.1.3. MONTAGEM DO BANCO DE ENSAIOS

A Figura 31, apresenta o banco de ensaios utilizado e o anteprojeto do protótipo inicial do sistema de *presetting* a laser desenvolvido. Todos estes serão tratados com mais detalhes nos próximos itens.

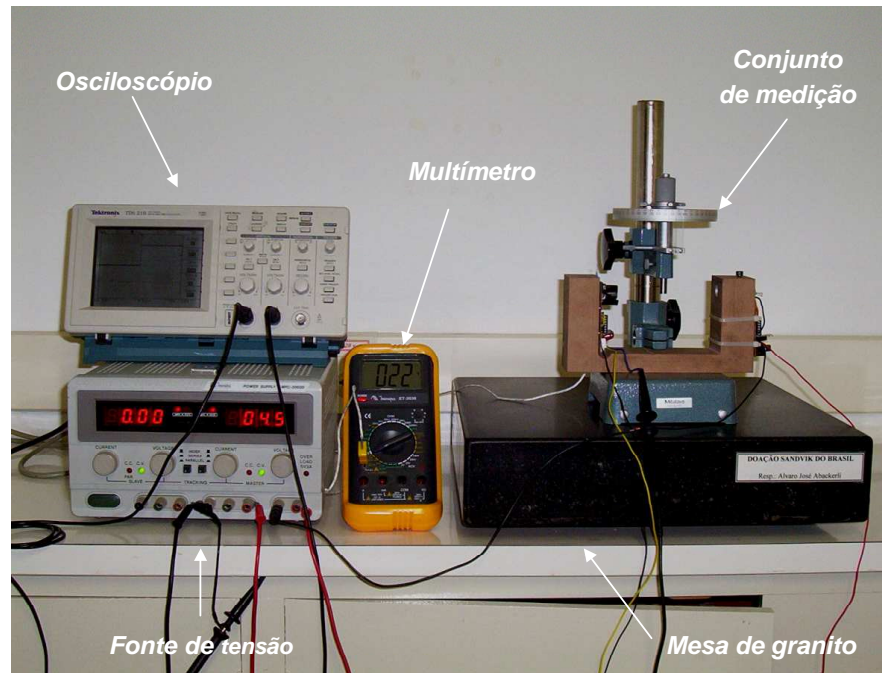


FIGURA 31 – BANCO DE ENSAIO UTILIZADO

3.1.1.4. INSTRUMENTOS UTILIZADOS NO BANCO DE ENSAIOS

A seguir serão apresentados os equipamentos e instrumentos utilizados na montagem do banco de ensaios, e descritas as características técnicas destes equipamentos.

Fonte de tensão

A fonte de tensão utilizada foi o da empresa Minipa[®], modelo MPC-3006D, e é capaz de fornecer duas saídas com tensão de 0 a 30V DC e corrente de 0 a 6A DC, e uma saída fixa de 5V / 3A DC. As duas fontes ajustáveis podem ser conectadas externamente em série ou paralelo.

Para os experimentos, a fonte de tensão foi utilizada para alimentar o sistema eletrônico desenvolvido do anteprojeto do protótipo do sistema de

presetting a laser, permitindo uma alimentação de tensão de 9 volts sem variação, fator este que poderia interferir nos resultados.

Osciloscópio digital

O osciloscópio digital utilizado foi o da empresa Tektronix[®], modelo TDS 210. Possui 2 canais com 60 MHz e com 1 GS/s de taxa de amostragem, medições automáticas, interface gráfica com usuário, memorização de gráficos e configurações externas.

O osciloscópio digital foi utilizado nos experimentos para coletar a resposta do sinal proveniente do sistema eletrônico laser e identificar graficamente, o instante em que o feixe laser foi interrompido pelo fuso do colar micrométrico.

Multímetro digital

O multímetro digital utilizado foi o da empresa Minipa[®], modelo ET-2038. Este equipamento realiza medições de tensão DC e AC, corrente DC e AC, resistência até 200 M Ω , capacitância, frequência, temperatura, dentre outros.

Para a realização dos experimentos, o multímetro digital foi utilizado para medir a temperatura do ambiente em que foi realizado o teste, tendo em vista relacionar possíveis variações dos dados coletados em função da variação da temperatura ambiente.

Suporte para calibração de relógios comparadores

O suporte para calibração de relógios comparadores utilizado foi o da empresa Mitutoyo[®].

Este equipamento foi adaptado para a fixação do protótipo do sistema de *presetting* a laser e o colar micrométrico, tendo em vista manter os dois equipamentos fixos entre si, durante a realização dos testes. A Figura 32, apresenta o conjunto montado para a realização das medições.

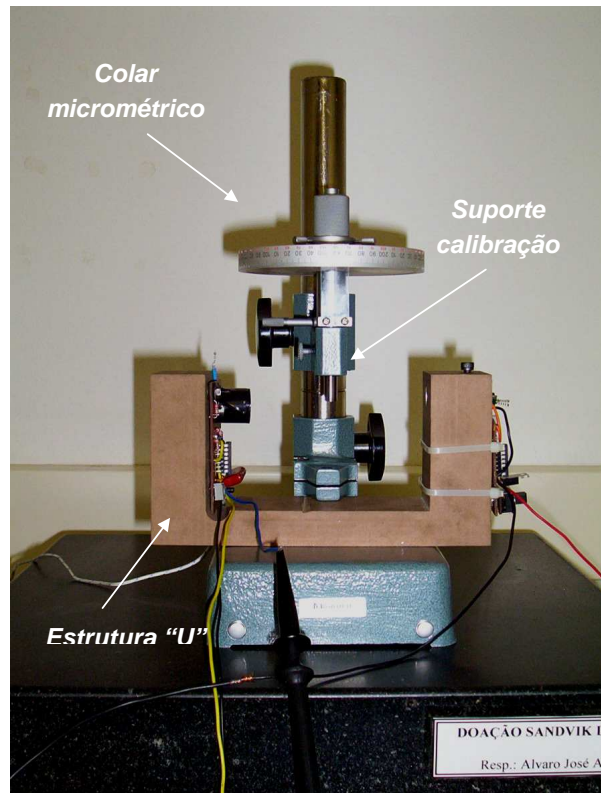


FIGURA 32 – CONJUNTO MONTADO (PROTÓTIPO, SUPORTE E COLAR MICROMÉTRICO)

Colar micrométrico

O colar micrométrico utilizado foi o da empresa Mitutoyo[®], possui resolução de 0,001mm. Este sistema é utilizado em conjunto com o suporte descrito anteriormente, para a calibração de relógios comparadores com resolução de 0,01mm. A Figura 33, apresenta em detalhe a interrupção do feixe laser pela extremidade do fuso do colar micrométrico.

Para o presente projeto, o colar micrométrico em conjunto com o suporte, foram adaptados para a realização das medições. O fuso do colar micrométrico foi utilizado para simular uma ferramenta de corte interrompendo o feixe laser. Depois de detectada a interrupção do feixe laser pelo sistema eletrônico, o colar micrométrico foi utilizado para medir a posição no momento da detecção da interrupção do feixe laser.

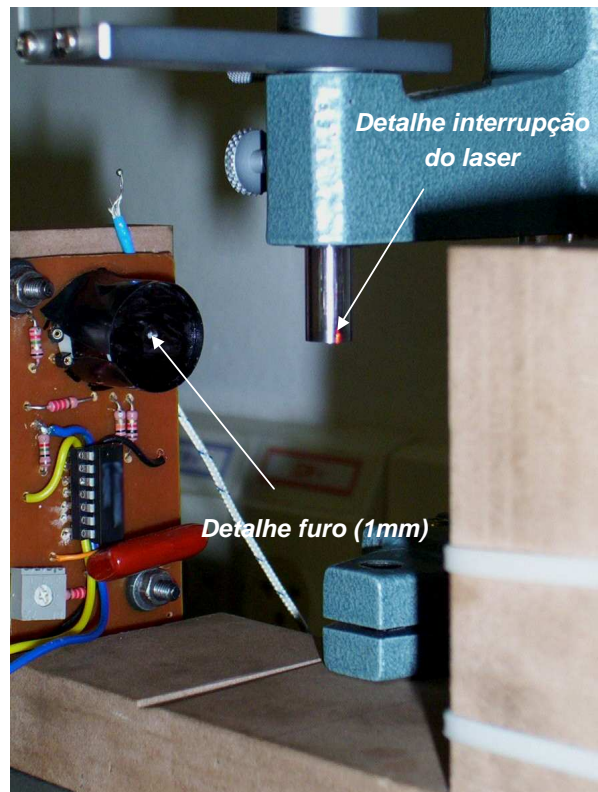


FIGURA 33 – DETALHE DA INTERRUPTÃO DO LASER PELO FUSO DO COLAR MICROMÉTRICO E DETALHE DO FURO (1MM)

3.1.2. AVALIAÇÃO DO SISTEMA

A seguir serão apresentados os métodos utilizados para a avaliação do anteprojeto do protótipo do sistema de *presetting* a laser, com o intuito de analisar a eficiência do sistema eletrônico.

3.1.2.1. ENSAIO EXPERIMENTAL

O ensaio experimental foi empregado com o propósito de avaliar a eficiência do sistema eletrônico (circuito eletrônico e laser) desenvolvido para o anteprojeto do protótipo inicial do sistema de *presetting*. Foram feitos vários pré-testes com o sistema laser, para o desenvolvimento do circuito eletrônico (placas de circuito impresso) a ser utilizado nos testes posteriores. Com o sistema eletrônico definido, confeccionado e montado no corpo do protótipo, foram realizados os testes do sistema.

Todos os testes foram realizados numa sala climatizada do Laboratório de Metrologia, com a temperatura fixada em 22°C. O protótipo do sistema de *presetting*, foi adaptado em um suporte de calibração de relógios comparadores, composto de um colar micrométrico com resolução de 0,001mm.

Os dados dos testes foram coletados de forma visual. Inicialmente, o colar micrométrico era movimentado lentamente em direção ao feixe laser para que o fuso do colar micrométrico interrompesse o feixe (Figura 34). A detecção da interrupção do feixe laser era feita visualmente através do monitor do osciloscópio, que estava conectado ao canal de saída do sistema eletrônico que detectava a interrupção do feixe laser. Para facilitar a medição visual pelo osciloscópio, o sinal de detecção foi configurado para o tipo degrau. Detectada a interrupção, eram anotados, a posição (medida através do colar micrométrico), a temperatura ambiente (medida pelo multímetro) e o tempo (medida pelo cronômetro). Após as anotações, o colar micrométrico era recuado, e se iniciava a próxima medição. O intervalo de tempo entre as medições variava de 10 a 20 segundos.

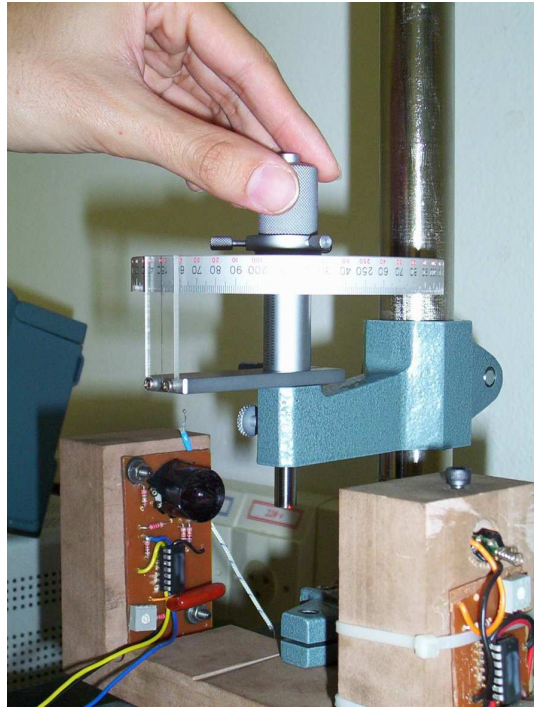


FIGURA 34 – DETALHE DA MEDIÇÃO MANUAL

Seguindo, portanto, o procedimento experimental descrito no parágrafo anterior, foram realizados 3 tipos de testes⁷:

- ✓ *Primeiro teste* – duração de 2,5 horas. As medições foram realizadas durante todo o período do teste, com o intuito de identificar o comportamento do sistema eletrônico e do laser, em relação às variações de posição detectadas pelo sistema no transcorrer do teste (Figura 35).

⁷ Todos os gráficos dos testes realizados para o presente projeto, além de estarem dispostos no texto estão sendo apresentados, em maiores detalhes, nos Anexos da dissertação.

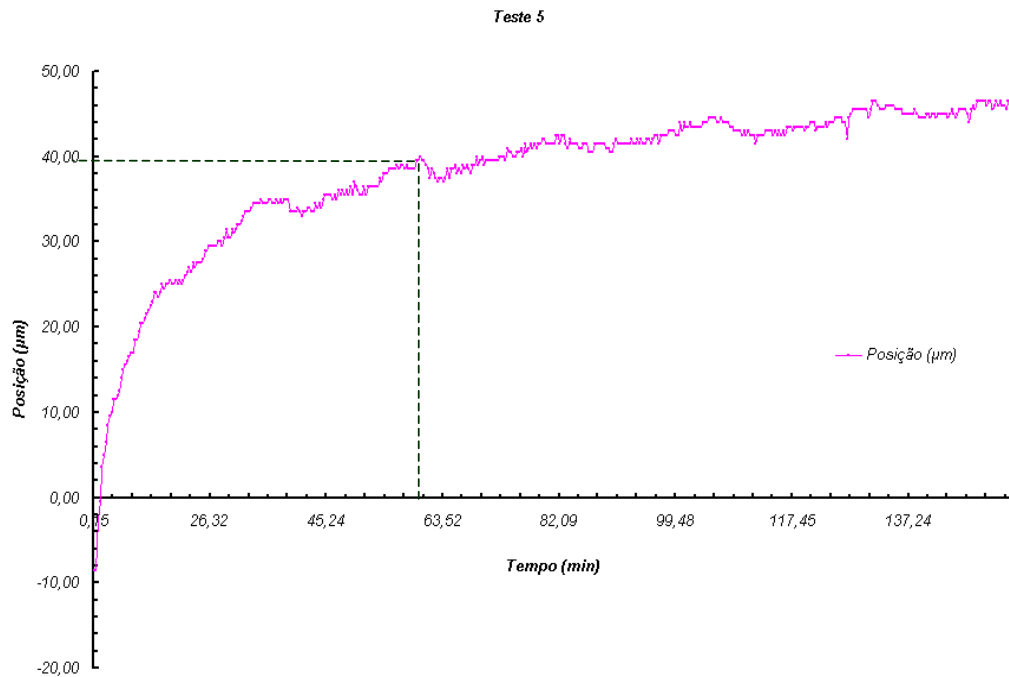


FIGURA 35 – TESTE 1 – IDENTIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO CIRCUITO ELETRÔNICO DO ANTEPROJETO DO PROTÓTIPO, COM SISTEMA ACIONADO EM 2,5 HORAS

- ✓ Segundo teste – duração de 8 horas. As medições foram realizadas durante todo o período, entretanto apenas as medições realizadas na primeira hora dos testes foram de forma ininterrupta, igual ao primeiro teste. As outras medições foram realizadas em um intervalo de tempo de 1 hora, com medições apenas nos 15 minutos iniciais de cada mudança de intervalo. O intuito deste teste era identificar mudanças no comportamento do sistema eletrônico e do sistema laser, que pudessem ocasionar variações nas medições, devido ao elevado tempo de operação do sistema (Figura 36).

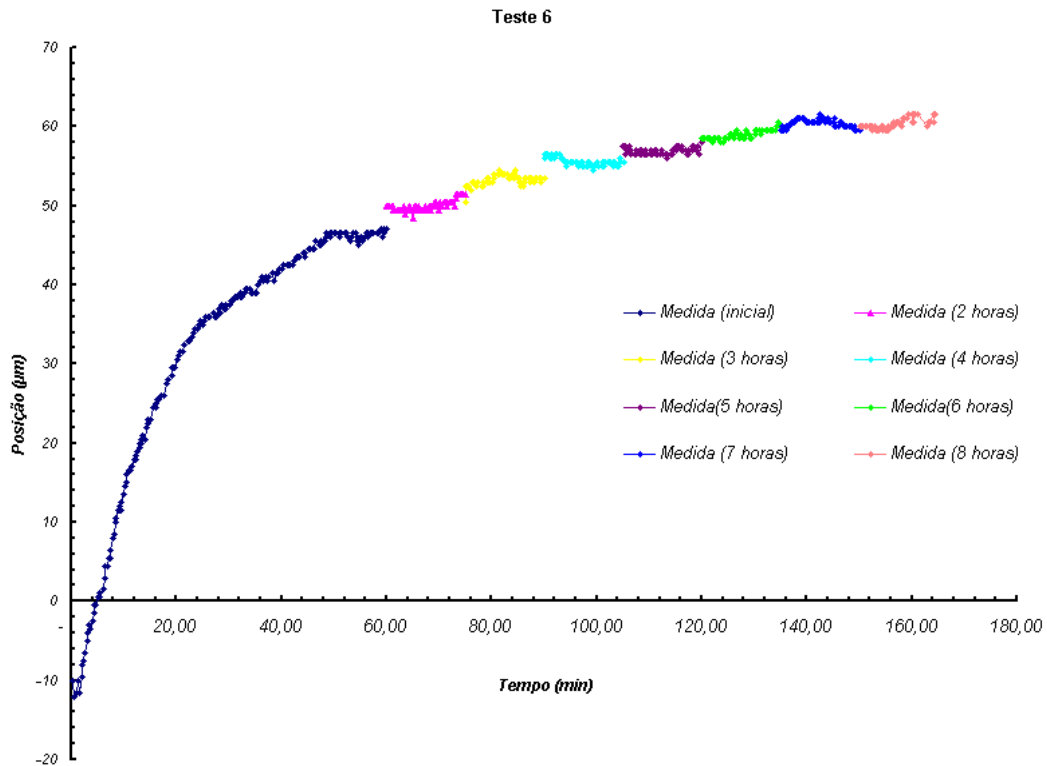


FIGURA 36 – TESTE 2 - IDENTIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO CIRCUITO ELETRÔNICO DO ANTEPROJETO DO PROTÓTIPO, COM SISTEMA ACIONADO EM 8 HORAS

- ✓ *Terceiro teste* – duração de 12 horas. As medições foram realizadas durante todo o período, entretanto apenas as medições realizadas na primeira hora dos testes foram de forma ininterrupta, igual ao primeiro teste. As outras medições foram realizadas em um intervalo de tempo de 2 horas, com medições apenas nos 15 minutos iniciais de cada mudança de intervalo. O intuito deste teste era o mesmo do segundo teste, o de identificar mudanças no comportamento do sistema eletrônico e do sistema laser, que pudessem ocasionar variações nas medições, devido ao elevado tempo de operação do sistema (Figura 37).

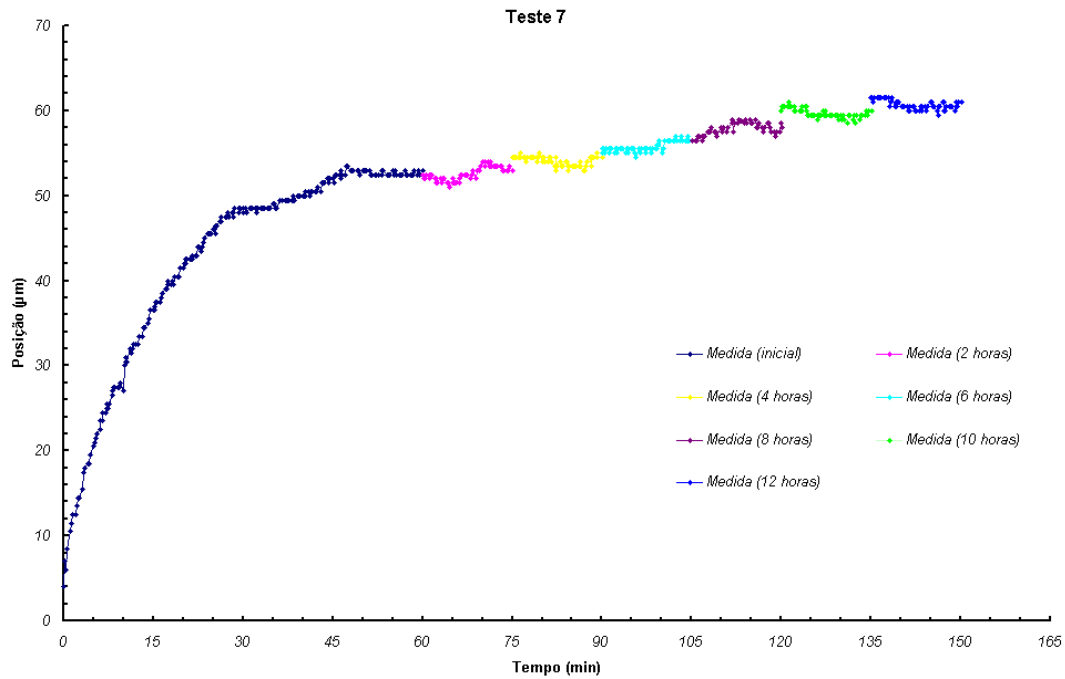


FIGURA 37 – TESTE 3 - IDENTIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO CIRCUITO ELETRÔNICO DO ANTEPROJETO DO PROTÓTIPO, COM SISTEMA ACIONADO EM 12 HORAS

3.1.3. RESULTADOS ANTEPROJETO DO PROTÓTIPO

Para a análise dos resultados, foi determinado a *Varição da Posição Total* (ΔS_{total}) (Equação 4) como sendo, a diferença entre o ponto de detecção mais disperso (S_D) em relação ao ponto de detecção menos disperso (S_d), dos valores obtidos nos testes e plotados em gráficos.

$$\Delta S_{total} = S_D - S_d$$

EQUAÇÃO 4 – VARIÇÃO DA POSIÇÃO TOTAL (ΔS_{TOTAL})

Já para determinar a *Varição da Posição Parcial* ($\Delta S_{\text{parcial}}$) (Equação 5), foi determinada como sendo a diferença entre o ponto de detecção mais disperso (S_D) em relação ao ponto de detecção no instante 30 minutos ($S_{30\text{min}}$).

O ponto de detecção no instante 30 minutos foi escolhido, com o intuito de simular o tempo aproximado que se leva para preparar a máquina para usinar a primeira peça de um turno de trabalho, ou seja, se o sistema de *presetting* for acionado juntamente com a máquina, ele apenas será utilizado aproximadamente após 30 min, aumentando assim a precisão da medição, tendo em vista a redução da variação de posição, influenciada pelo aquecimento inicial de operação do laser.

$$\Delta S_{\text{parcial}} = S_D - S_{30\text{min}}$$

EQUAÇÃO 5 – VARIÇÃO DA POSIÇÃO PARCIAL ($\Delta S_{\text{PARCIAL}}$)

A Figura 38 apresenta graficamente como foram determinadas a *Varição da Posição Total* (ΔS_{total}) e a *Varição da Posição Parcial* ($\Delta S_{\text{parcial}}$).

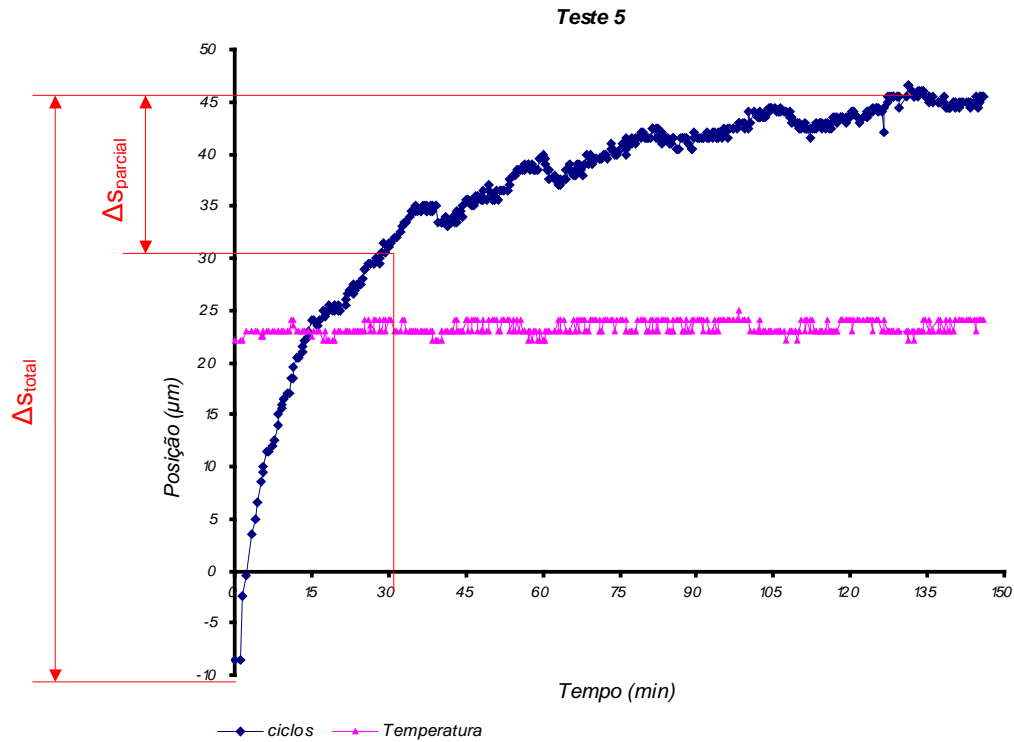


FIGURA 38 – VARIÇÃO DA POSIÇÃO TOTAL (ΔS_{TOTAL}) E VARIÇÃO DA POSIÇÃO PARCIAL ($\Delta S_{PARCIAL}$)

A Tabela 5 apresenta os resultados dos testes com o anteprojeto do protótipo.

Testes	Variação Posição (mm)	
	ΔS_{total}	ΔS_{30min}
Teste 1 (duração 2,5 horas)	0,054	0,015
Teste 2 (duração 8 horas)	0,073	0,023
Teste 3 (duração 12 horas)	0,057	0,013

TABELA 5 – RESULTADOS DOS TESTES PARCIAIS

Através da análise dos resultados dos testes referentes ao anteprojeto do protótipo de *presetting*, pode-se determinar alguns aspectos do comportamento do sistema de *presetting* laser:

- 1) Semelhança no comportamento do sistema laser em relação à detecção entre os três testes. Pode-se observar que a curva de detecção cresceu gradativamente até o instante 30 minutos aproximadamente em todos os experimentos, depois a curva continuou crescendo, mas de forma menos acentuada;
- 2) A variação total (Δs_{total}) para o pior caso foi de 0,073mm e para a variação parcial ($\Delta s_{\text{parcial}}$) foi de 0,03mm;
- 3) Foi observado que o sistema laser utilizado “*laser point*” proveniente de uma “caneta laser” não dispunha de um sistema eletrônico eficiente e confiável para validação dos testes.

Com o intuito de melhorar a performance do anteprojeto do protótipo do sistema de *presetting* laser, foi construído um novo sistema, banco de ensaios e utilizada uma nova metodologia para realização e análise dos resultados.

3.2. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA DE PRESETTING A LASER

A seguir serão apresentadas as etapas de construção e a metodologia utilizada para a realização dos testes do protótipo do sistema.

3.2.1. CARACTERÍSTICAS DO PROTÓTIPO DO SISTEMA DE *PRESETTING* LASER: EQUIPAMENTOS E COMPONENTES ELETRÔNICOS UTILIZADOS.

Para a construção do protótipo foram melhorados e/ou substituídos alguns equipamentos, materiais e componentes.

3.2.1.1. ESTRUTURA DO PROTÓTIPO

A estrutura do protótipo foi re-projetada e confeccionada em uma resina mais resistente que a utilizada anteriormente, com dimensões aproximadas de (190mm x 50mm x 100mm). A abertura entre as duas colunas laterais da estrutura é 120mm, e foram usinados bolsões em cada coluna para o alojamento do sistema eletrônico.

3.2.1.2. SISTEMA LIMITADOR DO FEIXE LASER

A Figura 39, apresenta o sistema limitador do feixe laser, desenvolvido para a realização dos testes do protótipo final. O mesmo foi usinado em aço inox, com os seguintes objetivos:

- Limitar a passagem do feixe laser para que o mesmo possa ser focado diretamente na lente do sensor foto-diodo;
- Dificultar a entrada de cavaco e fluido refrigerante na óptica do sistema, por meio do uso de um fluxo constante de ar comprimido através do furo;
- Reduzir possível reflexão do feixe laser na parede interna do furo (no caso da espessura da parede do furo de diâmetro de 1mm).

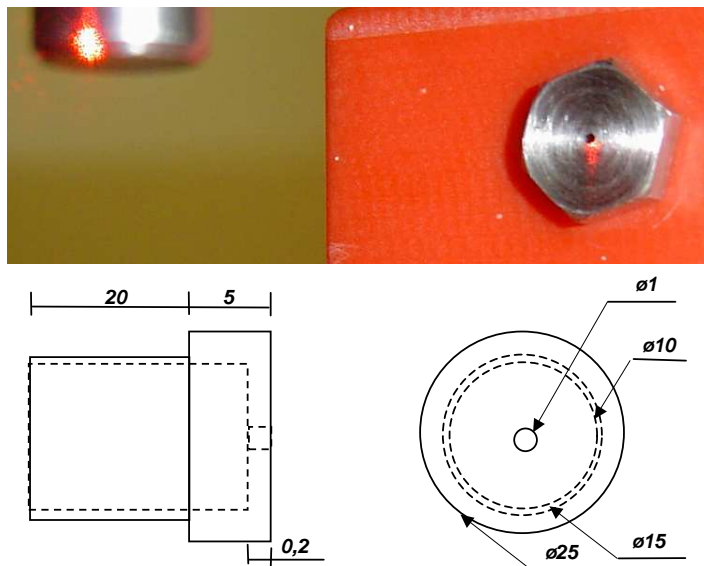


FIGURA 39 – SISTEMA LIMITADOR FEIXE LASER

3.2.1.3. MÓDULO LASER

Foi substituído o laser da “caneta laser” por um módulo de laser comercial de qualidade com as seguintes características:

- Comprimento de onda – 635nm / 650 nm
- Potência de saída mínima 2,8 mW
- Potência de saída típica 3mW
- Temperatura de operação de –10 a 45°C
- Alimentação 3 a 4,5V
- Tempo de operação 5.000 horas

3.2.2. TESTE DO SISTEMA LASER EM LABORATÓRIO

A seguir serão descritos as características dos equipamentos e procedimento para realização dos ensaios utilizados para os testes com o sistema laser final em laboratório.

3.2.2.1. MONTAGEM BANCO DE ENSAIOS

A Figura 40, apresenta o banco de ensaios utilizado para a realização dos testes em laboratório com ambiente controlado.

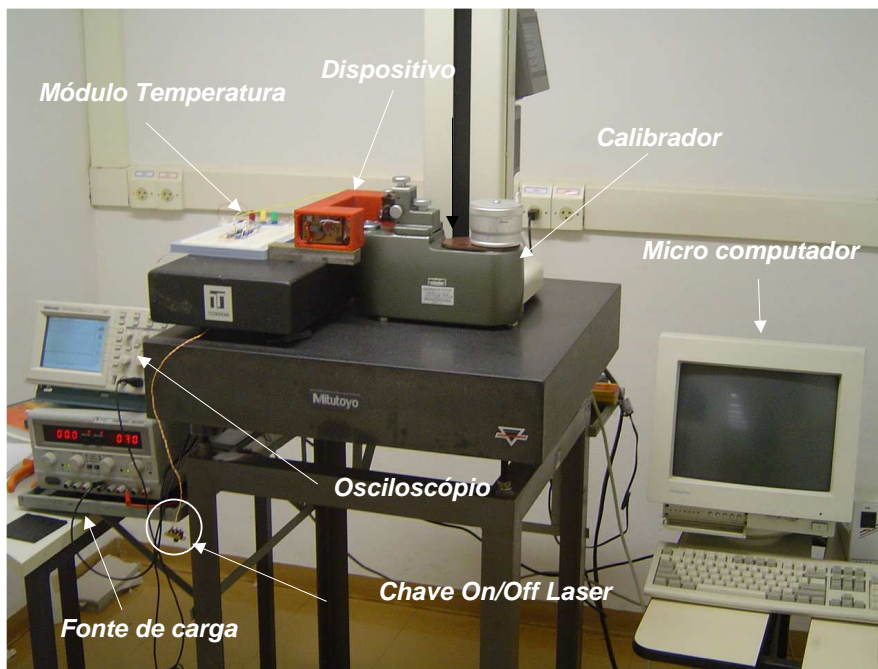


FIGURA 40 – BANCO DE ENSAIOS DO PROTÓTIPO (LABORATÓRIO)

3.2.2.2. EQUIPAMENTOS E SISTEMAS UTILIZADOS

A seguir serão apresentados os equipamentos e instrumentos utilizados na montagem do banco de ensaios, entretanto, serão descritos com mais detalhes as características dos equipamentos inclusos na realização dos testes finais. São estes:

- Fonte de tensão, Osciloscópio, Microcomputador, Dispositivo de medição, Módulo de temperatura, Módulo de aquisição de dados, Calibrador, Chave *on/off*.

Módulo de temperatura (ambiente e laser)

Para os testes finais, foi desenvolvido um módulo para temperatura ambiente e laser, para que fosse possível relacionar possíveis variações de

posição de detecção do feixe laser ocasionado por mudanças de temperaturas nos dois casos (ambiente e laser).

O módulo de temperatura (Figura 41) é composto de dois LM-35DH com precisão de 0,2°C para medir a temperatura ambiente e do laser, um amplificador operacional, resistores de precisão e foram montados e interligados em um *proto-board*.

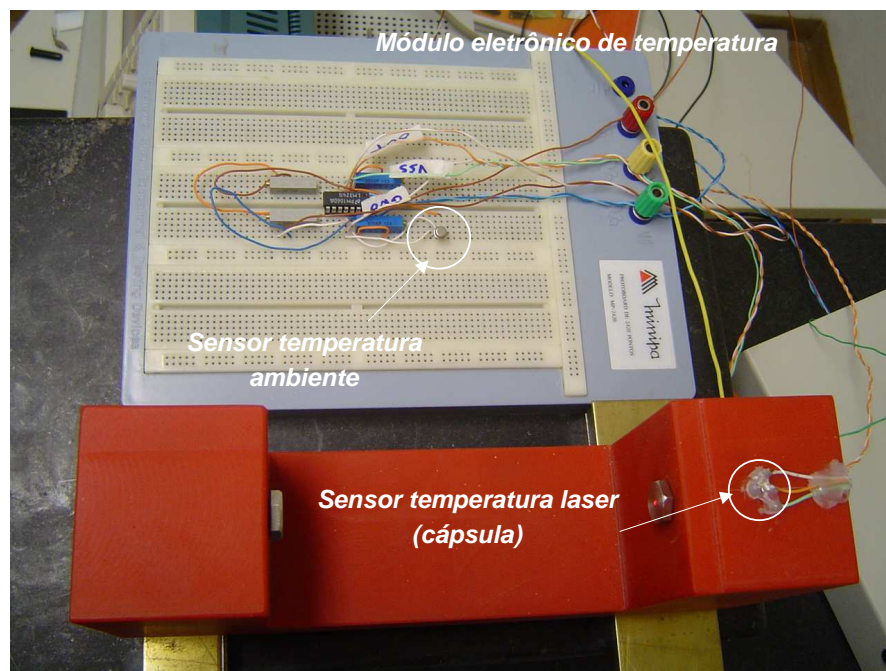


FIGURA 41 – MÓDULO DE TEMPERATURA AMBIENTE E LASER

Para medir a temperatura ambiente, o LM-35DH foi fixado na *proto-board* ao lado do dispositivo de medição. Já para a medição da temperatura do laser⁸, o LM-35DH foi colocado em contato com o invólucro do laser por meio de uma pequena abertura no dispositivo. Para melhorar o contato e conseqüentemente a transferência de calor da cápsula do sistema laser para o LM-35DH, o contato entre os dois componentes foi preenchido com pasta térmica.

⁸ Deve ser ressaltado que no transcorrer do trabalho, quando aparecer a sentença “temperatura do laser” a mesma estará se referindo a “temperatura do invólucro do laser” e não da “temperatura do feixe laser” em si.

Módulo de aquisição de dados

Para a aquisição dos dados do módulo de temperatura, foi utilizado uma placa de aquisição de dados da *National Instruments* com entrada para 24 canais modelo PCI-6229, e com módulo de conectores modelo SCB-68 (Figura 42), instalada em um microcomputador com software *LabVIEW* que possibilitou uma taxa de aquisição de um ponto a cada 200 milisegundos, e salvar os valores da temperatura do sistema em uma planilha tipo texto.

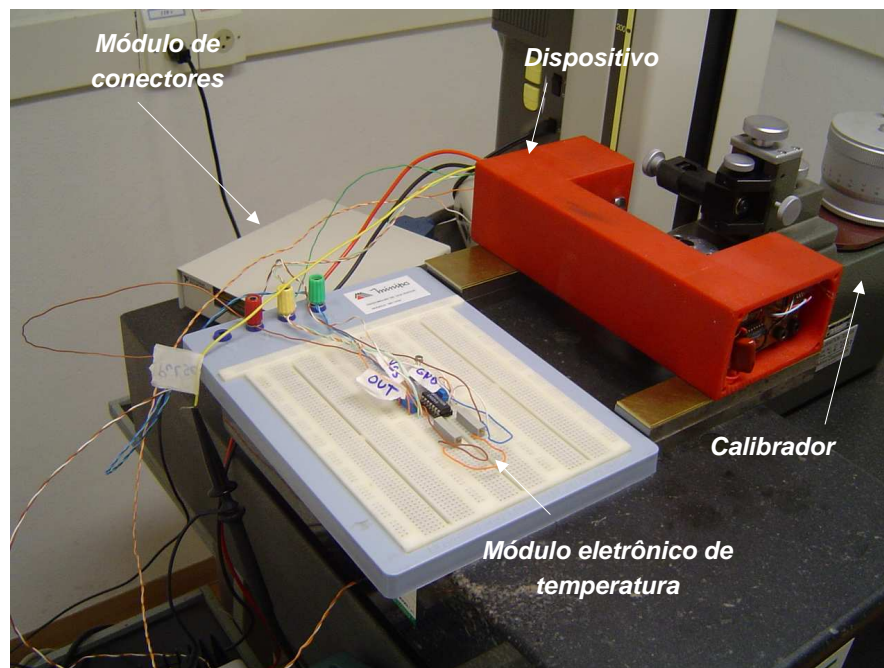


FIGURA 42 – DETALHE BANCO DE ENSAIOS

Calibrador de relógios comparadores

O calibrador de relógios comparadores utilizado foi o da Mitutoyo®, modelo Série 521-103 e possui uma graduação de 0,0002 mm, exatidão de avanço e retorno de aproximadamente $\pm 0,2\mu\text{m}$ e repetitividade de 0,1 μm . Para o presente projeto, o calibrador substituiu o colar micrométrico utilizado nos primeiros testes e teve a função de simular a ferramenta de corte

interrompendo o feixe laser, e posteriormente medir, com maior precisão, a posição no momento da detecção da interrupção do laser (Figura 43).

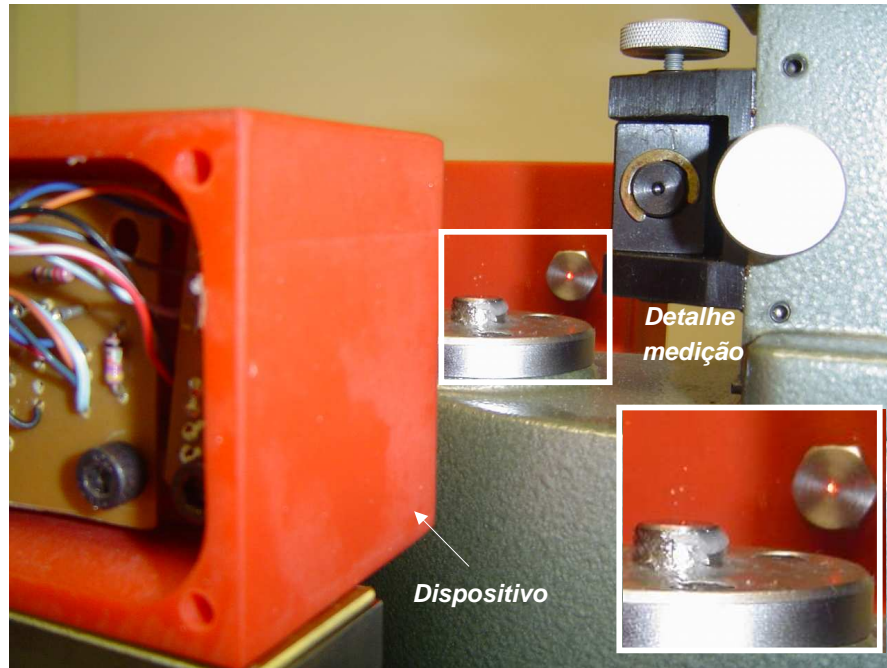


FIGURA 43 – DETALHE INTERRUPTÃO FEIXE LASER

Chave liga/desliga

Este dispositivo foi utilizado para simular um processo de pré-ajustagem de ferramentas em que o laser seria acionado apenas no instante em que cada ferramenta fosse medida.

3.2.2.3. METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO E ANÁLISE DOS TESTES

Os testes em ambiente com temperatura controlada foram realizados no Laboratório de Metrologia. O sistema foi apoiado em uma mesa de granito, e o mesmo foi disposto lateralmente (Figura 43) para que fosse possível realizar as

medições com o calibrador, tendo em vista que o curso total da haste do equipamento era de apenas 1mm.

Os testes foram divididos em 3 grupos principais:

Análise do comportamento da temperatura em relação ao tempo

Com o dispositivo apoiado na mesa de granito foram realizados testes para analisar o comportamento do sistema laser no que se refere ao aquecimento e desaquecimento do sistema durante um longo ciclo de trabalho.

Os valores das temperaturas eram coletados pelo módulo de aquisição de dados, e armazenados em uma planilha automaticamente.

Os testes realizados foram:

- ✓ *Teste 1* – duração de 6 horas. Foram coletados os valores de temperaturas durante o período para análise do comportamento da curva de crescimento do laser (Figura 44).
- ✓ *Teste 2* – duração de 50 minutos. Foram coletados os valores de aquecimento e desaquecimento do laser durante o período. Após 40 min com o sistema laser acionado o sistema foi desligado para que pudesse ser observado o comportamento do desaquecimento do laser (Figura 45).
- ✓ *Teste 1A* – teste adicional. Duração 1 hora. Análise do comportamento do aquecimento do sistema laser em função do tempo (Figura 46).

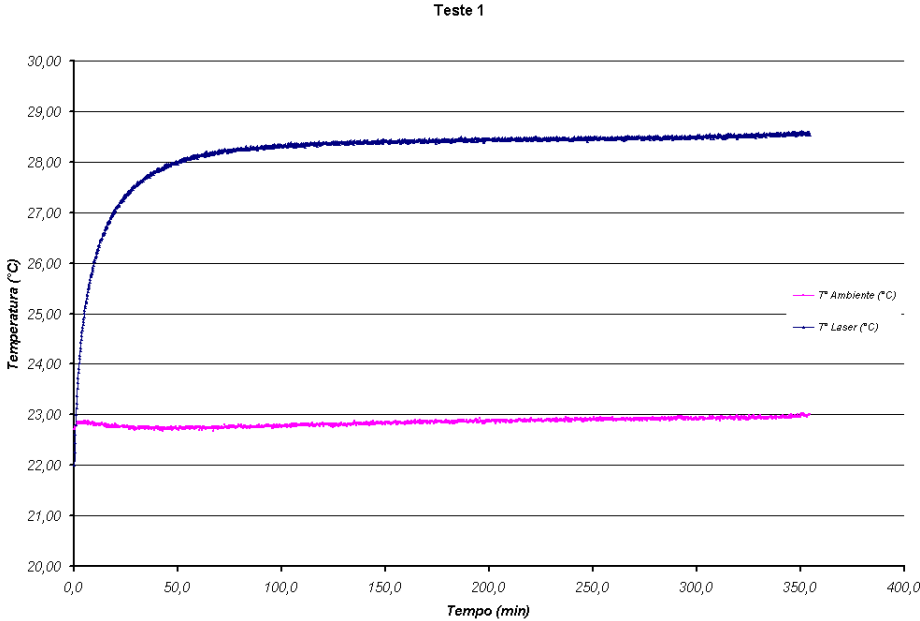


FIGURA 44 – TESTE 1 (VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO LASER NO PERÍODO DE 6 HORAS)

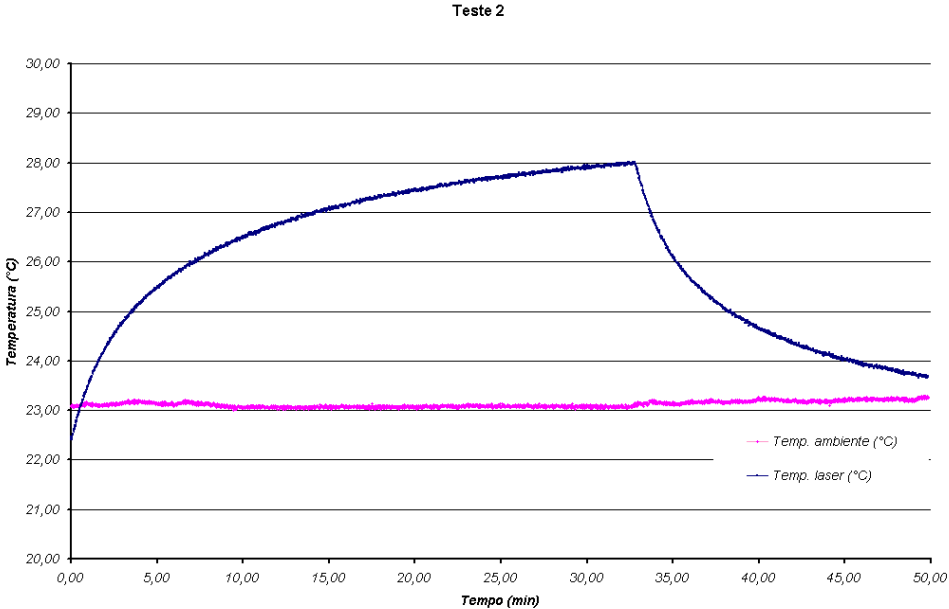


FIGURA 45 – TESTE 2 (ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO AQUECIMENTO E DESAQUECIMENTO DO FEIXE LASER)

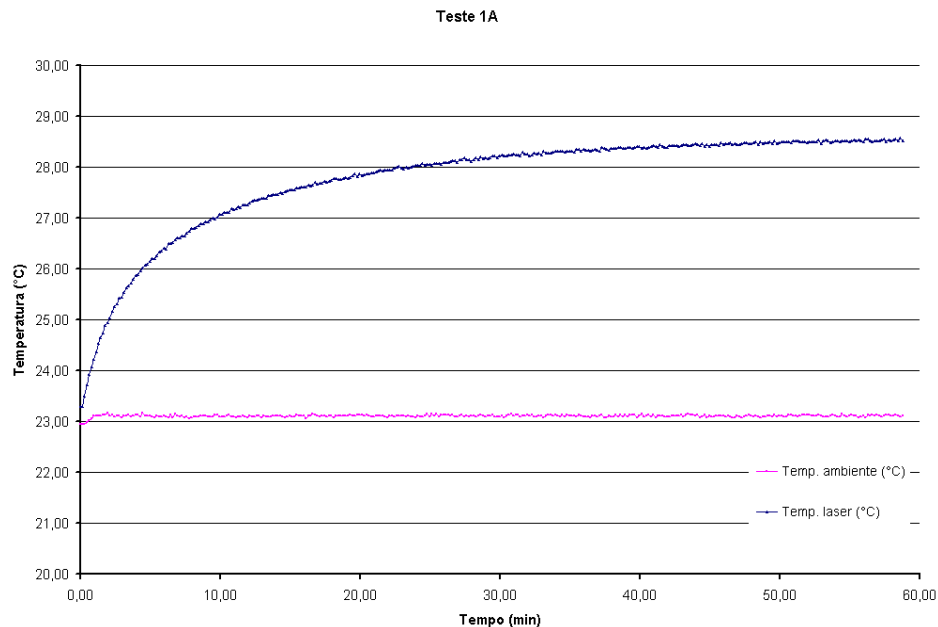


FIGURA 46 – TESTE 1 ADICIONAL (COMPORTAMENTO DO AQUECIMENTO DO SISTEMA LASER NO PERÍODO DE 1 HORA)

Análise da variação da posição de detecção em relação ao tempo com o sistema laser ligado todo o período.

Foram realizados testes de longa duração com o sistema laser ligado para detecção da posição por meio da interrupção do feixe laser.

Os dados de temperatura foram coletados automaticamente pelo sistema de aquisição de dados. Já para a detecção da posição de interrupção do feixe laser, foi utilizado o calibrador cuja haste (simulando uma ferramenta de corte) era movimentada manualmente até que ocorresse a interrupção do feixe laser. A detecção da interrupção era feita de forma visual pelo osciloscópio, que estava conectado na saída do sistema laser. Detectada a posição no leitor do calibrador, a medida era anotada em uma planilha cujas informações eram inseridas posteriormente com os dados de temperatura adquiridas pelo sistema de aquisição de dados.

Os testes realizados seguindo esta metodologia foram:

- ✓ *Teste 3* – duração de 6 horas. Foram realizadas medições a cada 10 min na primeira hora do teste, visando analisar o comportamento da variação da posição em relação a variação de temperatura do laser, e posteriormente a cada 1 hora (Figura 47).

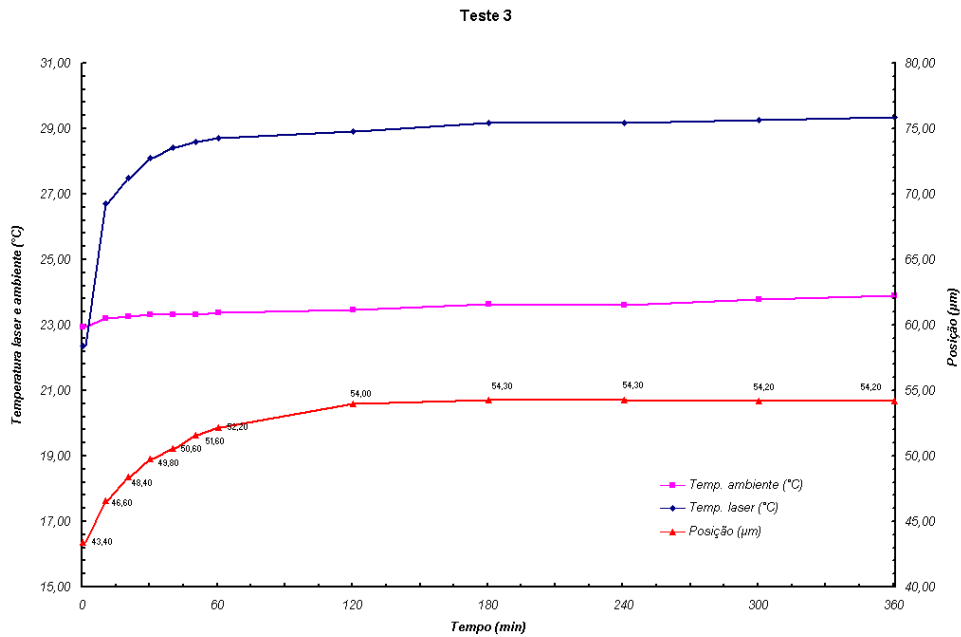


FIGURA 47 – TESTE 3 (COMPORTAMENTO DA VARIAÇÃO DE POSIÇÃO EM UM PERÍODO DE 6 HORAS COM O SISTEMA LASER ACIONADO)

- ✓ *Teste 2A* – teste adicional. Duração 5 horas. Foram realizadas medições a cada 1 hora para observar a variação da posição de detecção do sistema laser (Figura 48).

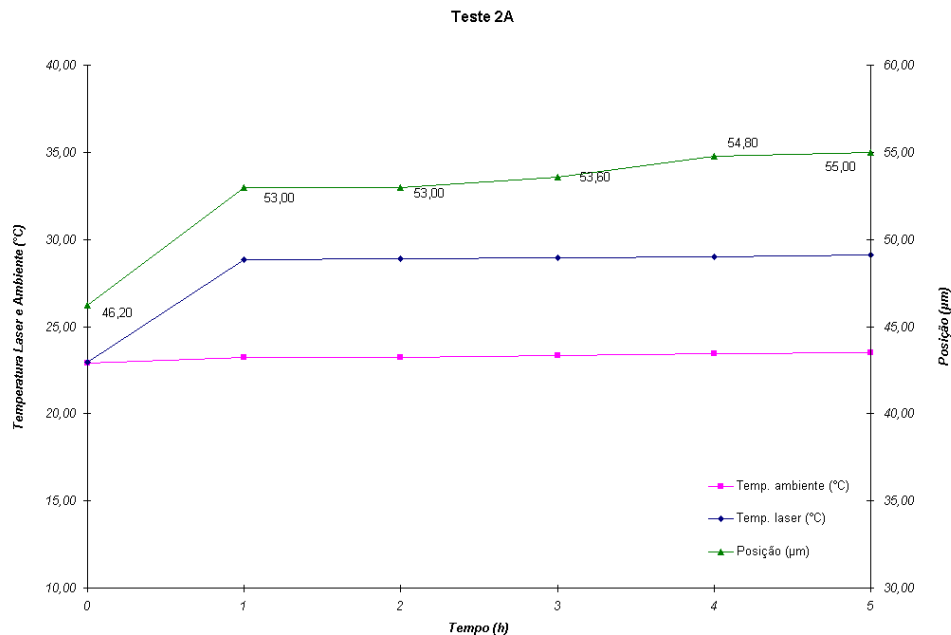


FIGURA 48 – TESTE 2 ADICIONAL (COMPORTAMENTO DA VARIAÇÃO DE POSIÇÃO EM UM PERÍODO DE 5 HORAS COM O SISTEMA LASER ACIONADO)

Análise da variação da posição de detecção em relação ao tempo com o sistema laser ligado em pequenos períodos.

Foram realizados testes de longa duração com o sistema laser ligado em pequenos períodos com o intuito de simular uma pré-ajustagem de ferramentas, na qual o laser permanece ligado somente no tempo em que a ferramenta está sendo medida.

O conceito para detecção da posição é o mesmo que o dos testes anteriores, utilizando o calibrador e o osciloscópio, entretanto o tempo entre as medições e o tempo de acionamento do laser é diferente.

Para o teste, o sistema laser foi acionado por 15 seg e foi feita a medição por meio do calibrador, os 15 seg. seguintes o laser foi desligado (chave liga/desliga). Todo este processo foi repetido por 15 vezes. No caso, o intuito deste teste foi de simular uma situação para pré-ajustagem de 15

ferramentas, na qual a ferramenta é medida durante tempo de acionamento do laser e o tempo em que o sistema laser não está acionado seria o tempo de troca da ferramenta pré-ajustada por outra no magazine da máquina-ferramenta.

Os testes realizados seguindo esta metodologia foram:

- ✓ *Teste 4* – duração de 7 horas. Foi realizada a cada 30 min uma seqüência de 15 medições, ligando e desligando o sistema laser, visando analisar o comportamento da variação da posição, em relação ao desaquecimento do sistema laser, tendo em vista não estar ligado constantemente (Figura 49).

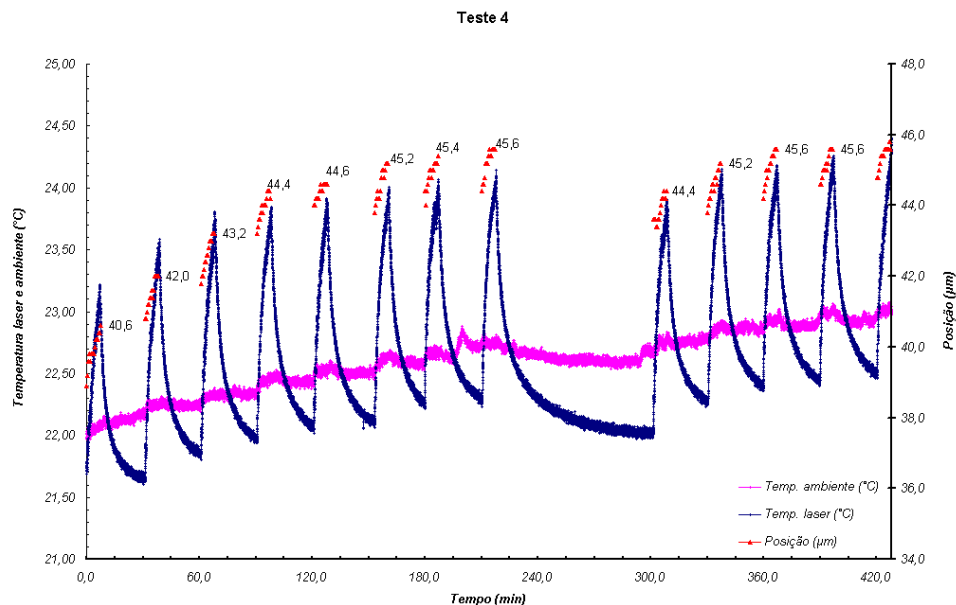


FIGURA 49 – TESTE 4 (COMPORTAMENTO DA VARIAÇÃO DE POSIÇÃO EM UM PERÍODO DE 7 HORAS COM O SISTEMA LASER LIGADO/DESLIGADO)

- ✓ *Teste 4.1* – Apresenta um gráfico plotado em uma janela de tempo com os dados do teste 4, e mostra o comportamento da curva de aquecimento e desaquecimento do laser (Figura 50);

- ✓ *Teste 4.2* - Com o mesmo propósito do teste 4.1, este apresenta um gráfico plotado em uma janela de tempo com os dados do teste 4, e mostra o comportamento das sub-curvas de aquecimento e resfriamento do laser em relação a um ciclo com 15 medições (Figura 51).
- ✓ *Teste 3A* – teste adicional. Duração 4 horas. Teve o intuito de simular uma variação de temperatura para analisar possíveis variações de posição (Figura 52).

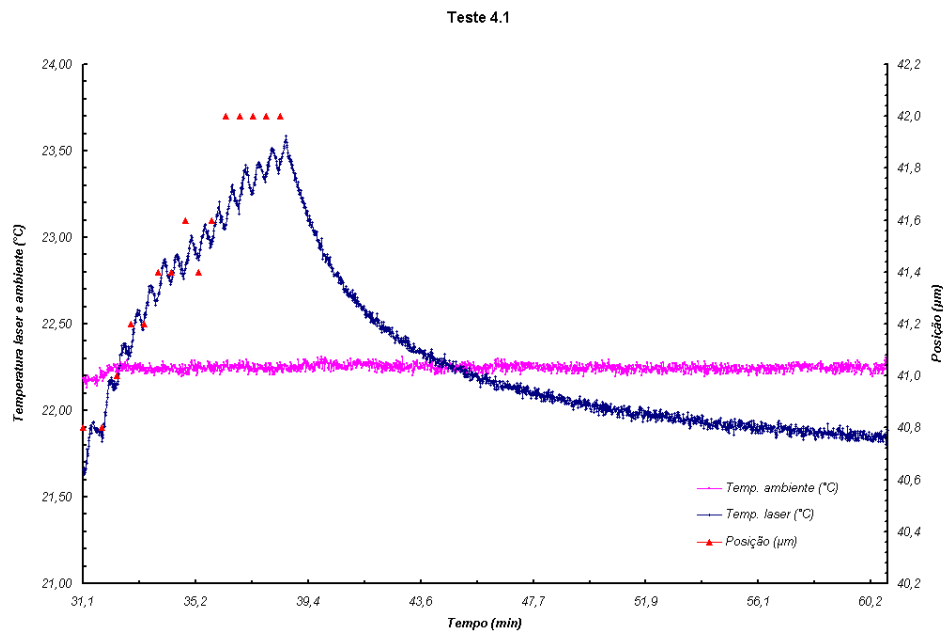


FIGURA 50 – TESTE 4.1 (DETALHE DE UMA JANELA DE MEDIÇÃO REFERENTE AO AQUECIMENTO E DESAQUECIMENTO DO SISTEMA LASER)

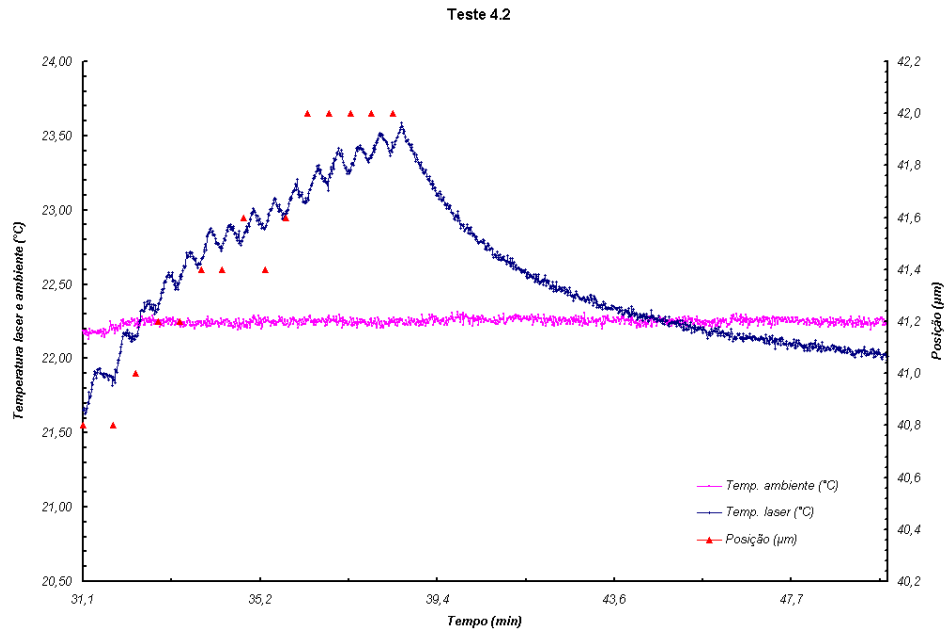


FIGURA 51 – TESTE 4.2 (DETALHE DE UMA JANELA DE MEDIÇÃO REFERENTE AO AQUECIMENTO E DESAQUECIMENTO DO SISTEMA LASER)

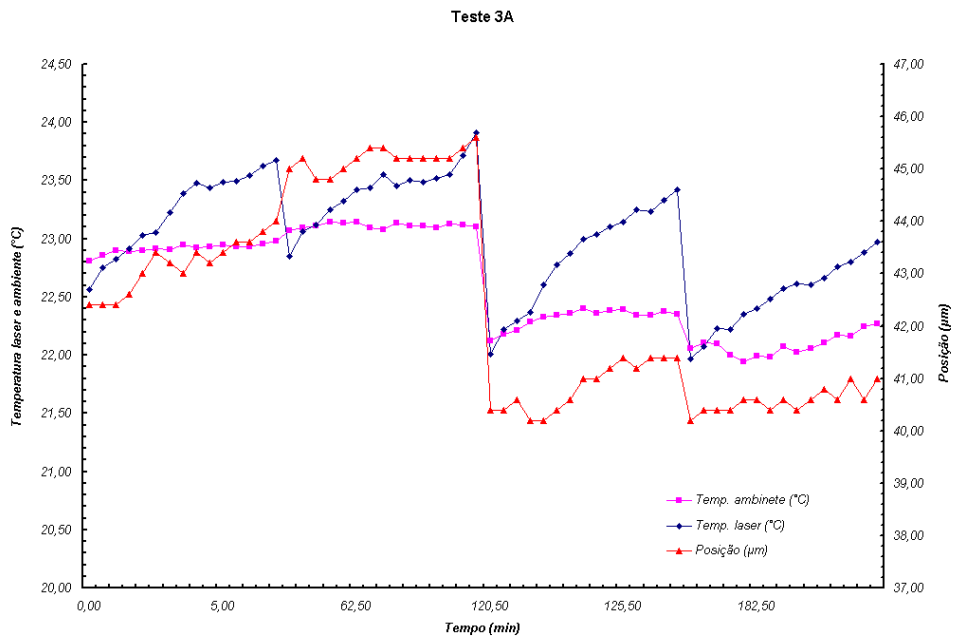


FIGURA 52 – TESTE 3 A (DETALHE DE UMA MUDANÇA BRUSCA DE TEMPERATURA SIMULADA EM LABORATÓRIO)

3.2.3. TESTE DO SISTEMA LASER EM UMA MÁQUINA-FERRAMENTA CNC

A seguir serão descritos as características dos equipamentos o e procedimento para realização dos ensaios utilizados com o sistema laser final em uma máquina-ferramenta CNC.

3.2.3.1. MONTAGEM DO BANCO DE ENSAIOS

A Figura 53, apresenta o banco de ensaios utilizado para a realização dos testes em chão-de-fábrica, especificamente em um centro de usinagem, sem um controle de temperatura no local de trabalho, variação de luminosidade, umidade, vibração da máquina, etc.

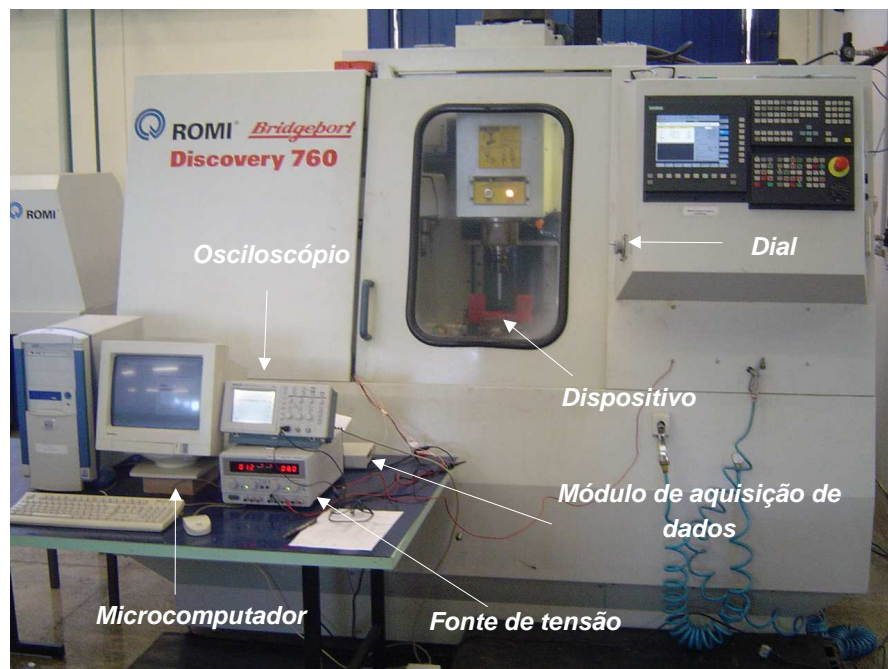


FIGURA 53 – MONTAGEM BANCO DE ENSAIO (CHÃO-DE-FÁBRICA)

3.2.4. EQUIPAMENTOS E SISTEMAS UTILIZADOS

Os equipamentos e instrumentos utilizados na montagem do banco de ensaios, para os testes em chão-de-fábrica foram:

- fonte de tensão, osciloscópio, microcomputador; módulo de temperatura, módulo de aquisição de dados, chave liga/desliga, Máquina-ferramenta CNC e Relógio comparador (0,01mm).

Como todos os equipamentos já foram descritos, exceto a máquina-ferramenta CNC e relógio comparador, apenas estes serão comentados.

Máquina-ferramenta CNC

A máquina-ferramenta utilizada para a realização dos testes foi um Centro de Usinagem Discovery 760 da empresa Romi®. O propósito de utilizar este tipo de equipamento para os experimentos, foi obter uma condição real de um ambiente de trabalho com as variações de temperatura, vibração da máquina durante um turno ou mais de trabalho.

Para tanto, foi fixada junto a um cone porta ferramentas uma haste, na qual realizava a interrupção do feixe laser e conseqüentemente a detecção de posição do sistema. A Figura 54, apresenta em detalhe o momento em que a haste interrompe o feixe laser

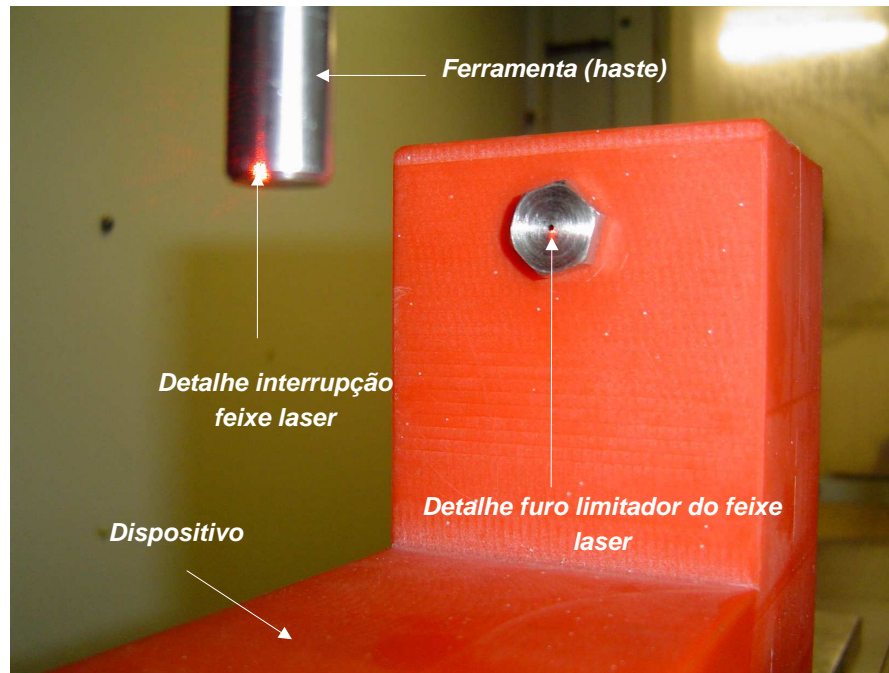
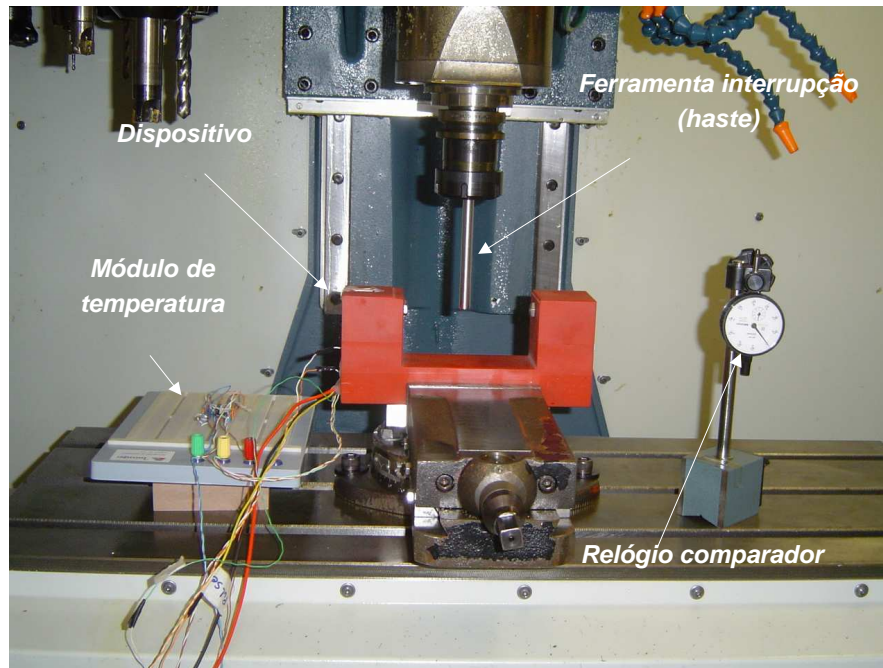


FIGURA 54 – DETALHE DA INTERRUPTÃO DO FEIXE LASER PELA FERRAMENTA

Relógio Comparador

O relógio comparador utilizado foi o da empresa Mitutoyo®, modelo Série 2, graduação 0,01 mm, exatidão 0,012mm. O equipamento foi instalado na mesa do centro de usinagem e fixado com uma base magnética. O propósito do uso deste equipamento foi o de comparar e analisar possíveis variações de posição, do eixo-árvore durante a realização dos ensaios.

A Figura 55 apresenta o banco de ensaios onde foi fixado o relógio comparador na mesa do centro de usinagem.



3.2.4.1. METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO E ANÁLISE DOS TESTES

Os testes foram realizados no Laboratório de Automação da Manufatura em um centro de usinagem. O sistema de *presetting* a laser foi fixado na mesa da máquina-ferramenta com uma morsa.

Inicialmente foram determinados os pontos de interrupção do feixe laser e da posição do relógio comparador nos três eixos (X, Y e Z) da máquina-ferramenta. Estes pontos foram determinados, por meio de movimentação manual dos eixos do centro de usinagem, utilizando o *dial* de movimentação dos eixos (detalhe Figura 53).

Determinada às posições de interrupção do feixe laser e da posição do relógio comparador, estas posições se tornaram a referência do sistema para todos os testes realizados no centro de usinagem.

Os testes foram divididos em 2 grupos principais:

Análise da variação da posição de detecção em relação ao tempo com o sistema laser ligado todo o período.

Foram realizados testes de longa duração no centro de usinagem com o sistema laser ligado para detecção da posição por meio da interrupção do feixe laser.

A temperatura ambiente e do laser foram coletadas automaticamente pelo sistema de aquisição de dados. Já para a detecção da posição de interrupção do feixe laser e da comparação da posição de referência determinada anteriormente através do relógio comparador, foi utilizado a própria máquina-ferramenta com instrumento de medição.

Para a detecção de posição no presente teste, os eixos X e Y eram movimentados para a posição de referência, e se iniciava o ciclo de movimentação manual do eixo Z com avanço de 0,001mm. A detecção era feita de forma visual pelo osciloscópio, que estava conectado à saída do sistema laser. Feita a detecção, a medida da posição apresentada no visor do comando da máquina-ferramenta era anotada em uma planilha, para posterior análise.

Já para o monitoramento das variações de posição da máquina-ferramenta durante o período de testes, a ferramenta era movimentada manualmente até o relógio comparador e era determinado se havia ocorrido alguma variação de posição durante os testes.

Os testes seguindo esta metodologia foram:

- ✓ *Teste 5* – duração de 7 horas. Foram realizadas medições a cada 10 min na primeira hora do teste, visando analisar o comportamento da variação da posição em relação a variação de temperatura do laser e da variação de posição da máquina (relógio comparador). Posteriormente foram feitas medições a cada 1 hora, tanto para posição de detecção (laser) com detecção

de variação de posição da máquina (relógio comparador). A Figura 56 apresenta o gráfico do teste realizado.

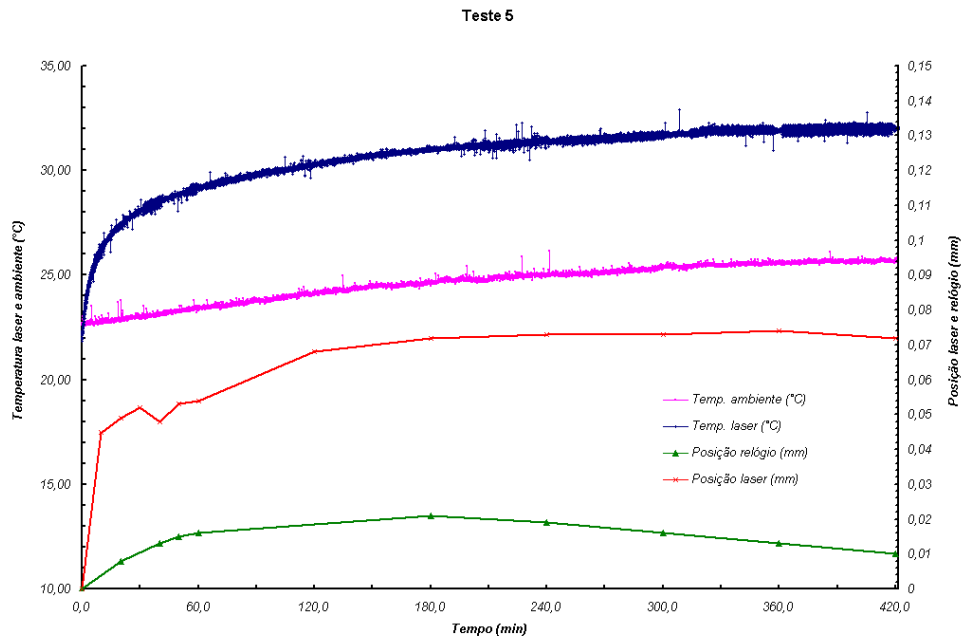


FIGURA 56 – TESTE 5 (COMPORTAMENTO DA VARIAÇÃO DE POSIÇÃO EM UM PERÍODO DE 7 HORAS COM O SISTEMA LASER ACIONADO EM UMA MÁQUINA-FERRAMENTA)

- ✓ *Teste 4A* - teste adicional. Duração 5 horas. Teve o objetivo de identificar o comportamento das medições pelo sistema laser, relacionado às variações de temperatura e de posição do eixo da máquina-ferramenta (Figura 57).

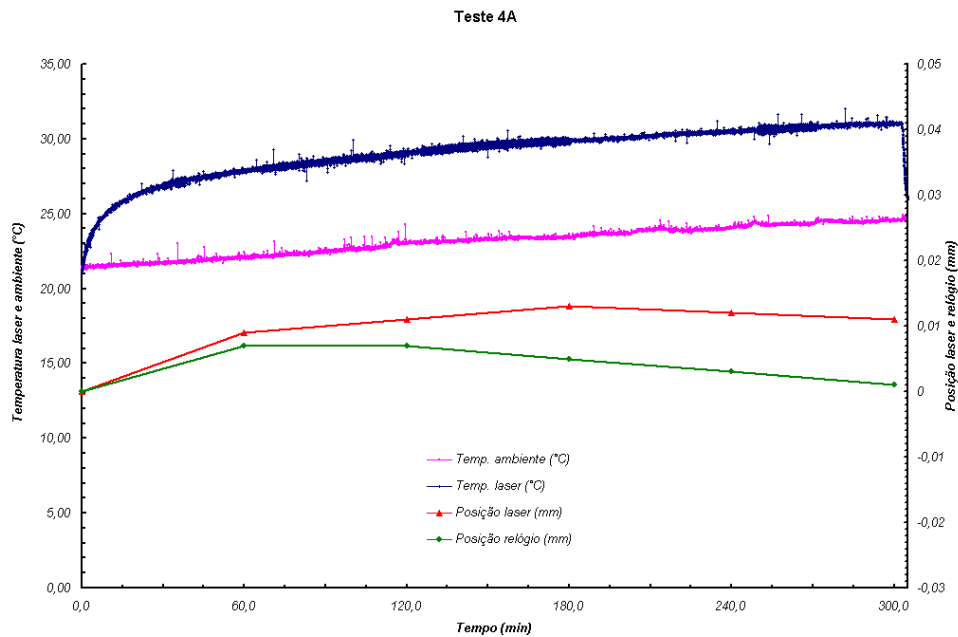


FIGURA 57 – TESTE 4A (COMPORTAMENTO DA VARIAÇÃO DE POSIÇÃO EM UM PERÍODO DE 5 HORAS COM O SISTEMA LASER ACIONADO EM UMA MÁQUINA-FERRAMENTA)

Análise da variação da posição de detecção em relação ao tempo com o sistema laser ligado em pequenos períodos.

Para o presente teste foi utilizado a mesma metodologia do teste parcial em laboratório com o laser ligado em pequenos períodos com o intuito de simular a medição (laser ligado) apenas quando houver ferramenta.

No entanto as medições foram feitas em um centro de usinagem e o equipamento de medição de interrupção do feixe laser foi a própria máquina-ferramenta.

Para o teste, foi analisada também a variação de posição que o eixo da máquina-ferramenta sofre durante um longo período de trabalho, por meio do relógio comparador instalado na mesa do equipamento.

O teste realizado seguindo esta metodologia foi:

- ✓ *Teste 6* – duração de 7 horas. Foi realizada na primeira hora do do ensaio uma seqüência de 15 medições, ligando (15 seg) e desligando (15 seg) o sistema laser a cada 15 minutos, nas horas seguintes foi realizado um ciclo com 15 medições. Este teste foi realizado visando analisar o comportamento da variação da posição do sistema laser em relação ao desaquecimento do sistema laser, tendo em vista não estar ligado constantemente, como também analisar a influência da variação da posição do eixo da máquina ferramenta (Figura 49).

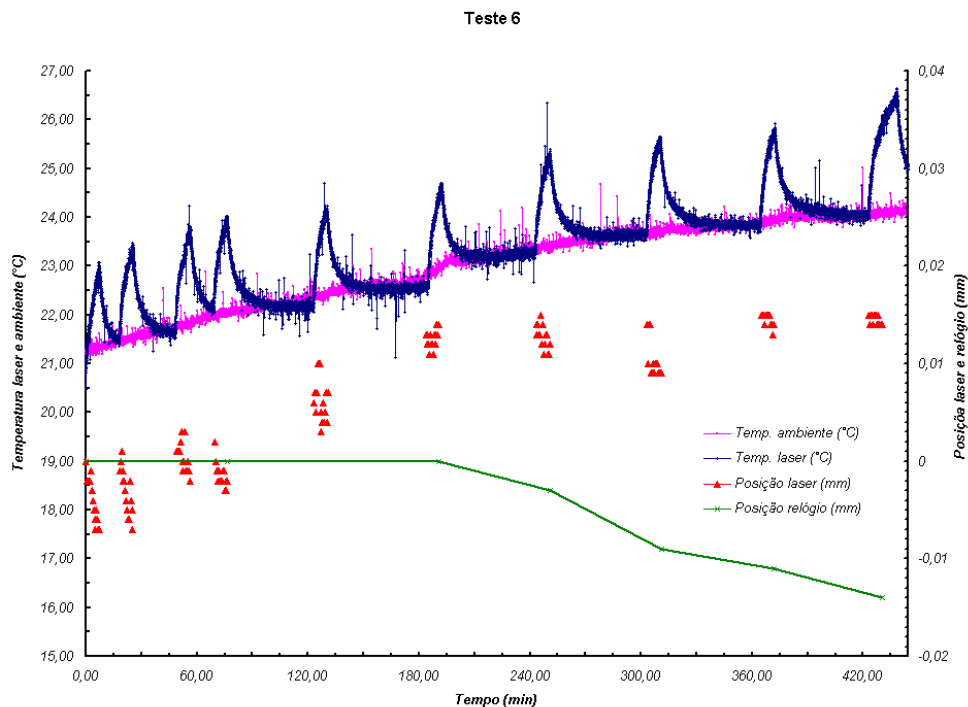


FIGURA 58 – TESTE 6 (COMPORTAMENTO DA VARIAÇÃO DE POSIÇÃO EM UM PERÍODO DE 7 HORAS COM O SISTEMA LASER LIGADO/DESLIGADO EM UMA MÁQUINA-FERRAMENTA)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados dos testes realizados com o anteprojeto do protótipo e protótipo final em ambiente laboratorial e chão-de-fábrica (máquina-ferramenta). Posteriormente será feita a discussão dos resultados.

4.1. RESULTADOS DO ANTEPROJETO DO PROTÓTIPO E PROTÓTIPO

Para facilitar a comparação entre o anteprojeto e o protótipo final nas condições que os mesmos foram submetidos, os resultados foram subdivididos em tabelas referentes às metodologias aplicadas para a realização dos ensaios.

A análise da variação de posição de detecção da ferramenta através do feixe laser (Δs), será a mesma utilizada nos testes iniciais, entretanto serão apresentadas os valores das variações de posição total (Δs_{total}), variação após 30 minutos (Δs_{30min}), 60 minutos (Δs_{60min}) e 120 minutos (Δs_{120min})

Será apresentada também nas tabelas, cujos testes foram realizados na máquina-ferramenta a variação de posição da máquina ($\Delta s_{máq}$) durante a realização dos testes.

A Tabela 6 apresenta os resultados referentes ao comportamento da temperatura do sistema laser em ambiente com temperatura controlada.

Teste	Temp. amb. (°C)		Temp. laser (°C)		Variação Posição (mm)				
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	ΔS_{total}	ΔS_{30min}	ΔS_{60min}	ΔS_{120min}	$\Delta S_{máq}$
Teste 1 (PFL ⁹)	22,72	23,87	22,36	29,26	-	-	-	-	-
Teste 2 (PFL)	23,10	23,86	22,50	28,01	-	-	-	-	-

TABELA 6 – COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DO SISTEMA LASER (PFL)

A Tabela 7 apresenta os resultados referente ao comportamento do sistema laser, relacionado a detecção de posição, com o sistema laser acionado.

Teste	Temp. amb. (°C)		Temp. laser (°C)		Variação Posição (mm)				
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	ΔS_{total}	ΔS_{30min}	ΔS_{60min}	ΔS_{120min}	$\Delta S_{máq}$
Teste 1 (PIL ¹⁰)	-	-	-	-	0,0540	0,0150	0,0070	0,0060	-
Teste 2 (PIL)	-	-	-	-	0,0730	0,0230	0,0150	0,0110	-
Teste 3 (PIL)	-	-	-	-	0,0570	0,0130	0,0110	0,0090	-
Teste 3 (PFL)	22,94	23,87	22,36	29,26	0,0108	0,0044	0,0020	0,0002	-
Teste 5 (PFM ¹¹)	22,64	25,71	22,15	32,19	0,0730	0,0210	0,0190	0,0050	0,0210

TABELA 7 – COMPORTAMENTO DA VARIAÇÃO DE POSIÇÃO COM O SISTEMA LASER ACIONADO

⁹ Teste com Protótipo Final em Laboratório (ambiente com temperatura controlada)

¹⁰ Teste com Anteprojeto do Protótipo em Laboratório (ambiente com temperatura controlada)

¹¹ Teste com Protótipo Final na Máquina-ferramenta (chão-de-fábrica)

A Tabela 8 apresenta os resultados referente ao comportamento do sistema laser, relacionado a detecção de posição, com o sistema laser acionado somente no instante da medição da ferramenta.

Teste	Temp. amb. (°C)		Temp. laser (°C)		Varição Posição (mm)				
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	ΔS_{total}	ΔS_{30min}	ΔS_{60min}	ΔS_{120min}	$\Delta S_{máq}$
Teste 4 (PFL)	22,00	23,05	21,71	24,29	0,0070	0,0050	0,0040	0,0018	-
Teste 6 (PFM)	21,30	24,15	21,01	26,4	0,0220	0,0220	0,0180	0,0120	0,0140

TABELA 8 – COMPORTAMENTO DA VARIAÇÃO DE POSIÇÃO COM O SISTEMA LASER ACIONADO APENAS NO INSTANTE DA MEDIÇÃO (PFL, PFM)

A Tabela 9 apresenta os resultados de testes adicionais referentes ao comportamento da temperatura em ambiente com temperatura controlada (Teste 1A), comportamento da variação de posição com o laser ligado em ambiente com temperatura controlada (Teste 2A) e na máquina-ferramenta (Teste 4A).

Teste	Temp. amb. (°C)		Temp. laser (°C)		Varição Posição (mm)				
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	ΔS_{total}	ΔS_{30min}	ΔS_{60min}	ΔS_{120min}	$\Delta S_{máq}$
Teste 1A (PFL)	22,98	23,10	23,30	28,52	-	-	-	-	-
Teste 2A (PFL)	22,96	23,42	22,96	29,09	0,0088	-	0,0020	0,0020	-
Teste 4A (PFM)	21,47	24,47	21,53	30,93	0,0130	-	0,0400	0,0020	0,0070

TABELA 9 – RESULTADOS DE TESTES ADICIONAIS

4.2. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos nos testes realizados no presente projeto, foi possível identificar e determinar alguns fatores que influenciaram de forma direta e/ou indireta os resultados. São estes:

- 1) A temperatura do sistema laser, detectada pelo componente eletrônico LM35DH em contato com a cápsula do laser, detém uma curva de aquecimento mais acentuada até os 30min. Após este período, o sistema laser continua aquecendo, mas com menos intensidade. Este comportamento pode ser visto claramente nos testes 1 e 2 com o protótipo final
- 2) A temperatura ambiente tem influência na variação da posição detectada, tendo em vista que a mesma pode interferir no aquecimento do laser e/ou resfriamento. Isto pode ser observado claramente em testes realizados com o laser ligado em todo o período em ambiente com temperatura controlada, e realizados na máquina-ferramenta, na qual a temperatura média máxima dos testes foi respectivamente 28°C e 31°C. O teste 3A apresenta claramente a influência da temperatura ambiente no resfriamento do sistema laser e conseqüentemente na variação de posição.
- 3) Foi observado claramente que a variação de posição de detecção do feixe laser tem comportamento semelhante ao da curva de aquecimento do sistema laser, portanto com o decorrer do tempo o sistema tende a diminuir a variação de posição se comparado ao início da medição. Esta variação de medida tende a diminuir a partir dos 30 minutos após o laser ligado. O teste 3 com o protótipo final apresenta com muita clareza o comportamento semelhante destas duas grandezas.

- 4) Observou-se que a substituição do sistema laser do protótipo inicial, um “*laser point*” de uma caneta laser, por um laser comercial de melhor qualidade e baixo custo, aumentou consideravelmente a precisão do sistema de *presetting*. Esta melhoria pôde ser observada claramente comparando os resultados dos testes 1, 2 e 3 realizados com o anteprojeto do protótipo, com os testes 3 e 2A utilizando o protótipo final.
- 5) Utilizando-se de uma metodologia de testes, que visava simular uma medição de ferramenta com laser ligado apenas no instante da medição, com o intuito de reduzir a temperatura do sistema laser e conseqüentemente a variação de posição, foi obtido através dos ensaios uma redução da variação total de posição (Δs_{total}) entre o teste com acionamento do laser apenas no ciclo de medição em comparação ao teste com o laser ligado todo o período, cujos valores foram respectivamente Δs_{total} 0,007mm e Δs_{total} 0,0108mm. Estes valores foram retirados dos testes 3 e 4 realizados com o protótipo final.
- 6) Nos testes realizados na máquina-ferramenta, pode ser observado que as variações inerentes a um processo de usinagem como variação da temperatura no ambiente da área de trabalho da máquina durante o ciclo de trabalho, bem como variações de posição do eixo da máquina-ferramenta causadas por interferências mecânicas e estruturais da máquina, influenciaram nas medições realizadas. Entretanto, mesmo com estas variáveis foi possível obter uma medição com precisão de menos de 0,02mm. O comparativo entre os testes realizados em laboratório com temperatura controlada e na própria máquina-ferramenta pode ser comparado entre si pelos testes 3 e 5 para os com laser ligado todo o período, e os testes 4 e 6 para os com o laser acionado apenas no instante da medição.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como pode ser observado, ainda são poucas as pesquisas realizadas no Brasil abrangendo o tema “redução do tempo de pré-ajustagem de ferramentas”, em relação a grande importância deste tema relacionada à flexibilidade da produção, custos envolvidos, dentre outros que prejudiquem a competitividade da empresa. Portanto, este tema ainda necessita de pesquisas que promovam soluções práticas para a redução do tempo de *setup* desta atividade.

A seguir serão apresentadas as conclusões referentes ao desenvolvimento do presente projeto, além de sugestões para trabalhos futuros.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Tabela 10, apresenta a repetibilidade de medição (μm) dos equipamentos existentes no mercado, informações estas retiradas dos catálogos técnicos destes equipamentos, e do sistema desenvolvido.

Equipamentos	Repetibilidade (μm)
<i>NC3 non-contact</i> (Renishaw)	0,15
<i>Laser Control NT</i> (Blum)	0,25
<i>Mida Laser 75</i> (Marposs)	0,2
DESENVOLVIDO	7,0

TABELA 10 – COMPARATIVO ENTRE REPETIBILIDADE DE MEDIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO E SISTEMAS COMERCIAIS

Como pode ser observado a repetibilidade de medição dos equipamentos existente no mercado é superior ao desenvolvido. No caso o valor apresentado do sistema desenvolvido ($7\mu\text{m}$) foi para o ciclo completo de 7 horas em ambiente com temperatura controlada.

Mas este valor pode ser considerado ideal para realização da pré-ajustagem de ferramentas, se comparados aos sistemas existentes por alguns motivos:

- 1) Como foi observada nos testes realizada na máquina-ferramenta, a posição do eixo principal da máquina varia sua posição durante um ciclo longo de trabalho, devido principalmente à dilatação térmica que ocorre na estrutura e no eixo principal da máquina, dentre outros motivos.
- 2) Os fabricantes deste equipamento mencionam em seus catálogos técnicos que a precisão apresentada é em relação apenas ao seu equipamento e variáveis externas, como vibração, precisão da máquina, variação de temperatura do ambiente em que o sistema está localizado, dentre outros fatores inerentes ao processo de usinagem, podem prejudicar a precisão do sistema.

Portanto, a precisão da medição da ferramenta será a soma da variação de posição da máquina-ferramenta com a variação do sistema de *presetting* a laser, que para o presente projeto girou em torno de 0,02mm após 30 min do sistema laser acionado.

Esta variação de medição de aproximadamente 0,02mm, obtida pelo protótipo, consegue abranger em sua totalidade, as tolerâncias utilizadas pela grande maioria das empresas de usinagem brasileira, nas operações de desbaste e semi-acabamento, e abrange também boa parte das tolerâncias das operações de acabamento fino utilizado por empresas de usinagem que detém um processo de produção que necessita de uma maior qualidade dimensional da peça.

5.2. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

As principais sugestões são:

- 1) Estudar o comportamento do sistema laser, no que se refere às interferências que o aquecimento do laser provoca em relação a variação de detecção de posição;
- 2) Estudar as interferências inerentes da máquina no processo de usinagem que possam prejudicar na precisão da medição: temperatura ambiente, temperatura da área de trabalho, variação dimensional de posição do eixo da máquina, cavacos, fluídos refrigerantes, etc;
- 3) Realizar testes para detecção de quebras de ferramentas durante o processo de usinagem;

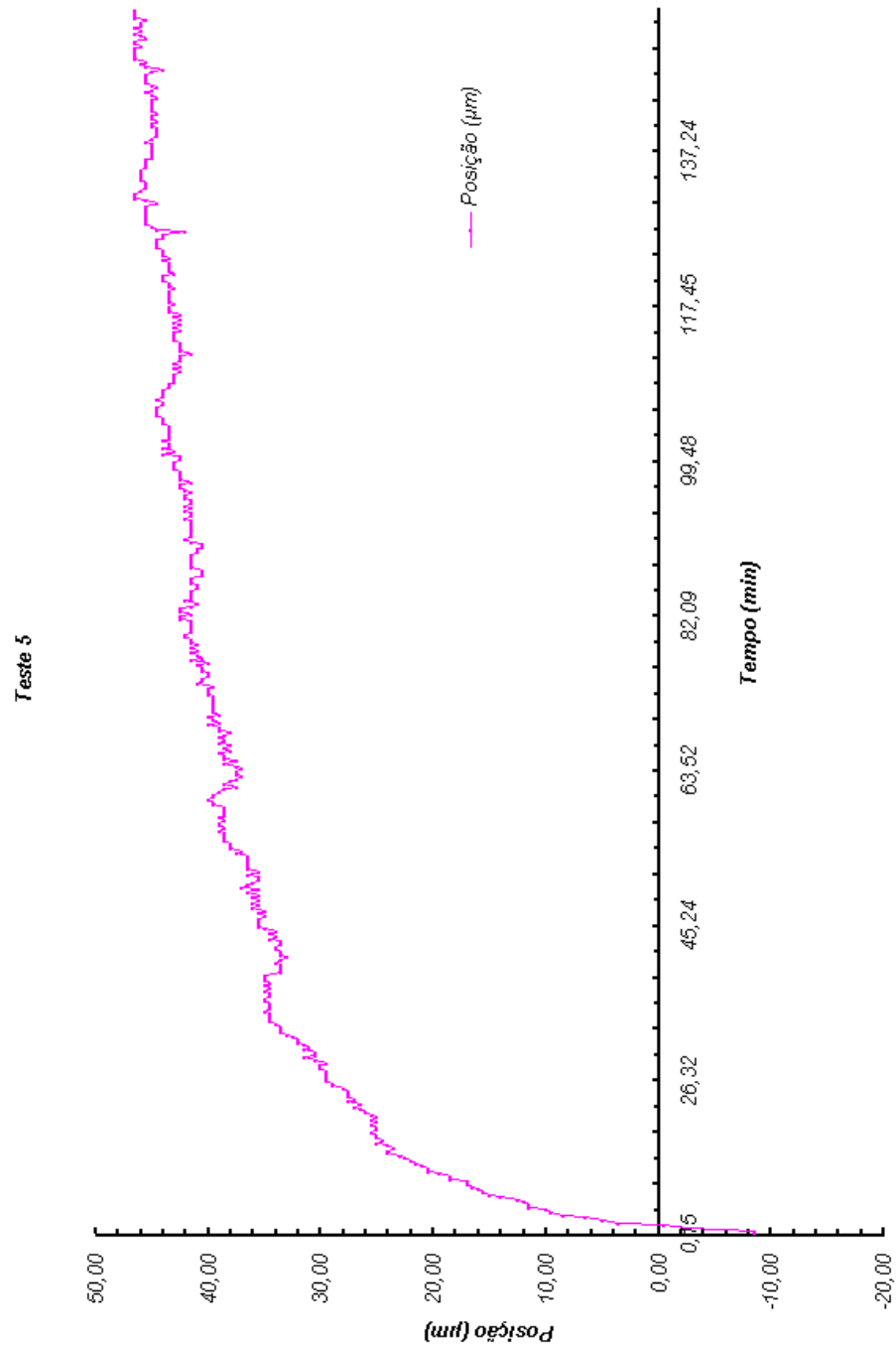
- 4) Pesquisar e realizar ensaios em máquinas-ferramenta de diversas empresas, com o intuito de estabelecer quais são as variações dimensionais de posição que a máquina-ferramenta possui, e quanto é esta variação durante um ciclo de trabalho, além de outras informações;
- 5) Estabelecer a comunicação do sistema de *presetting* com a máquina-ferramenta no que se refere a tipo de protocolos utilizados pelas empresas fabricantes destes equipamentos, para que possa o equipamento ser integrado às máquinas;
- 6) Realizar sub-rotinas de programação junto ao comando da máquina-ferramenta no que se refere a rotinas de detecção de ferramentas, verificação da medição e detecção de quebra da ferramenta.

ANEXOS

A seguir serão apresentados os Anexos do presente trabalho:

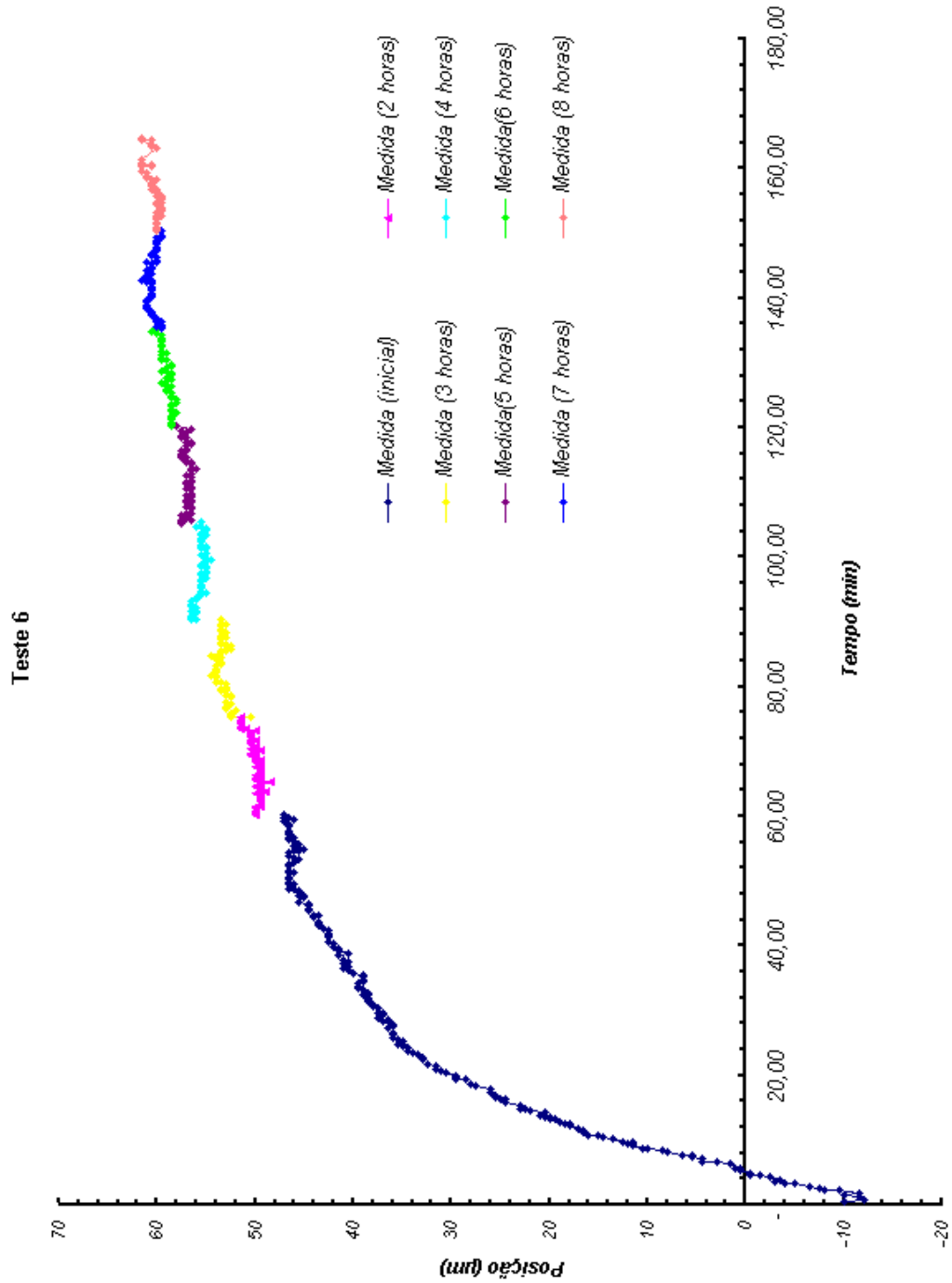
Anexo 1

Teste 1 – Identificação do comportamento do circuito eletrônico do anteprojeto do protótipo, com sistema acionado em 2,5 horas



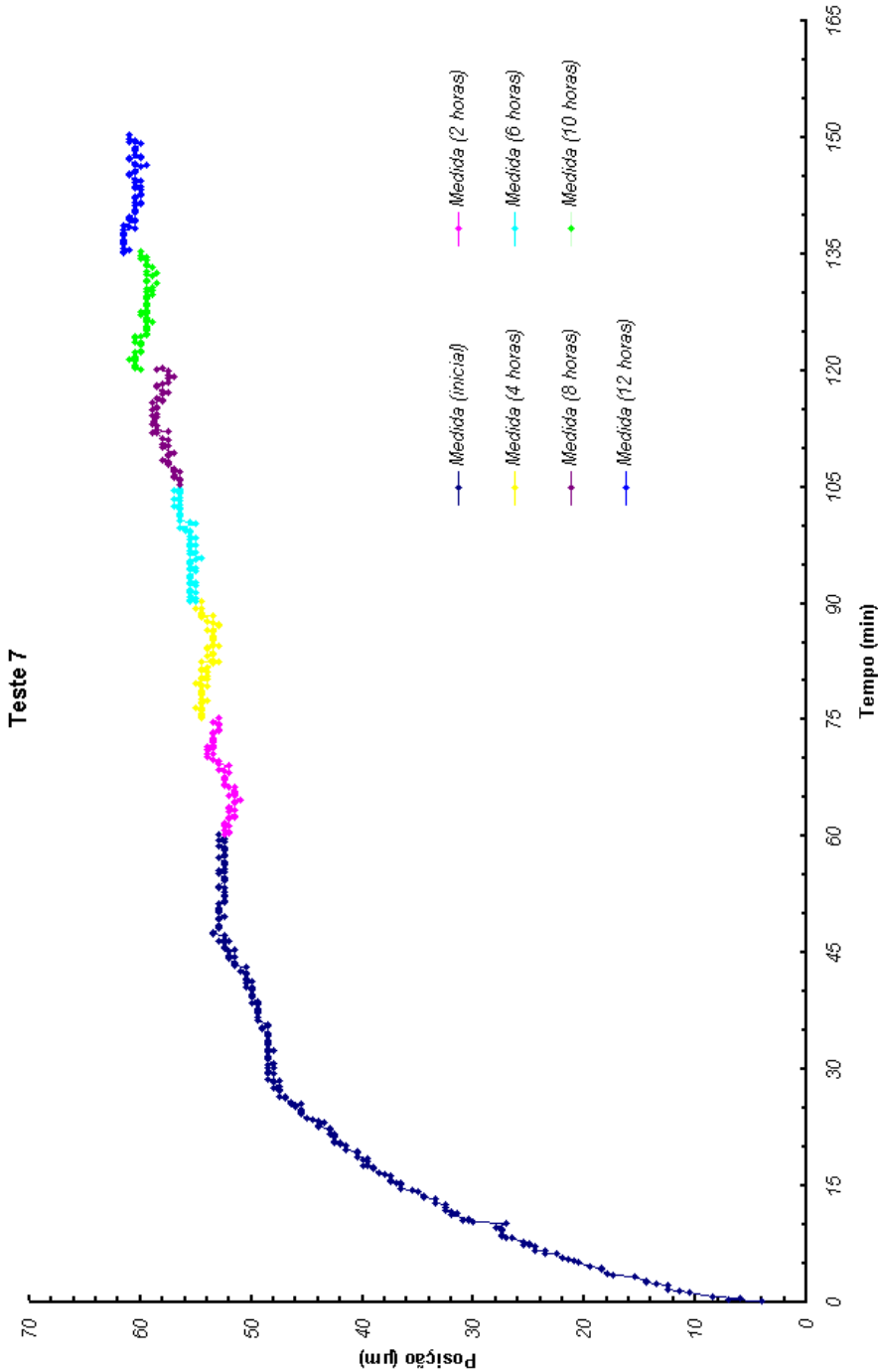
Anexo 2

Teste 2 - Identificação do comportamento do circuito eletrônico do anteprojeto do protótipo, com sistema acionado em 8 horas



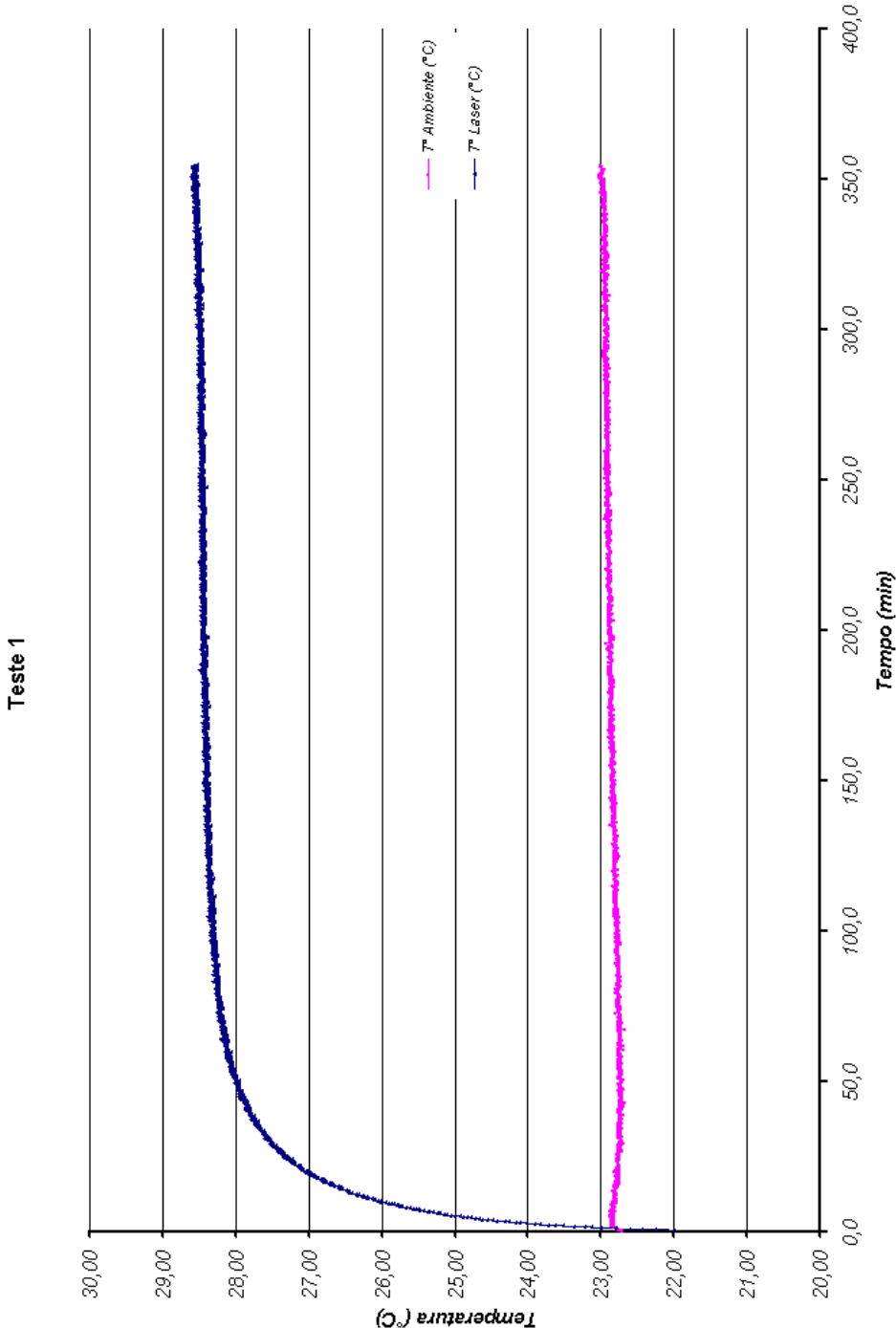
Anexo 3

Teste 3 - Identificação do comportamento do circuito eletrônico do anteprojeto do protótipo, com sistema acionado em 12 horas



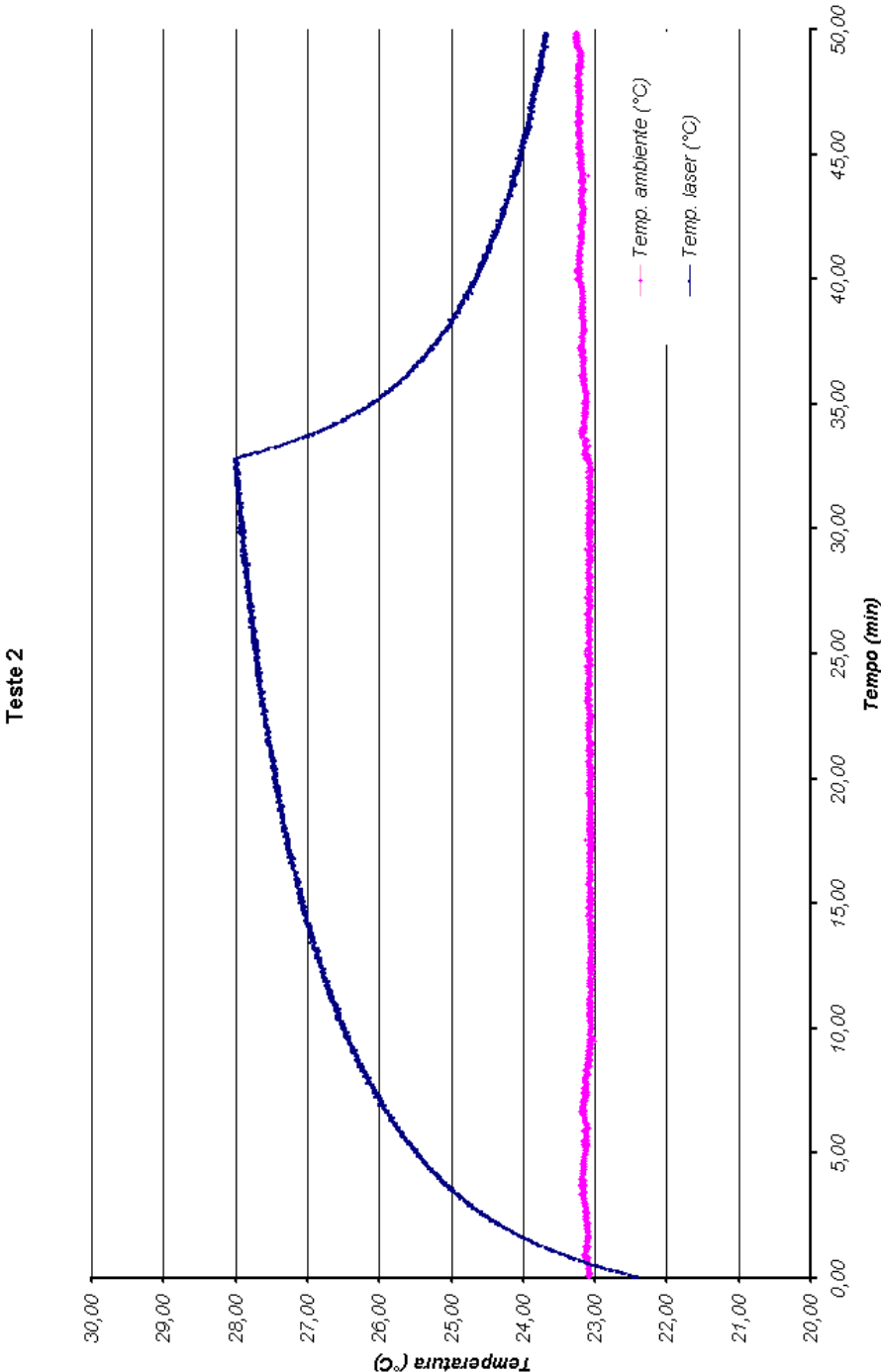
Anexo 4

Teste 1 (variação da temperatura do laser no período de 6 horas)



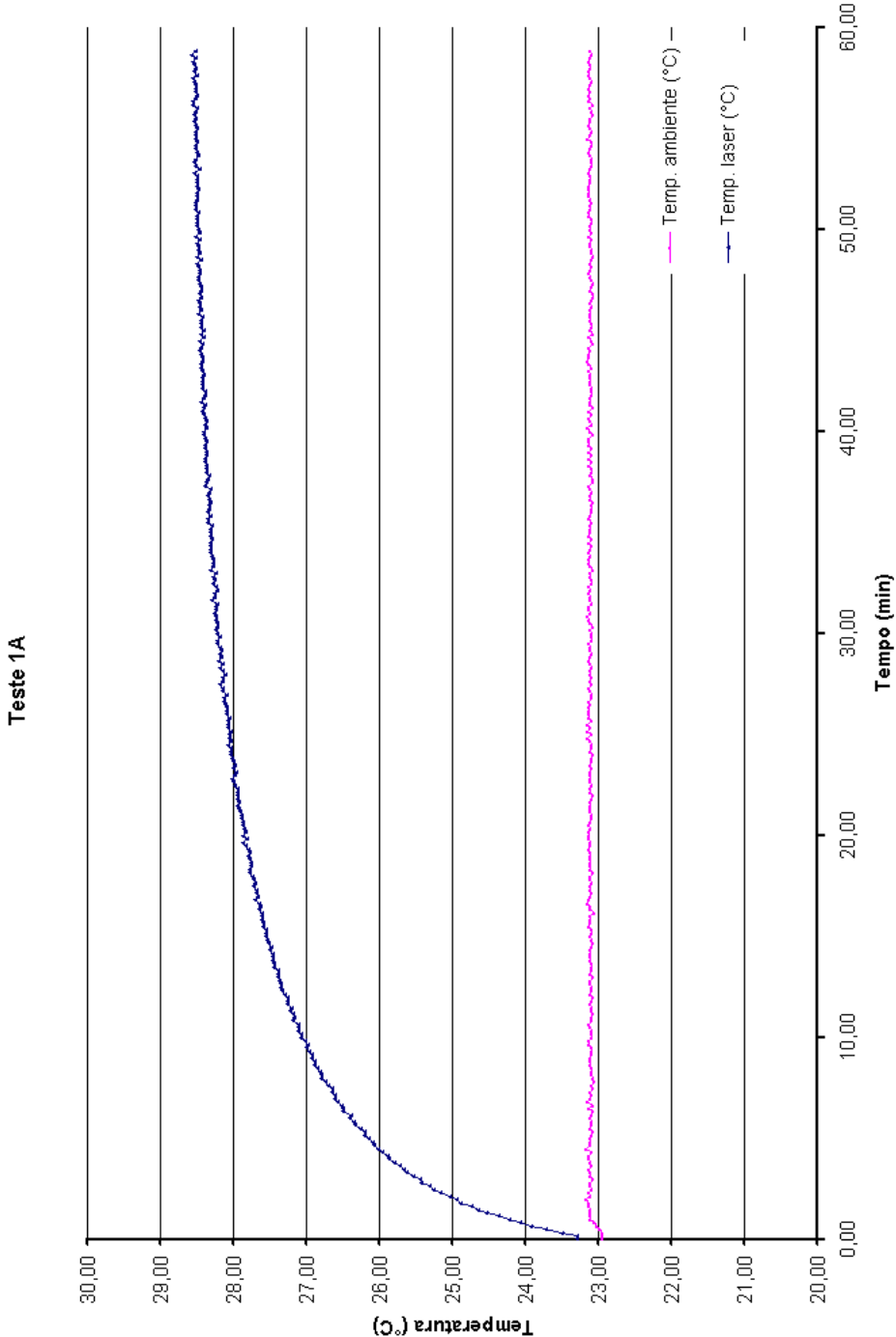
Anexo 5

Teste 2 (estudo do comportamento do aquecimento e resfriamento do feixe laser)



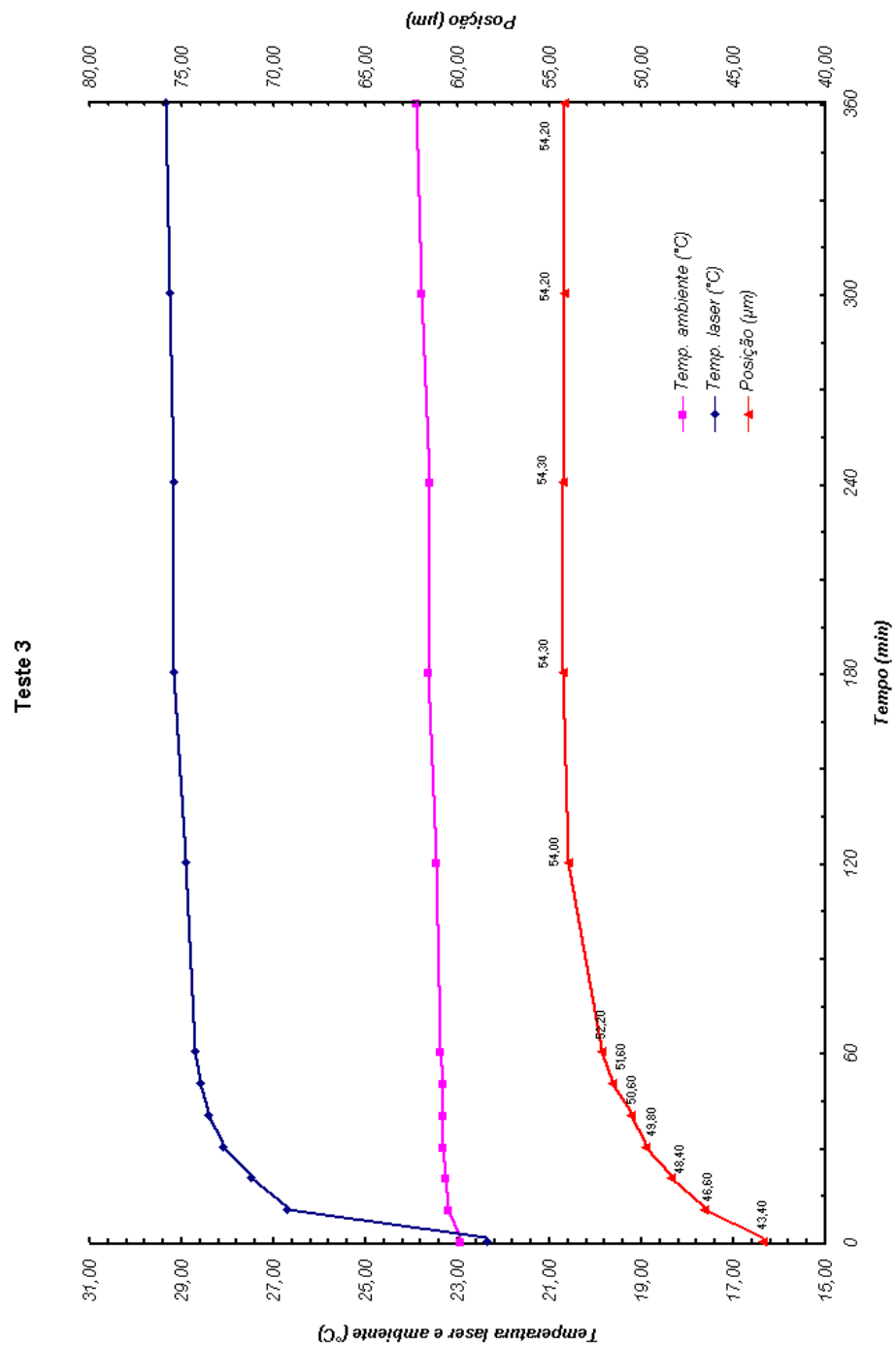
Anexo 6

Teste 1 Adicional (comportamento do aquecimento do sistema laser no período de 1 hora)



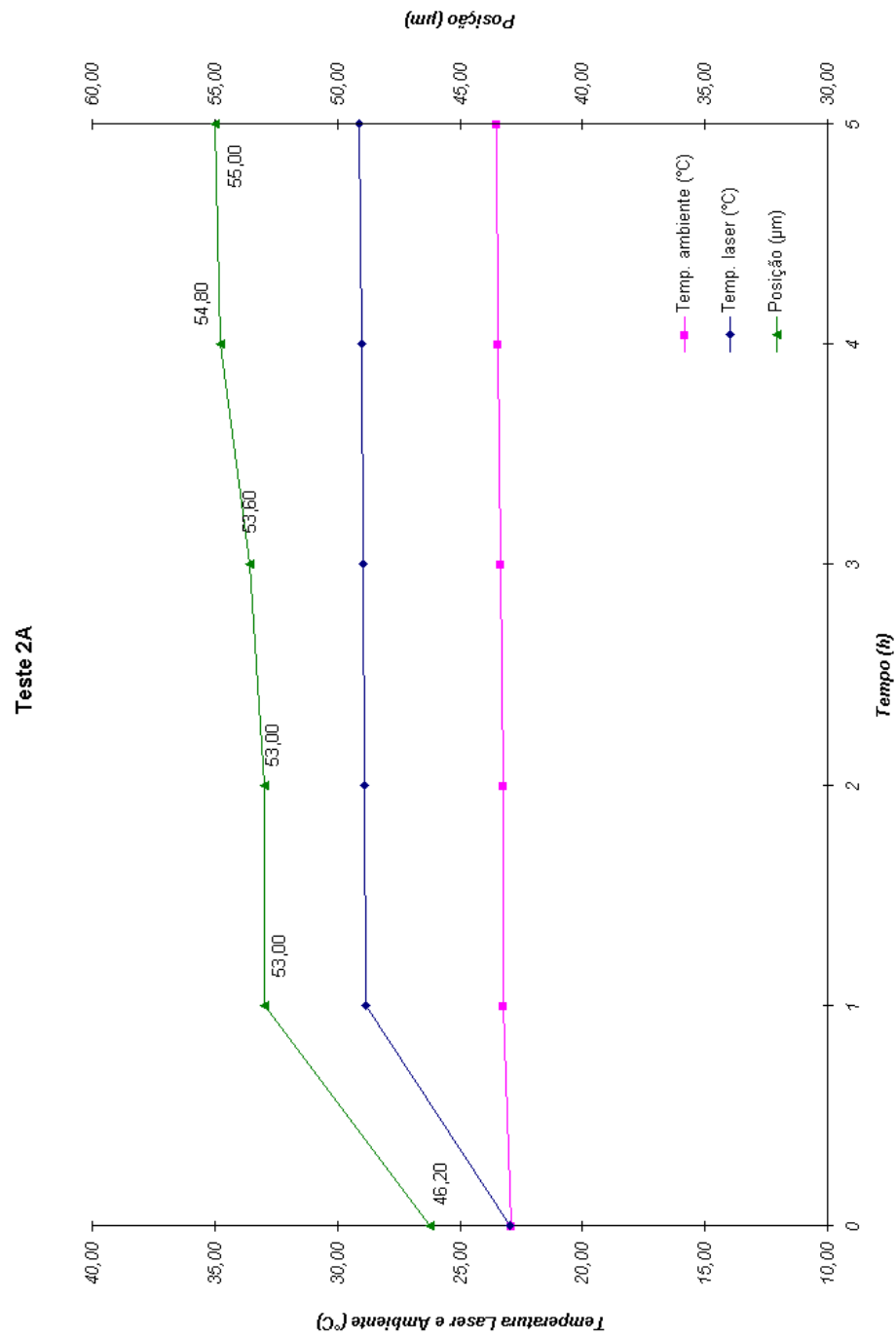
Anexo 7

Teste 3 (comportamento da variação de posição em um período de 6 horas com o sistema laser acionado)



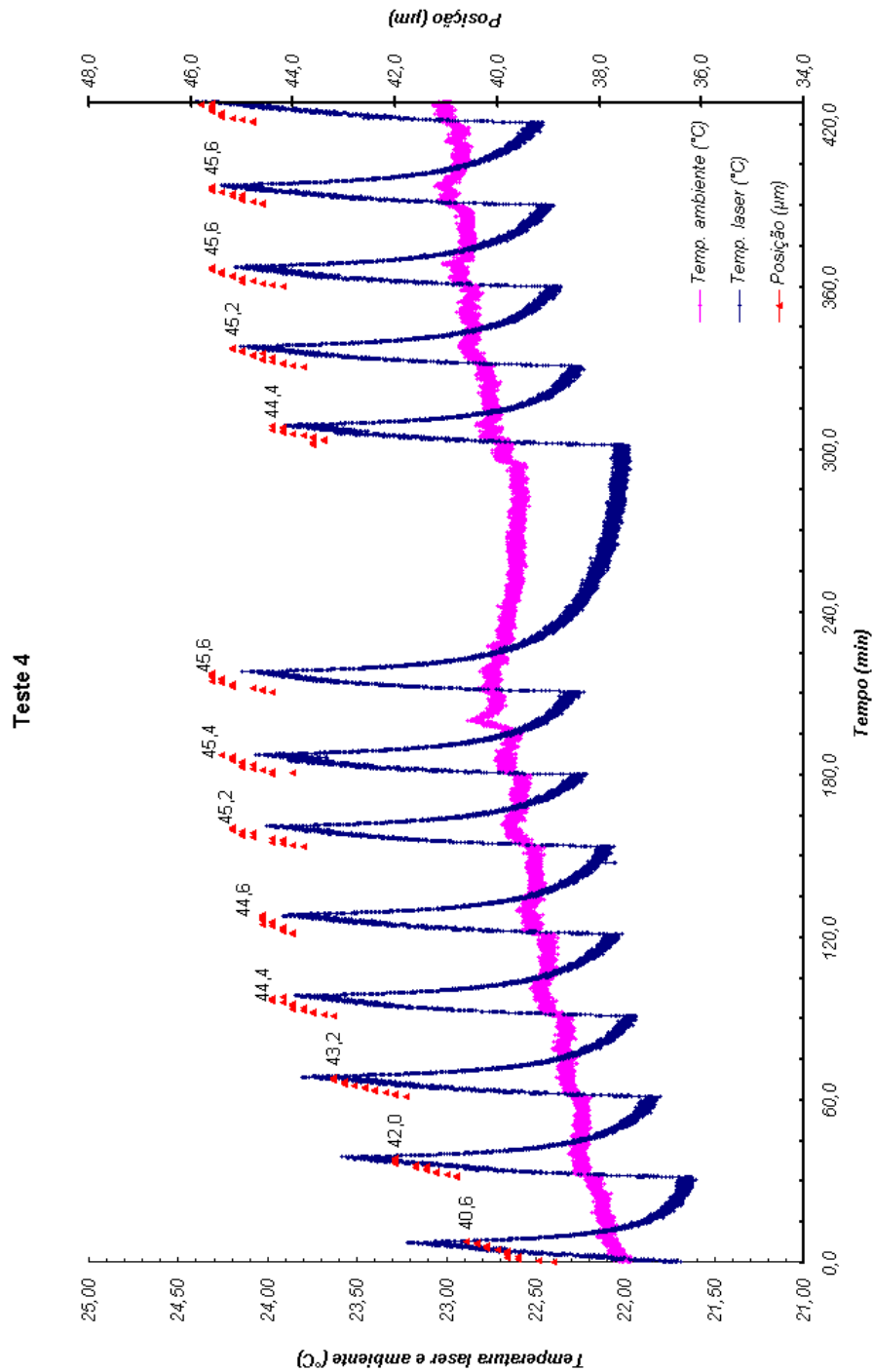
Anexo 8

Teste 2 Adicional (comportamento da variação de posição em um período de 5 horas com o sistema laser acionado)



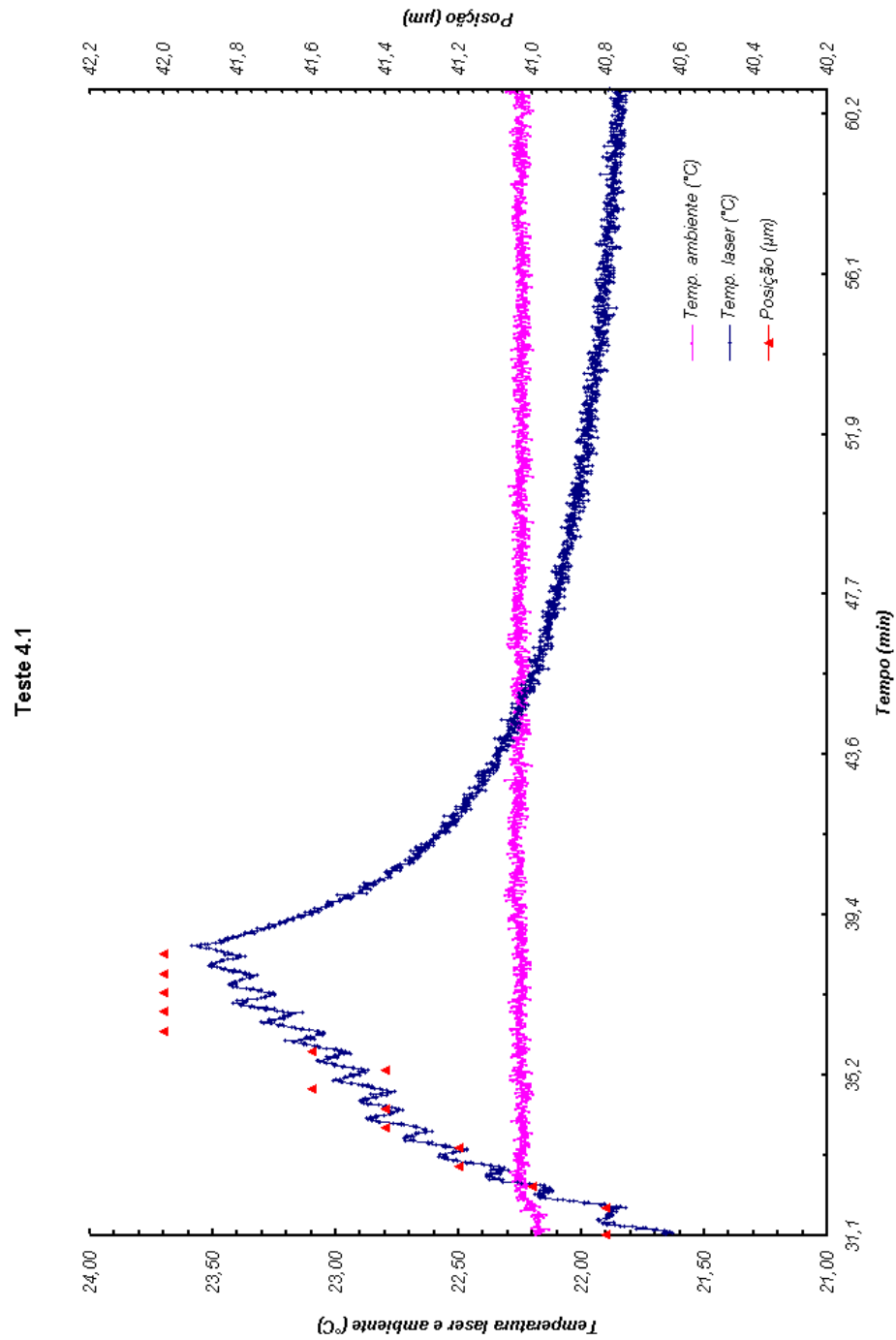
Anexo 9

Teste 4 (comportamento da variação de posição em um período de 7 horas com o sistema laser ligado/desligado)



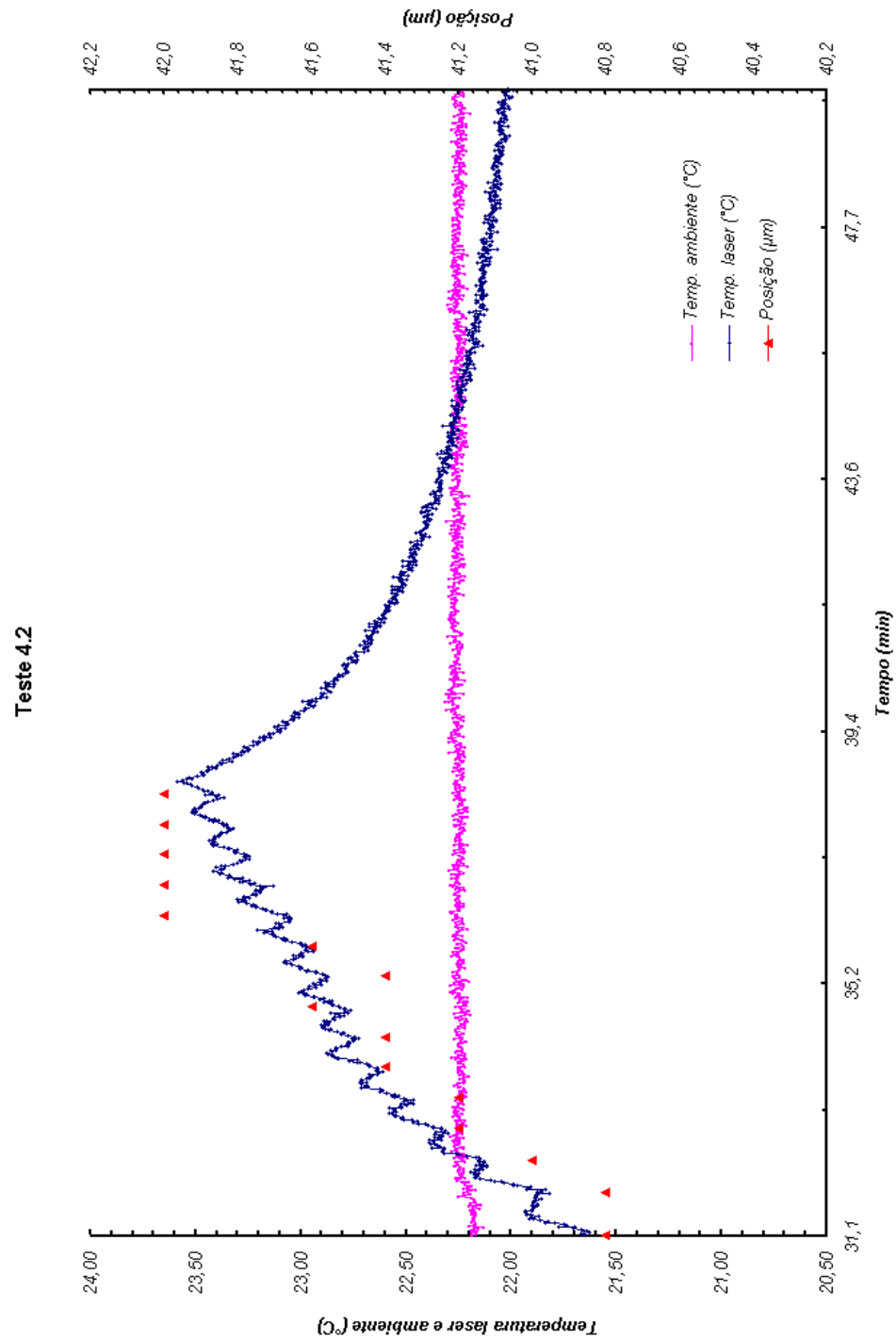
Anexo 10

Teste 4.1 (Detalhe de uma janela de medição referente ao aquecimento e desaquecimento do sistema laser)



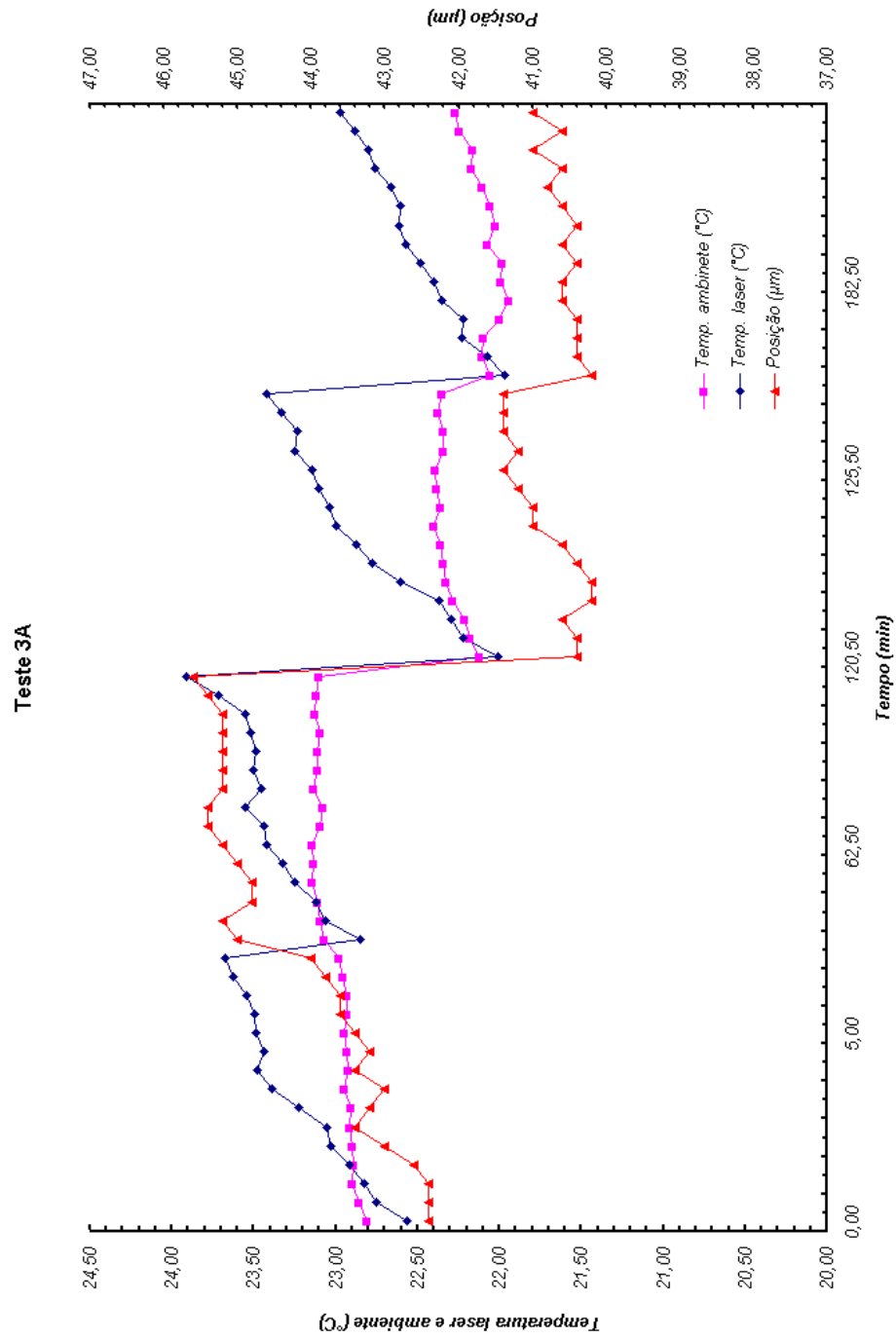
Anexo 11

Teste 4.2 (Detalhe de uma janela de medição referente ao aquecimento e desaquecimento do sistema laser)



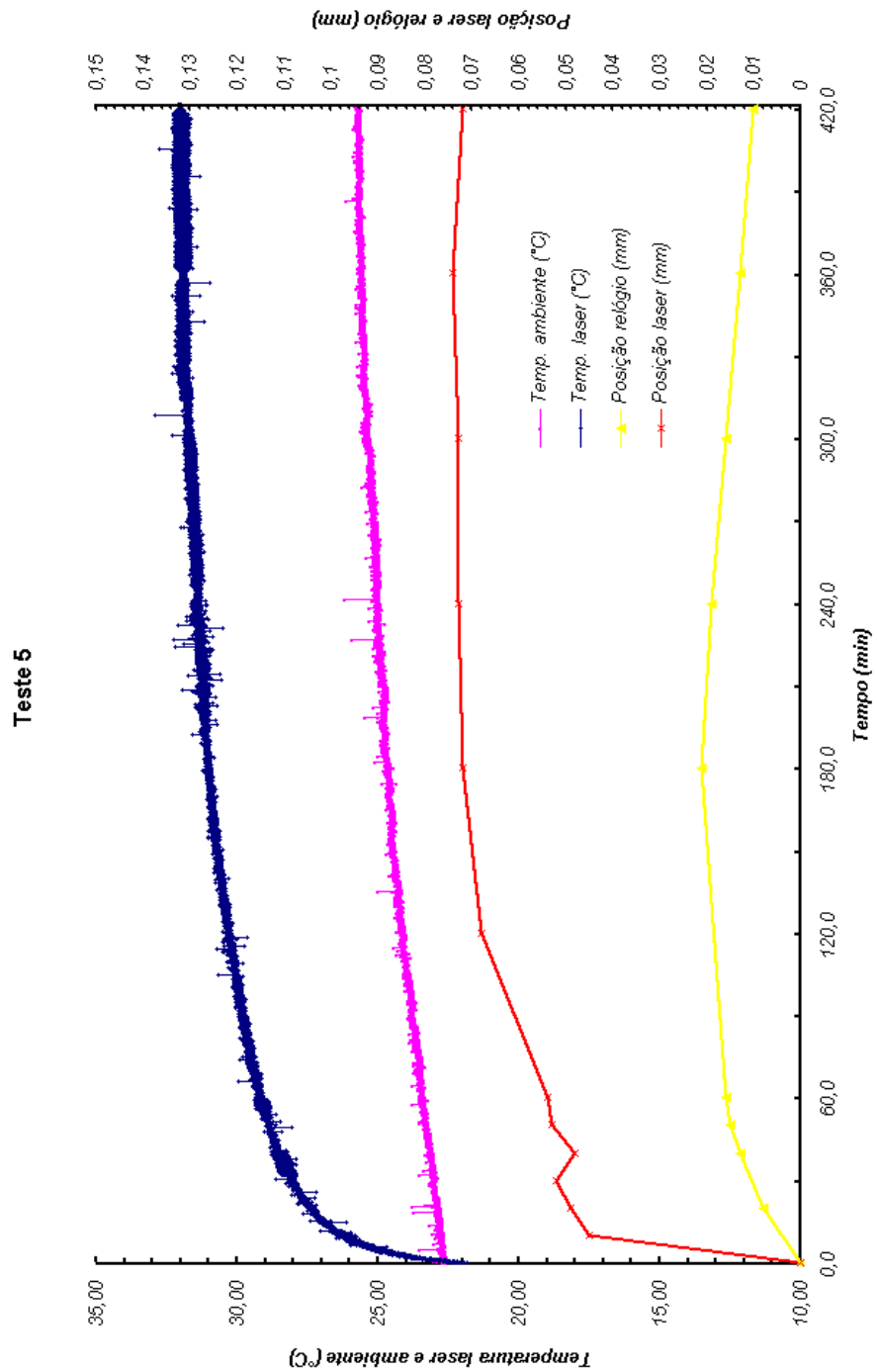
Anexo 12

Teste 3 A (detalhe de uma mudança brusca de temperatura simulada em laboratório)



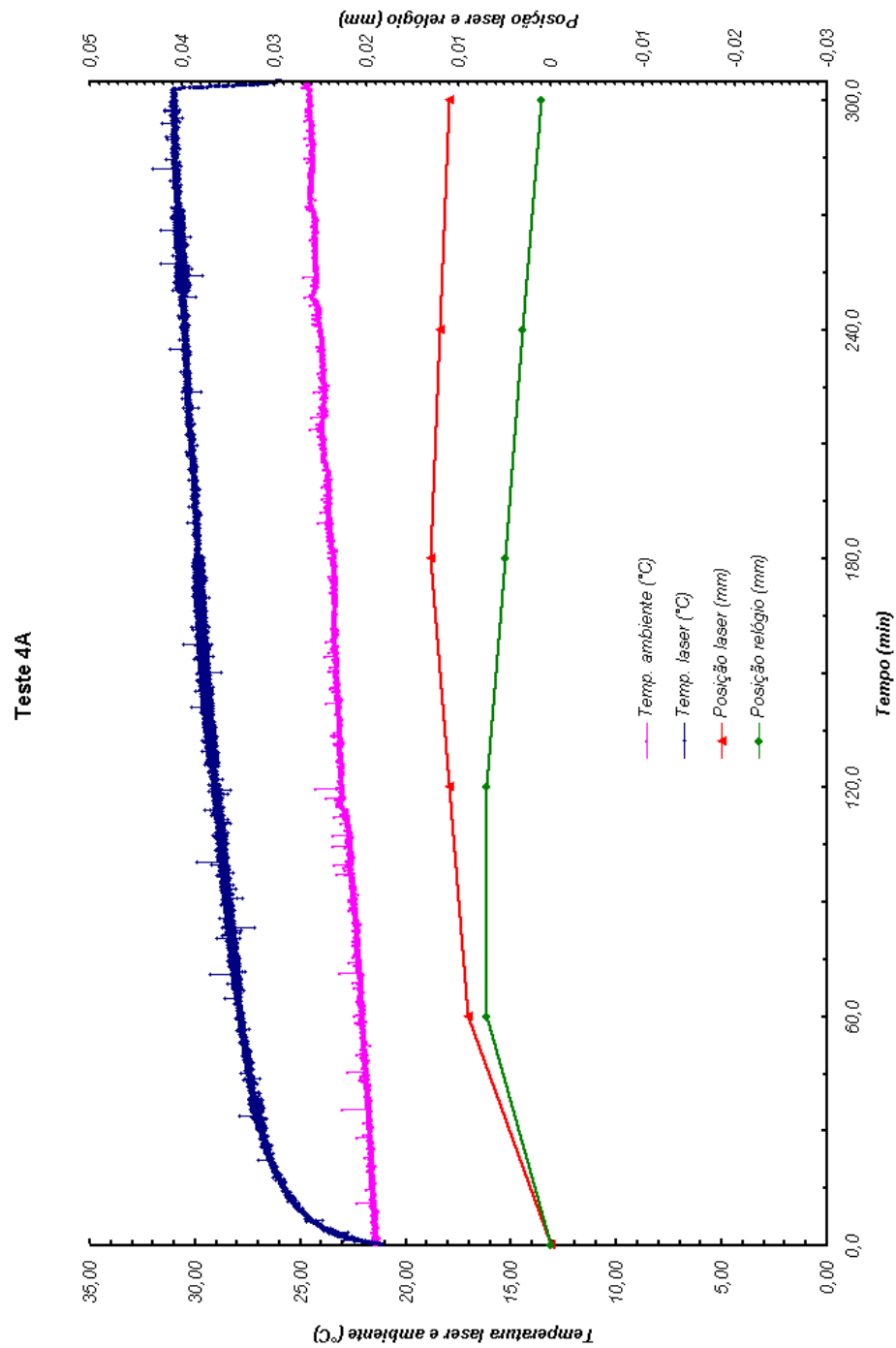
Anexo 13

Teste 5 (comportamento da variação de posição em um período de 7 horas com o sistema laser acionado em uma máquina-ferramenta)



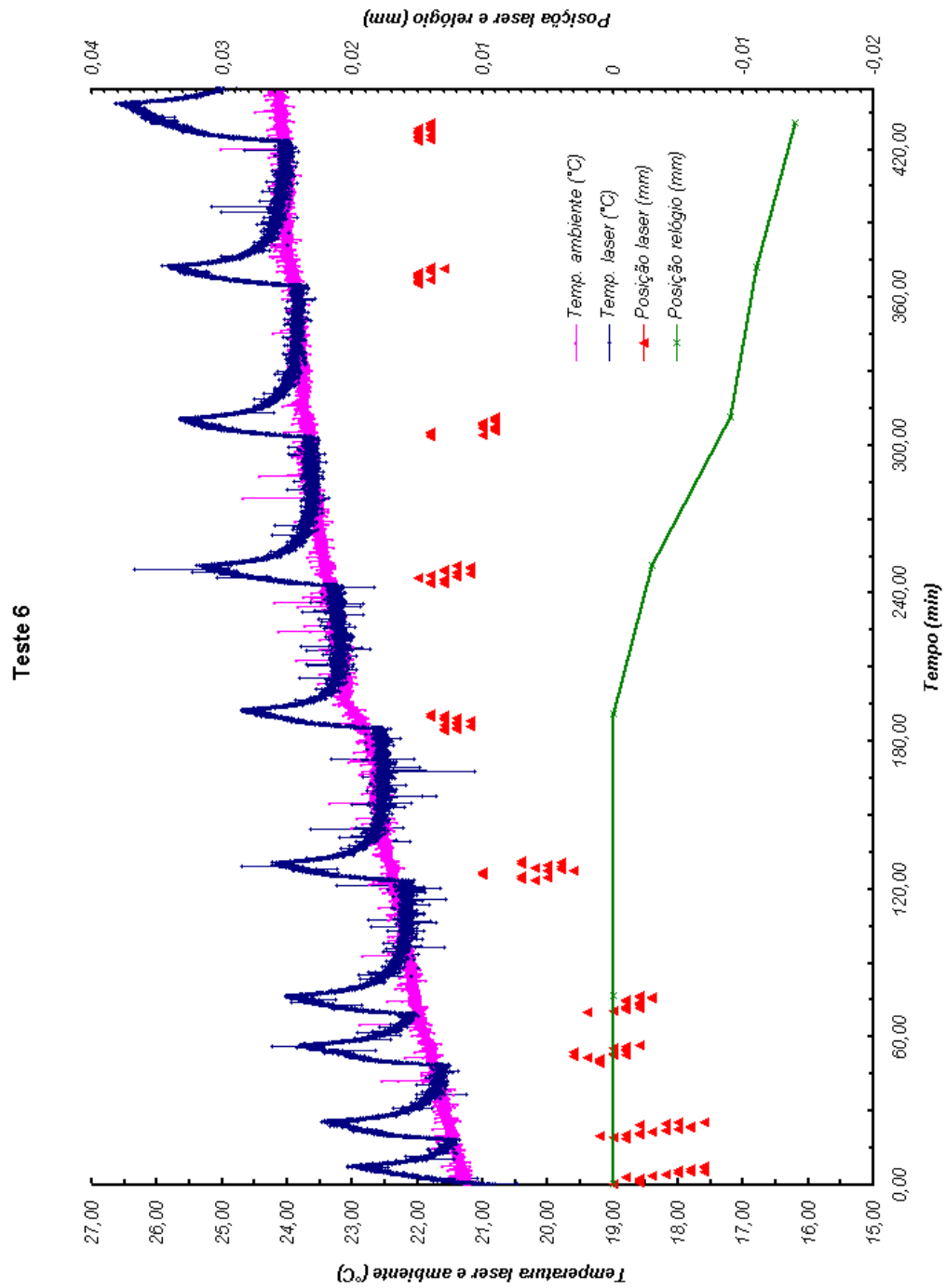
Anexo 14

Teste 4A (comportamento da variação de posição em um período de 5 horas com o sistema laser acionado em uma máquina-ferramenta)



Anexo 15

Teste 6 (comportamento da variação de posição em um período de 7 horas com o sistema laser ligado/desligado em uma máquina-ferramenta)



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BEARD, T. Setting Tools Small Shop Sense. **Modern Machine Shop**, Cincinnati, v.70, n.8, p.78-88, jan., 1998.

BIG KAISER. Disset Tool Meas. Station. Disponível em <<http://www.bigkaiser.com/>>, Acesso em 19 dez. 2005.

BLUM. LaserControl NT – The 3rd Generation Laser System for Tool Setting and Tool Breakage Control. **News from Blum**, Ravensburg, 2003.

BLUM. Laser Control NT. Disponível em:
<<http://www.blumnovotest.com/e/products/lasercontrol.html>>, Acesso em 19 dez. 2005.

BLUM. Znano Probe. Disponível em:
<http://www.blum_novotest.com/e/products/zprobe.html>, Acesso em 19 dez. 2005.

BRAMLET, C.R. Tool presetting ensures quality while saving time. **Modern Machine Shop**, Cincinnati, oct., 2005.

CAUSSIN, G. Five Techniques for Reducing Setup Time: every tool in this place, a place for every tool. **Tooling & Production**, Solon, v.67, p.34-37, dez., 2001.

CHANESKI, W.S. Some simple ideas for setup reduction. **Modern Machine Shop**, Cincinnati, v.75, n.1, p.50-52, jun., 2002

CORRER, I.; MARTINS, R.O.; VIEIRA JR., 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: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12., 2005, Bauru-SP. **Anais... XII SIMPEP**, 2005.

CORRER, I.; VIEIRA JR., M.V.; SIMON, A.T.; MARTINS, R.O.; SANTOS, T.A.F. Estudo do nível de utilização de sistemas de pré-ajustagem de ferramentas de corte em máquinas CNC. In: CONGRESSO USINAGEM, São Paulo, 2006.

COSTA, C.A.; ZEILMANN, R.P.; SCHIO, S.M. Análise de Tempos de Preparação em Máquinas CNC. **O Mundo da Usinagem**, São Paulo, 4.ed., 2004.

DEGARMO, E.P.; BLACK, J.J.; KOSHER, R.A. **Materials and Process in Manufacturing**. 8.ed. UpperSaddel River: Prentice Hall, 1997, 1259p.

FADAL. Tool life management system. Disponível em:
<ds.fadal.com/aboutus/about_us.htm>, Acesso em: 17 dez. 2005.

FULLONE, F. Pre-Cutting prep: Pre-Production Setup. **Manufacturing Engineering**, Dearborn, v.128, n.6, p.55-60, jun., 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Editora Atlas, São Paulo, 1988.

GONÇALVES, J.R. Atualização do parque de máquinas segue lentamente. **Máquinas e Metais**, São Paulo, n.407, p.84-107, dez., 1999.

GOOGLE. Presetter. Disponível em:
<<http://images.google.com.br/images?svnum=10&hl=pt-BR&lr=&q=presetter&btnG=Pesquisar>>, Acesso em 07 de Outubro de 2006.

GOOGLE. Tool-Setting. Disponível em:
<<http://images.google.com.br/images?svnum=10&hl=pt-BR&lr=&q=%22tool-setting%22&btnG=Pesquisar>>, Acesso em 07 de Outubro de 2006

GRUBER, E. Cutting Time. **Modern Machine Shop**, Cincinnati, v.73, n.10, p.102-112, mar., 2001.

HAAS AUTOMATION. CNC lathe options and accessories. Disponível em: <http://www.haascnc.com/options_LATHE.asp#tool>, Acesso em: 25 dez. 2005.

HANSON, K. Ready, Preset, Go – What you need to know before setting tools offline. **Cutting Tool Engineering Magazine**, Northebrook, v.51, n.4, jun., 1999.

HEIDENHAIN. Setup e Measurements – Measuring Tools TT130. Disponível em: <<http://www.heidenhain.de/?/c:489;42,Products+and+Applications:479.html>>, Acesso em 19 dez. 2005.

IDC. Cutter Presetter. Disponível em: <<http://www.idcnb.com/QA-system2.asp>>, Acesso em 19 dez. 2005.

KOEPFER, C. Don't Touch That Tool. **Modern Machine Shop**, Cincinnati, mar., 2000.

LEATHAM, B.J. **Introduction to Computer Numerical Control**. London: Pitman, 1986.

LORINCZ, J. Quality parts begin in the process. **Tooling & Production**, Solon, v.70, n.2, p.38-42, fev., 2004.

LORINEZ, J. To touch or not to touch?. **Tooling & Production**, Solon, v.67, n.6, p.62-66, set., 2001.

LYNCH, M. The Key Concepts of Computer Numerical Control. **Modern Machine Shop**, Cincinnati, v.69, n.11A, p.81-144, abr., 1997.

MARPOSS. Marposs to Introduce Wireless Spindle Probe. Disponível em: <<http://www.ipnews.com/archives/westec/mar05/pics/Marposs-Spindle-Probe.jpg>>, Acesso em: 22 dez. 2005.

MARPOSS. Touch Probes For Tool Check – A90. Disponível em: <http://www.midaprobing.com/A90_en.htm>, Acesso em 19 dez. 2005.

MARPOSS. Non Contact Tool Check System for CNC Machining Centers and Milling Machines. Disponível em: <http://www.midaprobing.com/laser_en.htm>, Acesso em 19 dez. 2005.

McCARTHY, R. Presetters produce profit. **Cutting Tool Engineering Magazine**, Northebrook, v.48, n.5, ago., 1996.

NEUMANN, C.S.R.; RIBEIRO, J.L.D.; SILVA, S.C. A Troca rápida de Ferramentas Aplicada ao Desenvolvimento de Fornecedores. **O Mundo da Usinagem**, São Paulo, v.4, p.7-11, 2002.

PARALLAX. Finding de edge of the part. Disponível em <http://www.parallax.com/html_pages/robotics/machining/drawing_to_metal.asp>, Acesso em: 17 dez. 2005.

PROBEOPS. Creating your own probing and machining macros. Disponível em: <<http://www.probeops.co.uk/Creating%20your%20own%20probing%20and%20machining%20macros.html>>, Acesso em 20 dez. 2005

PWB. ToolMaster TM250. Disponível em: <http://www.pwbswiss.ch/eng/pdf/PDF%20eng/Toolmaster_TM250_e_DP.pdf>, Acesso em 19 dez. 2005.

QPLUS. Presetter Software - PresetCheck. Disponível em: <<http://www.qplus.fi/presetcheck/index.htm>>, Acesso em 19 dez. 2005.

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. Inovative laser tool setting technology provides accuracy, flexibility and robust operation. **News from Renishaw** , United Kingdom, p.1-10, 2003.

RENISHAW. HPMa – Motorized arm that repeatably positions the RP3 probe for tool setting on CNC lathes. Disponível em:

<<http://www.renishaw.com/client/product/UKEnglish/PRD-60.shtml>>, Acesso em 28 dez. 2005.

RENISHAW. NC4 System – New non-contact laser device. Disponível em:
<<http://www.renishaw.com/client/product/UKEnglish/PGP-1137.shtml>>, Acesso em 28 dez. 2005.

ROMI. **Manual de Programação e Operação CNC MACH9 MP**. São Paulo, 1995. 185p.

ROMI. Romi Catálogo - Centur 30D. Disponível em:
<http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/Catalogos/Portugues/centur30d_2.pdf>
, Acesso em 20 dez. 2005.

SANDVIK. Coromant Capto shrink fit adaptors for high speed machining. Disponível em: <<http://www.coromant.sandvik.com/sandvik/0110/Internet/I-Kit1/se02672.nsf>>, Acesso em 28 dez. 2005.

SAUNDERS, M. Keeping in touch with probing. **Manufacturing Engineering**, Dearborn, vol.121, n.4, p.52-58, out., 1998.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 1996. 291p.

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

SHULZ, H. Trends in manufacturing technology at the threshold of the millennium. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ALTA TECNOLOGIA: Inovações tecnológicas na manufatura para o ano 2000, 4, 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: UNIMEP, p.1-17, 1999.

SIMON, A.T. **Condições de utilização da tecnologia CNC: Um estudo para máquinas-ferramenta de usinagem na indústria brasileira**. 2001. 150p. Dissertação (Mestrado em Produção) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JONHSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 1997.

STERIOFF, M. Benefiting from Advanced Probing Technology. **Moldmaking Technology Magazine**, Cincinnati, jan., 2003.

VIEIRA JR. M.; CORRER, I.; CARRARO, C.E.; Otimização do Set-Up de máquinas CNC com o uso de sistemas de monitoramento. In: III CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2004, Belém – PA. **Anais... III CONEM**

VIEIRA JR. M.; CORRER, I. Diminishing setup time of cnc machine tools using monitoring systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION RESEARCH, 18., 2005, Fisciano. **Anais... 18TH ICPR**, 2005.

VIEIRA JR., M.; CORRER, I. Using monitoring systems in machine-tools for reduction of setup time. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 18., 2005, Ouro Preto-MG. **Anais... III COBEM**, 2005.

VIEIRA, JR. M.; CORRER, I. Diminishing setup time of cnc machine tools using monitoring systems. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON PRODUCTION, 10., 2005, Lumbarda. **Anais... 10TH CIM**, 2005.

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-PA. **Anais... III CONEM**, 2004.

WALKER, J. Multiple Sensors: Selecting the right probe for CMM inspection. **Quality in Manufacturing Magazine**, Cincinnati, v.14, n.6, out/nov., 2003.

WEATHERALL, A. **Computer Integrated Manufacturing: a total company competitive strategy**. Oxford: Butterworth Heinemann, 1992.

WICK, C.H. Electronic tool gauging increases NC productivity. **Manufacturing Engineering & Management**, mar., 1995.

ZELINSKI, P. When little things mean a lot. **Modern Machine Shop**, Cincinnati, v.76, n.10, p.92-100, mar., 2004.

ZELINSKI, P. Extreme tool setting: a plant performing 79,000 setups per year measures all these tools with a single presetter. **Modern Machine Shop**, Cincinnati, v.78, n.2, p.76-82, jul., 2005.

ZOOLER, C. From presetting to tool management. **Cutting Tool Engineering Magazine**, Northebrook, v.50, n.3, abr., 1998.