

LUAN HENRIQUE LEMES DE AZEVEDO

DESENVOLVIMENTO DE UMA NOVA SISTEMÁTICA
PARA CENTRAGEM E ALINHAMENTO
DA PLATAFORMA GIRATÓRIA R-9350 NA MANDRILADORA
CNC PAMA SPEEDRAM 3000

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro

Guaratinguetá
2011

A994d Azevedo, Luan Henrique Lemes de
Desenvolvimento de uma nova sistemática para centragem e alinhamento da plataforma giratória R-9350 na mandriladora CNC PAMA SPEEDRAM 3000 / Luan Henrique Lemes de Azevedo – Guaratinguetá : [s.n], 2011.
105 f : il.
Bibliografia: f. 103-105

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.
Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro

1. Usinagem 2. I. Título

CDU 621.9

DESENVOLVIMENTO DE UMA NOVA SISTEMÁTICA PARA CENTRAGEM E
ALINHAMENTO DA PLATAFORMA GIRATÓRIA R-9350 NA MANDRILADORA
CNC PAMA SPEEDRAM 3000

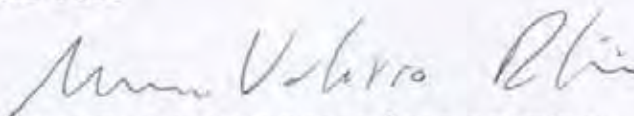
LUAN HENRIQUE LEMES DE AZEVEDO

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

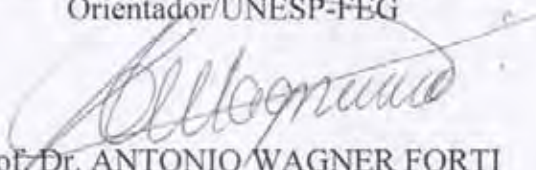
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias
Coordenador

BANCA EXAMINADORA

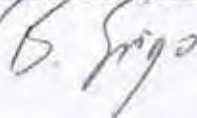


Prof. Dr. MARCOS VALÉRIO RIBEIRO
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI
UNESP-FEG

Eng. BASTIAN GRIGO
LIEBHERR BRASIL GMO Ltda



Novembro de 2011

DADOS CURRICULARES

LUAN HENRIQUE LEMES DE AZEVEDO

NASCIMENTO	26.08.1988 – PINDAMONHANGABA / SP
FILIAÇÃO	Elias Rodrigues de Azevedo Célia Regina Lemes de Azevedo
2004/2006	Curso Técnico Colégio Técnico e Industrial de Guaratinguetá “Prof. Carlos Augusto Patrício Amorim”
2006/2011	Curso de Graduação Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”

Dedicatória

à minha família, em especial aos meus pais
Elias e Célia, por todo apoio e incentivo ao longo
de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter iluminado meu caminho e guiado meus passos, agradeço pela minha vida, pela minha saúde, pela minha capacidade, pela minha família e por meus amigos.

À minha família agradeço por todo apoio, compreensão e incentivo dados tanto para a realização desse trabalho, quanto durante a graduação e em outros momentos de minha vida.

Pela orientação, direcionamento e apoio para a realização desse trabalho, agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Marcos Valério Ribeiro.

Agradeço à Liebherr Brasil, por ter fornecido subsídios para a realização desse trabalho. Em particular, agradeço aos engenheiros Bastian Grigo e Carlos Alberto Ribeiro, pelo incentivo na realização desse estudo e apoio profissional.

Epígrafe

"A grandeza não consiste
em receber honras,
mas em merecê-las."

Aristóteles

AZEVEDO, L. H. L. **Desenvolvimento de uma Nova Sistemática para Centragem e Alinhamento da Plataforma Giratória R-9350 sem a Utilização da Mandriladora CNC PAMA Speedram 3000.** 2011. 105 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

Nas indústrias de usinagem pesada, um ponto crítico que deve ser levado em consideração é o *setup*. Devido às características das máquinas-ferramenta e das peças a serem usinadas, geralmente peças robustas e de grandes dimensões, a preparação dessas peças devem ser feitas de maneira precisa para que a usinagem tenha um bom resultado conforme planejado. Em consequência da dificuldade levantada no *setup* das peças em usinagens pesadas, empresas desse segmento procuram alternativas para reduzir os tempos improdutivos causados pelo *setup* e otimizar os processos de usinagem. Um dos meios que essas empresas encontraram foi criar instruções operacionais que descrevem e padronizam essa operação entre seus colaboradores, bem como implantar um controle dos tempos de usinagem para mensurar esse tempo improdutivo ocasionado pelo *setup*. Este trabalho estudou uma nova sistemática para a realização da centragem e alinhamento da Plataforma Giratória R-9350 na Mandriladora CNC PAMA Speedram 3000, na empresa Liebherr Brasil. A peça Plataforma Giratória R-9350 é uma peça crítica, na qual sua usinagem na Mandriladora PAMA é feita em três fases e seus tempos de *setup* são bastante elevados, e acarretam parada da máquina. Foi testada e proposta uma solução para a realização do *setup* dessa peça sem a utilização da máquina, mas sim do aparelho de medição tridimensional *Laser tracker*, com o qual a máquina continuou a trabalhar, enquanto este realizava a centragem e alinhamento de outra peça. Verificou-se que tecnicamente o aparelho atendeu a necessidade e foi possível a realização dessa operação de maneira mais precisa.

PALAVRAS-CHAVE: Usinagem pesada. Tempos de produção. *Setup*. Padronização de processos. *Laser tracker*.

AZEVEDO, L. H. L. **Development of a New System for Centering and Alignment of Rotating Deck R-9350 Without the Use of Milling Machine PAMA Speedram 3000**. 2011. 105 f. Monograph (Undergraduate Work in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

In heavy machining industries, a critical point that must be taken into account is *setup*. Because the characteristics of machine tools and parts to be machined, usually pieces robust and large, the preparation of these parts must be made accurately for machining has a good result as planned. As a result of the difficulty raised in the *setup* machining of heavy parts, companies in this segment seek alternatives to reduce the unproductive time caused by *setup* and optimize machining processes. One way was found that these companies create operating instructions that describe and standardize the operation between its employees, as well as deploy a control machining times to measure the unproductive time caused by the *setup*. This work studied a new system for the realization of centering and alignment of Rotating Deck R-9350 in CNC Milling Machine PAMA Speedram 3000, in Liebherr Brazil company. The part Rotating Deck R-9350 is a critical part in which its machining in PAMA Milling Machine is made in three phases and their *setup* times are quite high and involve stopping the machine. It has been tested and proposed a solution to the realization of this part of the *setup* without the use of the machine, but of the measuring instrument three-dimensional *Laser tracker*, with which the machine continued to work, while he was in the centering and alignment of other parts. It was noted that the instrument technically attended the need and it was possible to perform this operation more accurately.

KEYWORDS: Heavy machine. Times of production. *Setup*. Standardization of process. *Laser tracker*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de mandriladora universal horizontal.....	18
Figura 2 - Esquema de mandriladora universal vertical.....	19
Figura 3 – Mandrilamento cilíndrico e radial.....	20
Figura 4 - Mandrilamento Cônico.	20
Figura 5 - Mandrilamento de superfícies especiais	21
Figura 6 - Tipos de ferramentas para mandrilamento integrais e com lâminas.....	22
Figura 7 – Tipos de ferramentas para mandrilamento com pastilhas	22
Figura 8 - Exemplo de um setor de Usinagem Pesada.	27
Figura 9 – Atuação da equipe de <i>setup</i> em uma empresa de usinagem pesada.....	34
Figura 10 - Peça montada e preparada após intervenção da equipe de <i>setup</i>	30
Figura 11 - Medição da seção de um navio durante a fabricação	38
Figura 12 - “ <i>Laser tracker</i> ” – Designer Atual	39
Figura 13 - Medições Polares	40
Figura 14 - Medição Manual com o IFM.....	41
Figura 15 - Medição Automática com o ADM.....	42
Figura 16 - Trajetória do Laser	43
Figura 17 - Trajetória do Laser	44
Figura 18 - Trajetória do Laser	44
Figura 19 - Ilustração da calibração de robôs.....	47
Figura 20 – Calibração de robô	47
Figura 21 - Desenho ilustrando a montagem de um dispositivo ilustrando o “Build”..	48
Figura 22 - Aferição de um dispositivo com o <i>Laser tracker</i>	49
Figura 23 - Localização dos pontos de alinhamento da turbina do avião	50
Figura 24 - Foto de um avião durante a montagem final	51

Figura 25 - Medição do perfil da porta.....	52
Figura 26 - Montagem do ferramental.....	53
Figura 27 - Medição do “Skid”	53
Figura 28 - Medição do produto.....	53
Figura 29 - Verificação geométrica de máquinas de usinagem.....	54
Figura 30 - Alinhamento de peça em uma turbina a gás	54
Figura 31 - Mandriladora PAMA Speedram 3000.....	56
Figura 32 - Mandriladora PAMA Speedram 3000 no Top Solid.....	56
Figura 33 - Comparação de uma Retro - escavadeira R-9350 com uma R-944.....	57
Figura 34 - Apresentação da primeira retro - escavadeira R-9350 na Liebherr Brasil..	58
Figura 35 - Plataforma Giratória R-9350	58
Figura 36 - Plataforma Giratória R-9350	59
Figura 37 - Torres: Dispositivo de fixação da Plataforma.....	60
Figura 38 - Formulário para Controle da Produção: Usinagem - PAMA.....	61
Figura 39 - Planilha Eletrônica para Controle dos Tempos de Fabricação	62
Figura 40 - Follow-up de Estabilização de Processos.....	63
Figura 41 - Follow-up de Estabilização de Processos	64
Figura 42 - Exemplo de Cabeçalho de um Programa.....	65
Figura 43 - Exemplo de Processo de Usinagem.....	66
Figura 44 - Exemplo de Processo de Usinagem.....	66
Figura 45 - Lista de Ferramentas	67
Figura 46 - Lista de Ferramentas.....	68
Figura 47 - Peça apoiada em dois trilhos.....	69
Figura 48 - Peça apoiada no terceiro trilho	69
Figura 49 - Alinhamento do altímetro sobre a chapa base (230 mm)	70

Figura 50 - Conferindo as medidas no outro lado da Plataforma.....	70
Figura 51 - Conferindo as medidas no outro lado da Plataforma.....	71
Figura 52 - Verificação da usinagem com o altímetro e a trena.....	71
Figura 53 - Traçagem do local onde será realizada a usinagem.....	72
Figura 54 - Traçagem do local onde será realizada a usinagem.....	72
Figura 55 - Identificação e sinalização da traçagem da Plataforma	73
Figura 56 - Identificação e sinalização da traçagem da Plataforma	73
Figura 57 - Alinhamento do barbante na marcação feita na peça com um punção.....	74
Figura 58 - Barbante sendo colocado no suporte	75
Figura 59 - Verificação dos diâmetros em relação à linha de centro da peça	75
Figura 60 - Verificação dos diâmetros em relação à linha de centro da peça.....	76
Figura 61 - Verificação dos alinhamentos em X e Z	76
Figura 62 - Verificação dos alinhamentos em X e Z	77
Figura 63 - Alinhamento no eixo Y	77
Figura 64 – Alinhamento no eixo Y	78
Figura 65 - Alinhamento no eixo Y	78
Figura 66 - Alinhamento no eixo Y	79
Figura 67 - Ajuste no calço para obter alinhamento	79
Figura 68 - Pontos de referência para o <i>setup</i> da Fase B	80
Figura 69 - Pontos de referência para o <i>setup</i> da Fase B	80
Figura 70 - Centragem e alinhamento Fase B	81
Figura 71 - Centragem e alinhamento Fase B	81
Figura 72 - Centragem e alinhamento Fase B	82
Figura 73 - Pontos fresados para referência na Fase C	82
Figura 74 - Montagem da peça para a Fase C	83

Figura 75 - Montagem da peça para a Fase C	83
Figura 76 - Alinhamento para usinagem da Fase C	84
Figura 77 - Alinhamento para usinagem da Fase C	84
Figura 78 - Alinhamento para usinagem da Fase C	85
Figura 79 - Idéia do projeto	86
Figura 80 - Plataforma Giratória R-944	88
Figura 81 - Aparelho <i>Laser tracker</i> montado em seu tripé	89
Figura 82 - Notebook com o Software <i>Poliworks PWIP</i>	89
Figura 83 - Esfera refletora e ímã para captação do laser	90
Figura 84 - Medição de um ponto no cabeçote da máquina.....	91
Figura 85 - Medição de um ponto no cabeçote da máquina.....	91
Figura 86 - Divisão dos pontos de medição.....	92
Figura 87 - Medição de um dos 4 pontos na coroa da peça	92
Figura 88 - Medição do primeiro ponto	93
Figura 89 - Medição do segundo ponto.....	93
Figura 90 - Medição do terceiro ponto	94
Figura 91 - Medição do quarto ponto	94
Figura 92 - Verificação da medição com o relógio comparador	95
Figura 93 - Verificação do primeiro ponto	96
Figura 94 - Verificação do terceiro ponto.....	96
Figura 95 - Verificação do quarto ponto.....	97
Figura 96 - Máquina trabalhando enquanto o <i>laser tracker</i> realiza o <i>setup</i>	98
Figura 97 - Cálculo de custo-benefício do aparelho <i>laser tracker</i>	100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Justificativas	15
1.2	Objetivos.....	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	17
2.1	Processos de Mandrilamento	17
2.1.1	Mandriladora.....	17
2.1.2	Mandriladoras Universais Horizontal e Vertical	17
2.1.3	Operações de Mandrilamento	19
2.1.4	Ferramentas para Mandrilamento	21
2.2	Usinagem em Grandes Mandriladoras	23
2.2.1	Introdução	23
2.2.2	Característica das Grandes Mandriladoras	23
2.2.2.1	Usinagem de Peso.....	24
2.2.2.2	Ferramentas Robustas.....	24
2.2.2.3	Padrão de Qualidade	25
2.2.2.4	Cuidados Necessários	25
2.2.2.5	Produção Dinâmica.....	26
2.2.2.6	Superando Desafios	26
2.3	Estudo dos Tempos de Usinagem.....	28
2.4	Tempos de <i>Setup</i>	28
2.4.1	<i>Setup</i> em Usinagem Pesada	28
2.5	Redução dos Tempos de Fabricação.....	31
2.5.1	Reposição de Ferramentas	32
2.5.2	Preparação de Máquina	33
2.5.3	Otimização de Processo.....	34
2.6	Redução dos Tempos de <i>Setup</i>	34
2.6.1	Ferramentas Preparadas.....	36
2.6.2	Estratégias para Otimização	36
2.6.3	Eliminando Ajustes.....	37
2.7	<i>Laser tracker</i>	38
2.7.1	Características Técnicas do <i>Laser tracker</i> (Catálogo Leica, 2006).....	44
2.7.2	Aplicações do <i>Laser tracker</i>	46
2.7.2.1	Calibração de Robôs.....	46
2.7.2.2	Fabricação de Dispositivos.....	47
2.7.2.3	Controle Dimensional de Produtos.....	49
2.7.2.4	Aplicações Automotivas do <i>Laser tracker</i>	51
3	MATERIAIS E MÉTODOS	55
3.1	Mandriladora CNC PAMA Speedram 3000.....	55
3.2	Plataforma Giratória R-9350	57
3.3	Controle dos Tempos de Usinagem na Liebherr Brasil.....	60
3.4	Medidas Tomadas para a Redução dos Tempos de Fabricação.....	62

3.5	Procedimento Atual para <i>Setup</i> , Centragem e Alinhamento da Plataforma Giratória R-9350.....	68
3.5.1	Procedimento para Traçagem.....	68
3.5.2	Procedimento para Centragem e Alinhamento da Fase A.....	76
3.5.3	Procedimento para Centragem e Alinhamento da Fase B.....	80
3.5.4	Procedimento para Centragem e Alinhamento da Fase C.....	83
3.6	Étapas de Realização do Projeto.....	85
3.7	Novo Procedimento de <i>Setup</i> com a Utilização do <i>Laser tracker</i>	88
4	RESULTADOS E COMENTÁRIOS	98
4.1	Cálculo de Custo-Benefício e Análise de Viabilidade.....	99
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	102
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	105

1. INTRODUÇÃO

São apresentadas a seguir breves descrições dos capítulos que compõem esse trabalho.

Neste capítulo, tem-se a introdução dos assuntos a serem discutidos, com uma visão geral do trabalho. Neste capítulo são mostrados também os objetivos a serem atingidos, além das suas justificativas.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica do assunto, abordando principalmente os temas mandrilamento em usinagem pesada, tempos de fabricação e medição tridimensional com *laser tracker*. São apresentadas as definições gerais e discutidos alguns pontos característicos.

No capítulo 3 é descrito o procedimento atual para a centragem e alinhamento da Plataforma Giratória na mandriladora CNC Pama Speedram 3000, bem como os tempos necessários para a realização desse *setup*, tempo no caso improdutivo. Está definida também a metodologia utilizada na realização deste trabalho. E é descrito ainda, a proposta do novo procedimento, sem a utilização da máquina para a realização desta operação, sendo esta feita com o *laser tracker*.

No capítulo 4 estão definidos os resultados, bem como os ganhos com a utilização do *laser tracker*, assim como é mostrado o cálculo de custo-benefício e o retorno financeiro com a aquisição deste aparelho.

No capítulo 5 são feitas as considerações finais desse trabalho, apresentando as conclusões mais importantes e possibilidades de trabalhos futuros.

1.1 Justificativas

Com o crescimento do mercado de mineração, aumentou muito a competitividade entre os produtores de grandes máquinas para este setor, sendo assim, para se garantir nesse mercado competitivo, os produtores tem de otimizar seu processo, reduzindo ao máximo suas perdas e desperdícios. É necessário um estudo

aprofundado nos processos produtivos, para que estes demandem o menor tempo improdutivo e suas máquinas e operadores tenham a maior produtividade e utilização.

A Liebherr Brasil, como uma das grandes produtoras de máquinas pesadas e líder do segmento de mineração, tendo ciência disso, permanece em constante desenvolvimento de melhorias de processo. E sabendo que hoje, a usinagem é o gargalo de sua produção, busca desenvolver sistemáticas de redução dos tempos de *setup* de suas peças.

No processo atual de *setup* da Plataforma Giratória R-9350, a mandriladora CNC Pama Speedram 3000 é utilizada no processo de centragem e alinhamento desta, o que acarreta perda de tempo produtivo, devido a esta operação demandar um tempo elevado.

Com o desenvolvimento de uma nova sistemática para a realização deste *setup* sem a utilização da máquina, esta seria liberada para usinar uma outra peça ao mesmo tempo em que a Plataforma Giratória R-9350 é centrada e alinhada na mesa fixa.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é melhorar os processos de *setup* e usinagem, apresentando uma nova sistemática para a realização do *setup* de peças, sem a utilização da própria mandriladora.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são realizar a centragem das peças com maior precisão, otimizar o tempo de *setup* da Plataforma Giratória R-9350 na mandriladora CNC Pama Speedram 3000, aumentar a disponibilidade da máquina e reduzir os custos na fabricação das peças.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 Processos de Mandrilamento

2.1.1 Mandriladora

A mandriladora é uma máquina destinada a usinar furos de grandes diâmetros em peças pesadas, a fim de deixá-los com a medida desejada. Com o mandrilamento se obtém superfícies cilíndricas ou cônicas internas com eixos e geratrizes perfeitamente paralelos entre si e com afastamentos precisos dentro da tolerância. As mandriladoras surgiram para atender a exigência de alargar furos até determinadas medidas, com estritas tolerâncias. Pelas contínuas exigências e possibilidades de desenvolver usinagens diferentes com a mesma máquina, transformou-se funcional e estruturalmente a mandriladora de modo a torná-la universal. (RIBEIRO, 2008).

2.1.2 Mandriladoras Universais Horizontal e Vertical

As usinagens, seriadas ou não, com operações sucessivas, para a conformação de peças com tolerâncias mínimas de distâncias, dimensões, paralelismo e perpendicularidade entre eixos, faces, furos, rasgos, etc., devem ser executadas de modo a evitar a remoção das peças em usinagem de uma máquina para outra, pois isto aumenta a probabilidade de erros. A mandriladora universal possui a capacidade de processar todas as operações de usinagem necessárias do começo ao fim, sem que haja necessidade de remover a peça da máquina.

Consta de uma bancada com guias horizontais sobre as quais move-se uma mesa porta-peças que tem deslocamentos transversais e muitas vezes gira sobre um eixo vertical. Ao menos o movimento longitudinal do carro é automático.

A mandriladora horizontal conforme a Figura 01, possui em cada uma das extremidades da bancada um montante vertical, sobre o qual corre um cabeçote que

pode ser fixado em alturas variáveis. O eixo principal de tal cabeçote tem um cone, no qual pode-se fixar um eixo porta-ferramenta.

Na extremidade contrária do cabeçote, há outro montante, que se fixa às guias da bancada com um coxinete de bronze, que também pode ser fixado em altura variável. Entre o cabeçote e este coxinete está fixado o eixo porta-ferramenta. Algumas mandriladoras têm dispositivo para fazer avançar ou retroceder longitudinalmente o eixo principal, em alguns casos também um dispositivo que possibilite o giro da mesa.



Figura 01 - Esquema de mandriladora universal horizontal (RIBEIRO, 2008).

Já a mandriladora vertical (Figura 02), possui normalmente dois montantes e uma travessa na qual é montado o cabeçote com o eixo porta-ferramenta, que se desloca tanto transversalmente como verticalmente para realizar as operações de usinagem, o movimento longitudinal fica por conta da mesa porta-peça.



Figura 02 - Esquema de mandriladora universal vertical (RIBEIRO, 2008).

2.1.3 Operações de Mandrilamento

Mandrilamento é o processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou várias ferramentas de barra. Para tanto, a ferramenta gira e a peça ou a ferramenta se deslocam simultaneamente segundo uma trajetória determinada. Com as mandriladoras atuais, usando-se ferramentas apropriadas, podem-se executar os faceamentos, as fresagens, os rosqueamentos, etc.

- *Mandrilamento cilíndrico*: processo de mandrilamento no qual a superfície usinada é cilíndrica de revolução, cujo eixo coincide com o eixo em torno do qual gira a ferramenta (alargamento, rebaixamento, etc.) Figura 03.

- *Mandrilamento cônico*: processo de mandrilamento no qual a superfície usinada é cônica de revolução, cujo eixo coincide com o eixo em torno do qual gira a ferramenta. Figura 04.

- *Mandrilamento radial*: processo de mandrilamento no qual a superfície usinada é plana e perpendicular ao eixo em torno do qual gira a ferramenta.

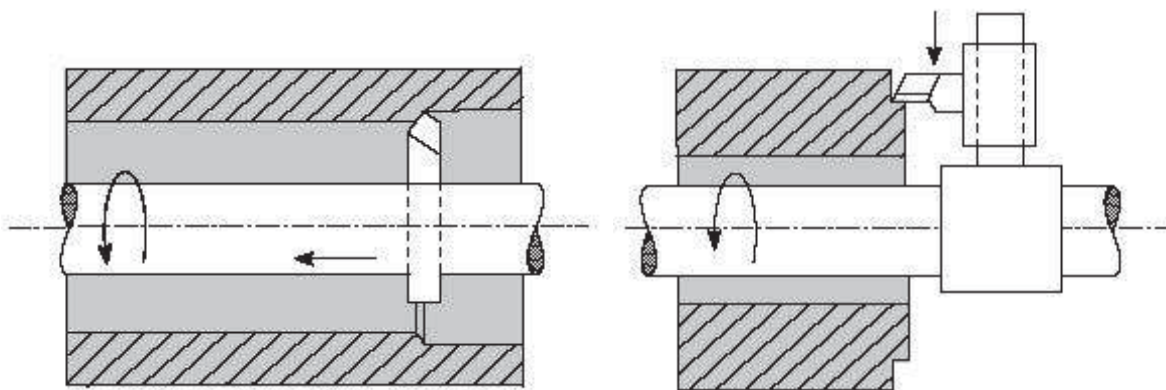


Figura 03 – Mandrilamento cilíndrico e radial (RIBEIRO, 2008).

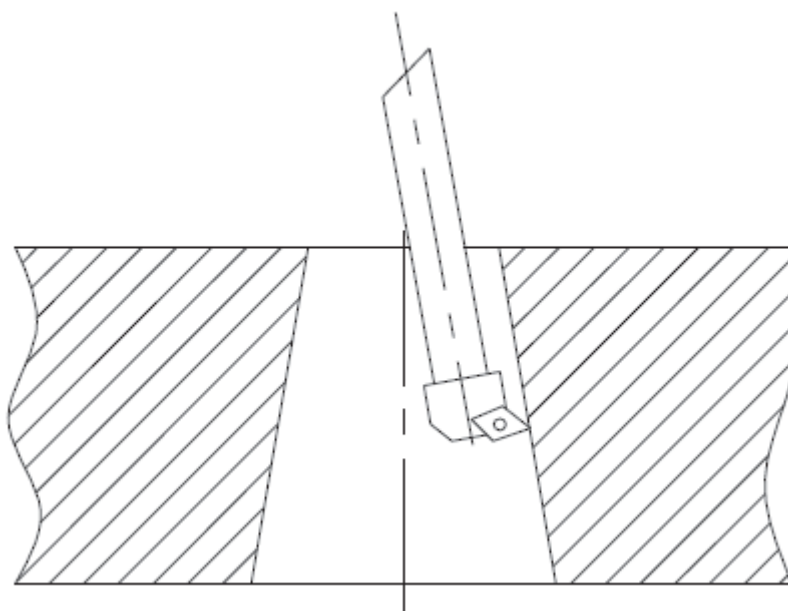


Figura 04 – Mandrilamento Cônico (RIBEIRO, 2008)

• *Mandrilamento de superfícies especiais*: processo de mandrilamento no qual a superfície usinada é uma superfície de revolução diferente das anteriores, cujo eixo coincide com o eixo em torno do qual gira a ferramenta (esférico, sangramento, etc.).

Figura 05.

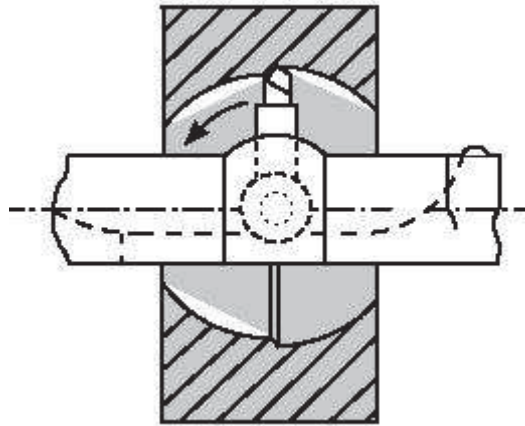


Figura 05 – Mandrilamento de superfícies especiais (RIBEIRO, 2008).

2.1.4 Ferramentas para Mandrilamento

As ferramentas de uso mais comum empregadas nas mandriladoras podem se classificar como segue (Figuras 06 e 07):

- *Hastes cilíndricas de corte simples*: usadas para desbaste.
- *Lâminas de corte duplo*: usadas para alisar paredes internas de um furo.
- *Brocas de correção helicoidais*: usadas para aumentar furos brutos de fundição apenas desbastados, (até diâmetros de 100 mm). Com *guia integral* e com *guia adicional*.
- *Alargadores integrais*: usados para calibrar os furos.
- *Alargadores cônicos e vazadores*: usados para alargar superfícies internas ou cilíndricas escalonadas. Os *alargadores* podem ser de *desbaste* ou de *acabamento*. Os *vazadores* são usados para vazar furos previamente executados por broca comum em operação separada.

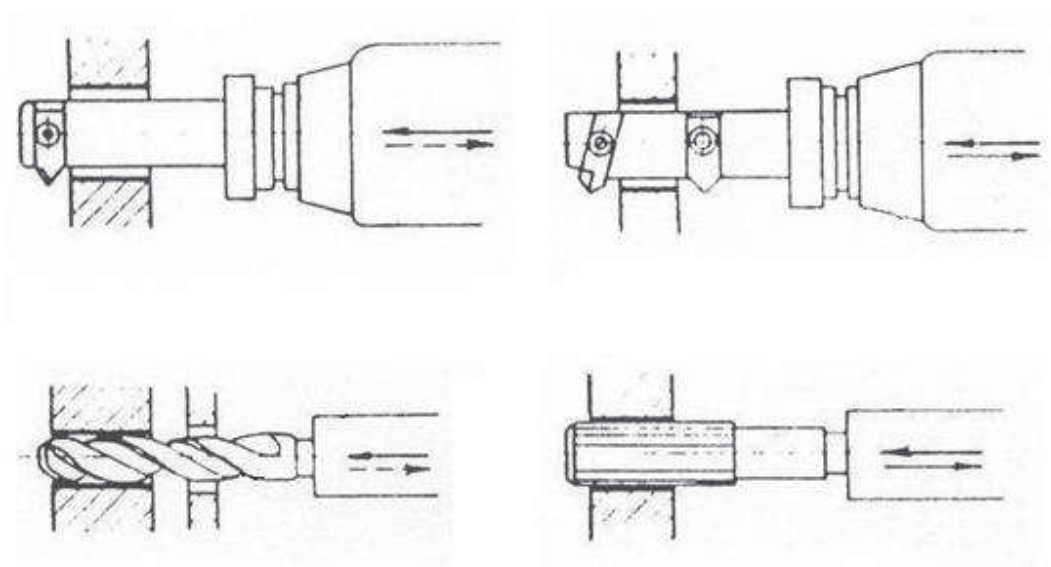


Figura 06 - Tipos de ferramentas para mandrilamento integrais e com lâminas (RIBEIRO, 2008).

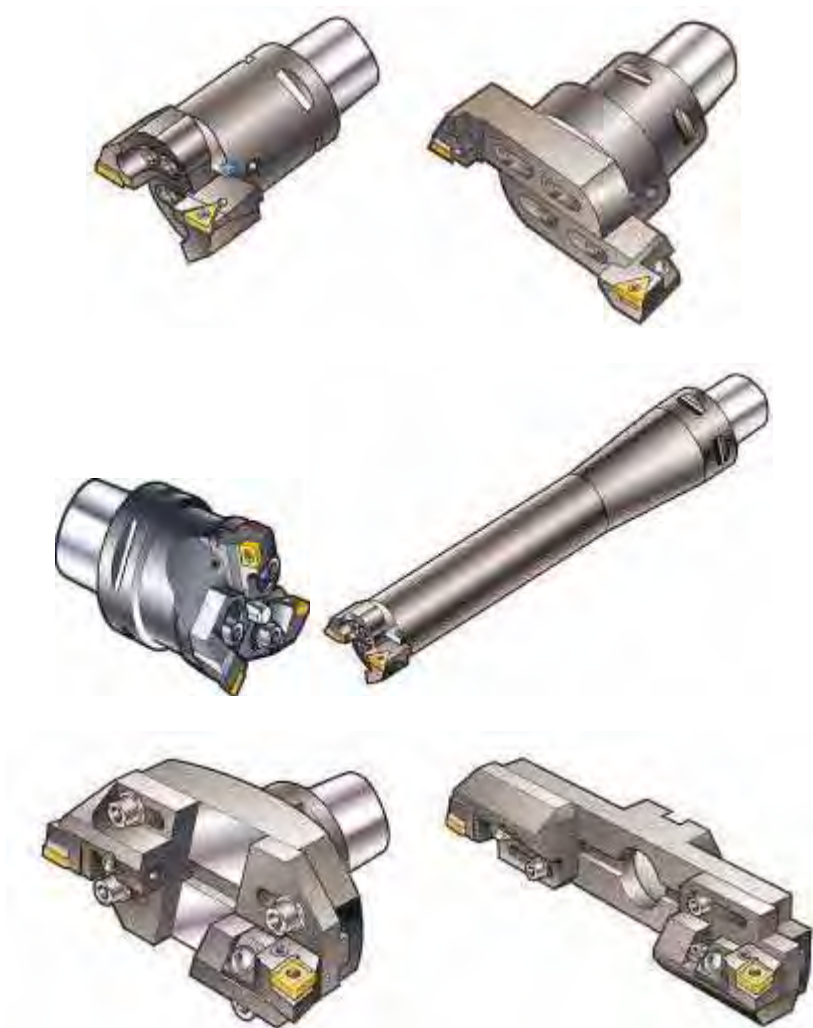


Figura 07 - Tipos de ferramentas para mandrilamento com pastilhas (RIBEIRO, 2008).

2.2 Usinagem em Grandes Mandriladoras

2.2.1 Introdução

Com o aquecimento da economia, o conseqüente crescimento das atividades industriais e o aumento da demanda por energia, surge uma nova tendência no setor metal mecânico. Equipamentos destinados à fabricação de peças de grande porte, comuns na produção dos setores naval, siderúrgico, de energia, de petróleo e de mineração, passam a ser mais requisitados pelo mercado.

Em produções que usinam peças de grandes dimensões, um dos processos comumente utilizados são as operações de mandrilamento, geralmente realizadas com o auxílio de equipamentos pesados. Algumas das peças produzidas com este tipo de operação são partes de turbinas eólicas e hidrelétricas, estruturas de máquinas para mineração e componentes para o setor de óleo e gás, entre outros produtos.

Destinado principalmente à obtenção de superfícies internas de revolução – geradas pelo movimento de uma linha qualquer em torno de um eixo – o mandrilamento, de maneira geral, é feito com o auxílio de uma ou mais ferramentas de corte que são fixadas a uma barra de mandrilar. Esta operação pode ser cilíndrica, cônica, radial ou esférica.

Independentemente das dimensões da peça e da máquina, as mandriladoras permitem a adaptação de diferentes tipos de ferramentas.

Com o acoplamento de acessórios específicos, estes equipamentos também podem ser utilizados para operações de furação, fresamento e rosqueamento, tornando-se assim máquinas universais.

2.2.2 Característica das Grandes Mandriladoras

Entre as particularidades das grandes mandriladoras estão as colunas maiores e mais reforçadas e as réguas lineares de grandes dimensões.

Devido às suas proporções, estes equipamentos demandam mais tempo para serem montados, pois as peças devem ser trazidas separadamente pelo fabricante para serem montadas na própria fábrica. Além destes detalhes de montagem, há a necessidade de se fazer uma fundação sólida e profunda na planta, de forma a assegurar a boa sustentação deste equipamento. Também os barramentos são diferentes nas grandes mandriladoras, pois eles chegam à fábrica divididos em partes e, depois da montagem, ainda devem ser alinhados.

2.2.2.1 Usinagem de Peso

Os produtos usinados nessas mandriladoras chegam a medir oito metros de comprimento por cinco metros de largura e três ou quatro metros de profundidade, o que torna impossível a usinagem destas peças em máquinas de pequeno ou médio porte.

Outro fator que deve ser considerado na produção de peças de grande porte é a movimentação interna dos produtos, ou seja, a utilização de uma ponte rolante com alta capacidade no chão de fábrica para movimentar essas cargas pesadas.

2.2.2.2 Ferramentas Robustas

Operando com profundidade de corte entre 5 e 7 mm e a uma velocidade de 150 metros/min, estas máquinas ferramentas também possibilitam a remoção de cavacos em grande escala e permitem atingir profundidades de corte maiores do que as das máquinas convencionais. Estas características podem contribuir para dinamizar a produção da empresa.

Outras soluções utilizadas nos processos produtivos são as brocas, machos e ferramentas compostas de HSS (aço rápido).

2.2.2.3 Padrão de Qualidade

Quanto ao nível de precisão destas máquinas, ao contrário do que comumente se pode pensar, as mandriladoras não exigem necessariamente tolerâncias dimensionais maiores – na verdade elas trabalham com tolerâncias proporcionais ao tamanho de suas peças.

Estas proporções são calculadas de acordo com um conjunto de normas, denominado Sistema de Ajustes e Tolerâncias ISO (*International Organization For Standardization*), que tem como finalidade padronizar o sistema de ajustes, garantindo, desta forma, a qualidade do produto final independentemente de suas dimensões.

2.2.2.4 Cuidados Necessários

Segurança é outro requisito essencial ao se trabalhar com equipamentos de grande porte. Para fixar as peças nos dispositivos das mandriladoras, por exemplo, os preparadores precisam subir em plataformas que acompanham o cabeçote das máquinas, em alturas de até seis metros.

Nestas ocasiões, alguns cuidados básicos devem ser colocados em prática para evitar acidentes. Os operadores utilizam cintos de segurança e, em alguns casos, são preparadas plataformas auxiliares e os chamados cabos vida, que são equipamentos instalados na parte de melhor acesso, impedindo que ocorram quedas em caso de desequilíbrio.

Devido ao elevado peso das peças, que podem chegar a até 100 toneladas, o manuseio dos equipamentos é um trabalho que deve ser feito com a ajuda de, no mínimo, duas pessoas. Além disso, para que as peças não sejam danificadas em caso de acidentes, deve-se tomar muito cuidado com a movimentação rápida da máquina para evitar colisões das ferramentas com partes da peça. Este cuidado deve ser constante, já que alguns clientes exigem em suas cláusulas contratuais a reposição da matéria- prima caso não seja possível à recuperação da peça.

Outra particularidade da usinagem de grande porte são as altas taxas de remoção de material. Por uma questão de segurança, cavacos longos são evitados ao máximo, mas, quando inevitáveis, são manipulados por operadores que utilizam luvas de proteção e ganchos apropriados para isso.

2.2.2.5 Produção Dinâmica

Um dos momentos mais importantes ao se trabalhar com mandriladoras deste porte é a preparação da máquina.

Assim, se uma preparação for feita de modo equivocado, o *setup* deverá ser refeito, o que acaba gerando perda de produtividade. Já quando se tratam de peças semelhantes, os tempos de *setup* podem ser minimizados com a fabricação de dispositivos de fixação comuns a todos os processos. Os mais comumente utilizados são platôs, prisioneiros, macacos com rosca, correntes, garras e travessas.

2.2.2.6 Superando Desafios

Seguindo a tendência do mercado, diversos fabricantes de mandriladoras pesadas surgiram nos últimos anos. Segmentos como o de mineração e siderurgia estão em constante crescimento, alavancando o mercado de máquinas pesadas e super pesadas.

Mas o setor também enfrenta desafios. Temporadas de grande demanda do mercado são alternadas com épocas de baixa demanda em usinagem pesada.

Lidar com esta entressafra é o principal desafio das empresas deste setor: é necessário saber administrar estes períodos.

Um dos desafios da utilização de equipamentos de grande porte é o tempo de *setup* que estas máquinas demandam, devido a sua dimensão e ao tamanho das ferramentas.

A caracterização de um processo de usinagem pesada é definida pela capacidade de carga das máquinas e dimensões das peças a serem usinadas. Devido a estes fatores, intuitivamente, é possível imaginar que nestes processos os tempos improdutivos

devido à manobra (movimentação das peças entre uma máquina e outra, por exemplo), tempos de preparação de máquina e tempos de preparação de ferramentas são relativamente altos e o estudo destes tempos improdutivos pode render bons resultados para a empresa.

Os altos tempos de preparação de ferramentas são traduzidos, por exemplo, pela troca de cabeçotes de usinagem pesados e de difícil montagem, os altos tempos de preparação de máquinas e de manobra, pela necessidade de montagem da peça a ser usinada e de dispositivos especiais de fixação. Na Figura 8 é mostrado um exemplo de um setor de usinagem pesada.



Figura 8 - Exemplo de um setor de Usinagem Pesada (GUADAGNIM, 2008).

2.3 Estudo dos Tempos de Usinagem

O tempo de fabricação de uma peça inclui todos os tempos necessários para a realização da fase de usinagem. Esse tempo pode ser dividido em dois grupos gerais: (NOVASKI, 1991).

- Tempos manuais – que dependem diretamente da habilidade do operador e nos quais se incluem todos os movimentos para que o operador realize a operação de corte e a retirada da peça após a usinagem e;

- Tempos de máquinas – que dependem do rendimento da máquina, da qualidade da ferramenta, da matéria-prima que está sendo utilizada, etc. e, que começam a partir do momento em que a ferramenta toca a peça e terminam quando ela é retirada da máquina.

De acordo com Ferraresi (1977), o ciclo de usinagem de uma peça é constituído diretamente pelas seguintes fases:

- Colocação e fixação da peça na máquina-ferramenta;
- Aproximação ou posicionamento da ferramenta para o início de corte;
- Operação de corte da ferramenta;
- Afastamento da ferramenta;
- Inspeção (se necessária) e retirada da peça usinada;
- Preparo da máquina-ferramenta para a execução de um lote de peças;
- Remoção da ferramenta para afiação ou substituição;
- Recolocação e ajustagem da ferramenta em seu suporte.

Para a obtenção do tempo de ciclo total de fabricação do produto, este trabalho considerou tanto os tempos manuais como os tempos de máquina.

2.4 Tempos de *Setup*

Atividades de *setup* são executadas todas as vezes que mudanças de produto e ou nas características do produto acarretam mudanças nas máquinas/equipamentos. O *setup* pode ser simples, ou seja, uma mera ajustagem no equipamento em

funcionamento ou uma intervenção mais demorada gerando paralisação das máquinas para troca de ferramentas e/ou dispositivos.

As melhorias de *setup* normalmente obtidas dependem do tamanho do lote ou da habilidade desenvolvida pelo operador. Nos sistemas *just in time* de produção, as operações de *setup* são desenvolvidas, com resultados muito interessantes para a competitividade de uma empresa, através de uma técnica chamada SMED (*Single - Minute Exchange of Die*), o termo em inglês refere-se às técnicas para realizar operações de *setup* em um número de minutos expresso num único dígito, e que foi posteriormente “batizado” de Troca Rápida de Ferramentas (BEM, 2002).

2.4.1 *Setup* em Usinagem Pesada

Quando se consideram as operações de *setup* em usinagem pesada, certas particularidades devem ser salientadas. O primeiro fator a ser considerado é tamanho das máquinas ferramentas. Muitas vezes uma mera operação de ajuste (aperto de placa), em usinagem leve acaba tornando-se uma intervenção maior em usinagem pesada. O porte da peça a ser usinada e sua fixação exige operações de manobras e montagem que acabam tornando-se parte do *setup*, e desta forma, não se atua na máquina, não se atua na preparação da máquina e sim na peça para o processo produtivo.

Uma mesma peça obriga a realização de mais de um *setup* para seu processo de produção seja pela capacidade de alcance da máquina (diâmetros a serem usinados) ou pelas próprias características construtivas da peça.

Uma alternativa que pode se mostrar eficiente trata do desenvolvimento de equipes de preparação de máquinas, ou equipes de *setup*. Na Figura 9 pode-se observar a montagem de uma das quatro partes que compõem a peça completa. A montagem ocorre com auxílio de ponte rolante, sobre as bases niveladas montadas na placa de um torno vertical. Esta equipe atua no planejamento das montagens de máquina (método de preparação, acessórios de fixação, dispositivos, equipamentos de levantamento) e auxílio ao operador na efetiva preparação. Desta forma, em processos de usinagem

pesada, devido às grandes dimensões e massas das peças envolvidas, os especialistas em preparação seriam responsáveis pela diminuição do tempo de preparação e conseqüente redução do tempo total de fabricação. Na Figura 10 é mostrado o resultado final do trabalho de uma equipe de preparação de máquinas, trata-se da seqüência da Figura 9.



Figura 9 - Atuação da equipe de *setup* em empresa de usinagem pesada (ALMEIDA, 2008).



Figura 10 - Peça montada e preparada após intervenção da equipe de *setup* (ALMEIDA, 2008).

2.5 Redução dos Tempos de Fabricação

Reduzir o tempo de fabricação de um produto significa reduzir custos, reduzir custos é agregar maior lucratividade à atividade de manufatura, seja ela qual for. (SLACK, 2002).

Os recursos produtivos são gerenciados de forma a executar suas funções de maneira racional, sem desperdícios, e com a máxima simplicidade possível.

Para tanto, são utilizadas técnicas capazes de, isoladamente ou em conjunto, garantir a concretização desses objetivos, como por exemplo: (ALMEIDA, 2003).

- Migrar do *layout* funcional (por processo) para o *layout* por fluxo (celular):

No *layout* por fluxo ou *layout* celular o tempo de produção é menor, pois cada família de produto ou peças individuais tem sua célula de fabricação, porém necessita-se antes fazer uma avaliação para verificar se é possível fazer a mudança, pois dependendo do tamanho das peças e dos equipamentos a serem mudados pode ser caro reconfigurar o arranjo físico atual, pode requerer capacidade adicional de equipamentos e também pode reduzir os níveis de utilização de recursos.

- Sincronização e redução de filas:

Sincronizar e reduzir filas significa diminuir o tempo de ciclo do produto, ou seja, diminuir o tempo em que a matéria prima é transformada em produto acabado.

- Balanceamento de linhas:

Para produções em linha necessita-se balancear as linhas de produção a fim de maximizar os níveis de utilização dos recursos.

- Redução do tempo de transporte e movimentação de materiais:

O transporte e a movimentação de materiais na indústria são fatores que aumentam muito os tempos improdutivos, estes tempos se controlados podem reduzir o tempo de fabricação.

- Redução do tempo de preparação:

Redução do tempo de preparação de máquinas ou *setup* é fundamental nas operações de usinagem em produtos feitos sob encomenda onde a variação dos tipos de peça é alta, pois reflete diretamente no tempo final do produto.

- Otimização dos processos pela redução dos tempos produtivos:

Otimizar os processos é função da engenharia industrial, pois quanto menor for a seqüência de fabricação ou a troca de máquinas que a peça sofrer, menor será o tempo total de fabricação.

No entanto é necessário entender que o objetivo implícito é a redução do desperdício do tempo relativo às atividades de produção, que não agregam valor, como tempos de preparação, de movimentação e de filas. (ALMEIDA, 2003). A seguir são detalhadas três maneiras de reduzir os tempos de fabricação: reposição de ferramentas, redução do tempo de preparação e otimização de processos.

Os tempos de fabricação podem ser reduzidos por uma variedade de métodos.

Por exemplo, eliminar o tempo necessário para a busca de ferramentas e equipamentos, a pré-preparação de tarefas que retarda as trocas e a constante prática de rotina.

Segundo SLACK (2002), normalmente, mudanças mecânicas relativamente simples podem reduzir consideravelmente esses tempos. Para os processos de usinagem, em especial os de usinagem pesada, três itens merecem atenção especial:

2.5.1 Reposição de Ferramentas

O tempo de reposição e o custo das ferramentas podem ser consideravelmente reduzidos com a adoção de programas de gerenciamento de Ferramentas de corte.

Segundo Boehs (2002), o gerenciamento proporciona os seguintes benefícios:

- Níveis elevados de utilização de máquinas;
- Redução do tempo improdutivo pela redução no tempo de preparação das máquinas;

- Seleção ótima de ferramentas e compras industriais otimizadas;

Outros benefícios, de acordo com Turino (2001), são:

- Redução na variedade e quantidade de ferramentas usadas devido à retirada de itens obsoletos, ou inadequados;

- Fornecimento *just in time* de ferramentas para as máquinas;

- Incremento na qualidade dos produtos e disponibilidade imediata das informações;

- Adequação aos requisitos das normas *ISO*.

Para garantir esses benefícios, o gerenciamento deve se concentrar, simultaneamente e de forma integrada, as seguintes questões: (FONSECA, 2006).

- Planejamento estratégico (padronização e redução dos estoques de ferramentas, diminuição de variedades, compra de ferramentas, redução dos componentes em estoque e acompanhamento preciso do consumo);

- Planejamento logístico (armazenamento das ferramentas, manutenção, preparação, montagens/pré-ajustagem/desmontagem e o transporte até a máquina ferramenta).

- Planejamento técnico (análise do produto e definição das ferramentas a serem utilizadas e determinação dos parâmetros de corte).

Em seu estudo, Boehs (2002), constatou que a constituição de uma equipe responsável pela administração de ferramentas e a correta gestão deste recurso significa uma importante redução nos custos de fabricação, que chegou a até 75%.

2.5.2 Preparação de Máquina

Uma das maneiras de aumentar a produtividade nas operações de usinagem é minimizar o tempo total de montagens de máquina. Isso pode ser obtido reduzindo-se o número de montagens com o aumento do tamanho do lote e de peças a usinar. Outra maneira de minimizar o tempo de montagem é selecionar a seqüência de lotes, de modo a se obter o menor número de ajustes da máquina.

Os conceitos de tecnologia de grupo, neste caso, procuram aumentar a eficiência da produção pelo agrupamento de peças similares.

No entanto, em empresas que trabalham com produção por encomenda, como é o caso de algumas empresas de usinagem pesada, os conceitos de tecnologia de grupo não são totalmente aplicáveis. Assim devem ser encontradas outras formas para a redução dos tempos de preparação das máquinas.

Uma alternativa que pode mostrar-se eficiente trata-se do desenvolvimento de equipes de preparação de máquinas, ou equipes de *setup*.

2.5.3 Otimização de Processo

Diminuir os tempos de usinagem significa otimizar a produção diária de peças. Uma análise do processo permite a redução desses tempos com a escolha correta da ferramenta, utilização de avanço e profundidade de corte coerente com a capacidade da máquina ferramenta, utilização adequada do fluido de corte, etc. (FONSECA, 2006).

Alguns trabalhos tratam da otimização dos parâmetros de corte para o sistema máquina – ferramenta – peça envolvido de forma a adaptar a velocidade de corte dentro do intervalo de máxima eficiência (IME). Ou seja, com base nas condições de máxima produção e de mínimo custo. A otimização da velocidade de corte pela determinação do IME em ambiente fabril pode apresentar redução significativa dos tempos de corte, com conseqüente redução dos custos. (BAPTISTA, 2002).

2.6 Redução dos Tempos de *Setup*

Menor tempo de preparação de máquina pode representar um diferencial competitivo para as indústrias.

Atrasos nos tempos de *setup* podem reduzir consideravelmente os índices de produtividade de uma fábrica. Quanto maior for o tempo de *setup*, maior será também o tempo de máquina parada – e, portanto, improdutiva.

Embora possa parecer menos importante do que a fabricação em si, esta operação exige cuidados específicos e muita atenção. Uma preparação de máquina mal feita pode resultar em peças com defeito, que deverão voltar ao processo anterior para uma possível reparação, ou ainda em peças com falhas, que serão descartadas. Situações como estas representam perda de tempo útil para as indústrias, pois o operador, que poderia estar envolvido em outras atividades, terá que refazer a operação. Além disso,

perde-se também em tempo de produção, já que a máquina ficará parada em parte do *setup*.

Para evitar que isso aconteça, o momento de preparação de uma máquina para uma nova etapa de produção deve ser cuidadosamente planejado. Fatores que podem prolongar o tempo de *setup*, como indefinições em relação ao trabalho que o montador deve executar e outros imprevistos, devem ser minimizados sempre que possível. A adoção de algumas medidas simples pode gerar, a curto prazo, uma redução de até 75% no tempo do *setup* de uma máquina, enquanto que, no médio ou longo prazo, esse índice pode subir para quase 90%.

A primeira etapa de um planejamento eficiente de *setup* consiste em separar as atividades externas das atividades internas deste processo.

Como atividades externas entendem-se todas aquelas que podem ser feitas enquanto a máquina ainda está trabalhando em outro produto – ou seja, tarefas que podem ser realizadas sem a necessidade de se interromper a produção. Entre elas está a seleção das ferramentas, dos dispositivos a serem fixados e da matéria-prima que será utilizada na nova produção.

Já as atividades internas são aquelas que só podem ser executadas com a máquina parada, como a remoção e montagem de dispositivos. Para que os equipamentos só permaneçam parados durante o *setup* interno, todas as atividades externas devem ser executadas antecipadamente. Além disso, sempre que possível deve-se transferir as atividades internas para a condição de externas; esta estratégia também ajuda a otimizar o processo.

Uma das maneiras de identificar quais tarefas podem ser aprimoradas no processo de *setup* é investir na realização de testes contínuos, já que sempre há melhorias a fazer. Medir previamente as dimensões das ferramentas e dos materiais que serão usinados é uma das atividades que podem ajudar a reduzir o tempo de *setup*, pois dessa forma não haverá necessidade de se fazer ajustes no momento da montagem.

2.6.1 Ferramentas Preparadas

Muitas vezes, na hora de preparar a máquina para um novo produto, o operador seleciona uma ferramenta que não reúne as condições adequadas para aquela aplicação, tendo depois que interromper seu trabalho para ir ao almoxarifado buscar uma nova. Este imprevisto pode ser evitado se todas as ferramentas que serão utilizadas no processo de *setup* estiverem em boas condições.

Por ser um ponto crítico do processo de usinagem, o *setup* deve ser planejado com cautela para que todos os componentes e recursos necessários estejam prontos e em mãos no instante da montagem.

2.6.2 Estratégias para Otimização

Para fábricas que trabalham com centros de usinagem ou tornos – máquinas que permitem a armazenagem de inúmeras ferramentas por vez em seus magazines – uma boa dica é deixar programado na memória da máquina ferramentas reservas. Assim, se uma determinada peça requer o uso de 20 ferramentas diferentes para ficar pronta, a capacidade restante de suportes do magazine pode ser equipada com ferramentas reservas.

Se uma das ferramentas em operação estiver desgastada, pode ser rapidamente trocada pela ferramenta reserva, sem a necessidade de interromper a produção por muito tempo. Outro ponto importante a ser considerado é a programação da seqüência dos produtos a serem usinados. Esta deve ser definida por meio de grupos de afinidades, ou seja, as peças que possuem características comuns e que utilizam praticamente os mesmos dispositivos de máquina devem ser usinadas em seqüência, deixando as peças que têm características diferentes para serem usinadas depois, já que estas exigirão a troca de dispositivos.

2.6.3 Eliminando Ajustes

A necessidade de efetivar ajustes no equipamento é outro fator que pode atrasar o processo de *setup*. Por este motivo, a fábrica deve eliminar o maior número de ajustes possível. Isso se faz re-projetando ferramentas e dispositivos usados para centralizá-las, o que permite reduzir o número de ajustes manuais que costumam consumir bastante tempo.

Uma solução é utilizar de ferramental fixo, que dispense ajustes manuais. Outra saída é utilizar um pino cilíndrico com um de seus furos diamantado. Este formato permite que os dois furos sejam encaixados ao mesmo tempo, ajuste que é difícil de ser feito quando os dois orifícios são apenas cilíndricos.

Deve-se pensar no *setup* também ao programar a seqüência de usinagem das peças. Agrupando peças por famílias de similaridade, é possível reduzir os ajustes na máquina de uma peça para outra. Nestes casos, ao invés de se trocar o dispositivo de fixação cada vez que uma nova peça entra em usinagem, é possível utilizar um dispositivo-base, onde apenas as ferramentas devem ser trocadas. Isto facilita o trabalho, principalmente quando consideramos que os dispositivos são componentes pesados que muitas vezes exigem o uso de pontes rolantes ou sistemas tipo guindaste para serem trocados e transportados.

A propósito, quando a remoção de um dispositivo é necessária, a utilização de dois carrinhos também pode otimizar este processo. Neste caso, um carrinho ou empilhadeira remove primeiro o dispositivo antigo, transporta-o até o estoque, e só então retorna com o novo dispositivo para a máquina. Uma solução seria a utilização de um carrinho extra – enquanto o primeiro retira e transporta o dispositivo que não mais será utilizado, um segundo carrinho traz o item novo para ser posicionado, ganhando tempo de produção.

Estas são algumas medidas simples, mas que juntas, podem reduzir drasticamente os tempos de *setup* e aumentar os índices de produtividade de sua fábrica.

2.7 *Laser Tracker*

Assim como a eletrônica tem sido limitada pela redução cada vez maior de seus componentes, a mecânica encontra seu limite nas grandes dimensões das peças e equipamentos, principalmente quando aliada às baixas tolerâncias de fabricação, o que torna inviável a utilização de sistemas de medição obsoletos, caros e lentos em seus processos produtivos. Além disso, com o aumento da competitividade, muitas vezes o prazo de lançamento de um produto, como também sua qualidade, passaram a ser itens decisivos para ter sucesso no mercado mundial

Essa tendência contraditória de crescimento dimensional vs diminuição das tolerâncias é um desafio produtivo para várias empresas em todo o mundo, porém empresas especialmente dos EUA e Europa têm solucionado esses problemas por meio da utilização de máquinas opto-eletrônicas portáteis de longo alcance para medição tridimensional, que aliadas a modernos sistemas de CAD possibilitam a execução de medições extremamente precisas, rápidas e flexíveis, isso tudo, obviamente independe do tamanho do objeto e do local onde o mesmo é medido (Figura 11).



Figura 11 - Medição da seção de um navio durante a fabricação (VIEIRA, 2003).

De um modo geral pode-se descrever o *Laser tracker* (Figura 12) como sendo uma máquina tridimensional portátil que utiliza um laser interferométrico para medição de distância, dois “encoder” (vertical e horizontal) de alta precisão para medição angular, combinado a um mecanismo direcionador e um sensor de posição (PSD) de alta resolução, permitindo assim rastrear um refletor manual e medir seu posicionamento tridimensional no espaço, enquanto este é movimentado. Além do laser interferométrico, pode ser adicionado um laser para medição de distância absoluta que possibilita a medição automática de pontos (GREENWOOD, 1993).

O “*Laser tracker*” executa suas medições em coordenadas polares (Figura 13), ou seja, ângulo vertical, ângulo horizontal e distância do centro de giro do cabeçote até o centro do refletor, medindo até aproximadamente mil pontos por segundo. Um computador converte essa medição em coordenadas retangulares, comumente utilizada do campo.



Figura 12 - “*Laser tracker*” – Designer Atual (CATÁLOGO LEICA, 1993).

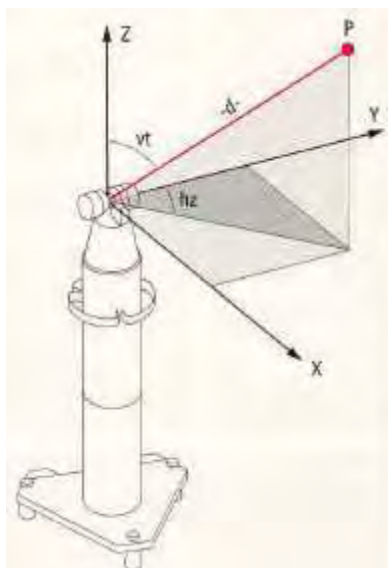


Figura 13 - Medições Polares (CATÁLOGO LEICA, 1993).

O “*Laser tracker*” pode ter dois tipos de lasers, o interferômetro (IFM) e o laser para medição de distância absoluta (ADM). As principais diferenças entre eles serão descritas a seguir.

O IFM é um sistema a laser de alta precisão utilizado para medição de deslocamento, introduzido como uma ferramenta para medição industrial pela Hewlett Packard em 1970. Seu princípio de funcionamento baseia-se na geração de uma interferência flutuante (pulsos) gerada pelo retorno do laser e que varia proporcionalmente ao deslocamento do refletor. Cada pulso contado eletronicamente significa o deslocamento de um comprimento de onda, e através dos números de pulsos é possível calcular proporcionalmente o valor do deslocamento total.

Quando se utiliza o IFM, não é possível medir ou determinar distâncias absolutas de um ponto, mas sim distâncias relativas a um ponto de partida, ou seja, as distâncias medidas serão maiores ou menores que a distância do ponto inicial. Esse ponto de partida é conhecido como “*home point*”, sendo um deles em especial definido durante a fabricação do *Laser tracker* e calibrado durante a montagem do equipamento. Esse “*home point*” ou ponto de partida se encontra montado ao cabeçote do *Laser tracker* e é conhecido como “*bird bath*” ou “*ninho de passarinho*”. Apesar de existir um ponto de partida agregado ao equipamento, qualquer ponto pode ser especificado como um “*home point*”, desde que tenha sido medido a partir de um ponto inicial de

coordenadas conhecidas com precisão. Caso o *Laser tracker* possua somente o IFM, sempre que o feixe de laser é interrompido, o *Laser tracker* deverá reiniciar sua medição a partir de um “*home point*”. Para medir vários pontos estáticos em um objeto com o IFM, o refletor deverá ser levado manualmente até cada um dos pontos a ser medido, tomando cuidado para não interromper o laser (Figura 14) [GREENWOOD, 1993].

Quando o *Laser tracker* possui além do IFM o ADM e se deseja medir uma grande quantidade de pontos estáticos, essa medição poderá ser feita automaticamente utilizando o ADM. Ao contrário do IFM, o ADM executa medições absolutas e não relativas a um ponto de partida. Portanto, para medir pontos estáticos automaticamente com o ADM, deve-se colocar refletores nos pontos a serem medidos, medir no mínimo os três primeiros pontos do objeto (cinco é ideal) para que o computador referencie o *Laser tracker* no sistema de coordenada da peça, em seguida deve-se informar as coordenadas aproximadas dos demais pontos a serem medidos e o *Laser tracker* executará a medição automática dos demais pontos. Esta aplicação é muito utilizada na medição periódica de dispositivos ou em testes de R&R (Repetitividade e Reprodutibilidade) conforme Figura 15 (STONE et al, 1999). Outra grande vantagem dos *Laser trackers* com ADM, é que se o feixe de laser é interrompido durante a medição não é necessário retornar a um ponto de partida conhecido, basta somente colocar o refletor na frente do feixe de laser e mantê-lo estabilizado por alguns segundos que o *Laser tracker* calcula a nova posição do refletor utilizando o ADM em seguida o IFM é ativado dando continuidade ao processo de medição.



Figura 14 - Medição Manual com o IFM (CATÁLOGO LEICA, 1993).



Figura 15 - Medição Automática com o ADM (CATÁLOGO LEICA, 1993).

O princípio de funcionamento do “*Laser tracker*” será descrito a seguir, sendo detalhado todo o caminho percorrido pelo laser durante a medição, e seus componentes (Figura 16).

O feixe sai do laser interferométrico e passa por um divisor de raio unidirecional (“*beam splitter*”), em seguida atinge um espelho montado em um mecanismo direcionador que reflete o feixe no centro do refletor. Ao atingir o centro do refletor, o feixe de laser retorna em sentido contrário sobrepondo-se ao feixe ida (desde que o refletor não se mova), e ao passar pelo divisor de raio parte do laser retorna ao interferômetro e parte é desviada em direção ao PSD atingindo sua origem (Figura 17). Quando o refletor é movido, o feixe de laser não atinge mais o seu centro, fazendo com que o laser retorne paralelamente ao feixe de ida porém deslocado do centro, em seguida atinge novamente o espelho montado no mecanismo direcionador passando em seguida pelo divisor de raio (Figura 18). No momento em que o laser passa novamente pelo divisor de raio, parte dele segue direto retornando ao interferômetro, e outra parte é direcionada a 90 graus atingindo novamente o PSD, porém com um deslocamento do centro. O PSD determina o deslocamento do centro do refletor e em seguida converte esse deslocamento em sinal analógico que é enviado aos motores (moto-amplificadores DC), que por sua vez orientam o espelho montado no mecanismo direcionador, fazendo com que o feixe de laser retorne ao centro do refletor. O deslocamento do centro é calculado aproximadamente 3000 vezes por segundo, permitindo que o *Laser tracker* persiga o refletor a uma velocidade altíssima

(> 6 m/s) garantindo assim que o ponto medido seja o centro do refletor (GREENWOOD, 1993).

Ao contrário da IFM, o ADM só é ativado no momento da medição e sua trajetória é diferente do IFM como mostra a ilustração.

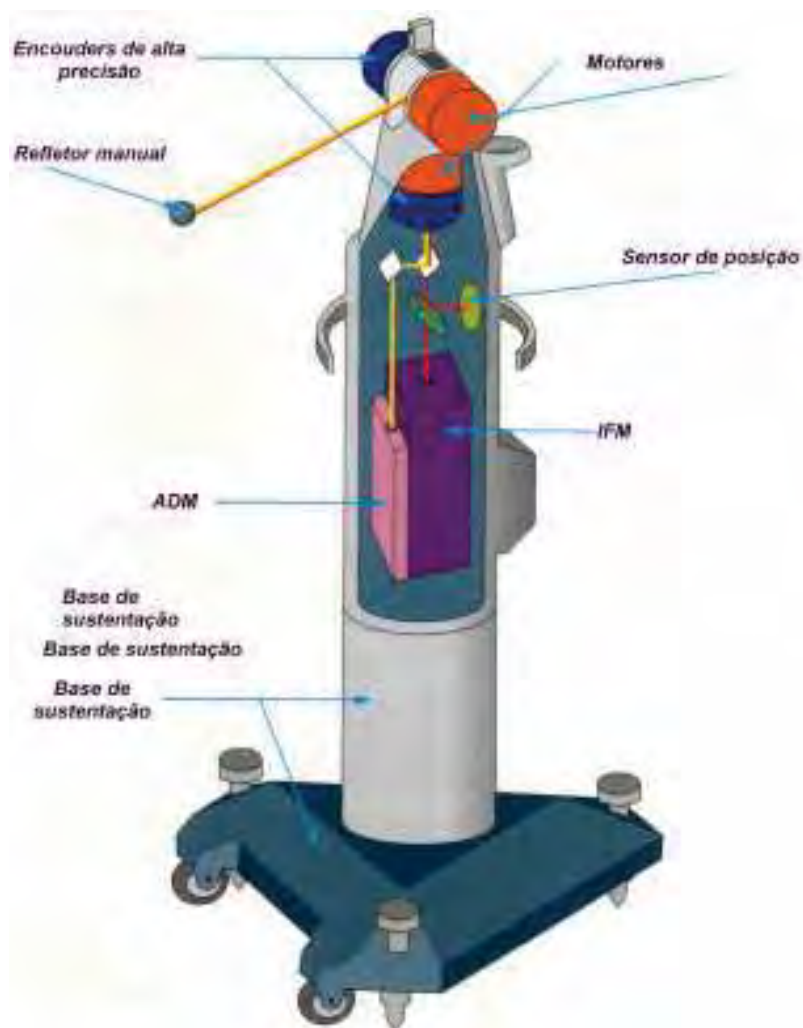


Figura 16 - Trajetória do Laser (VIEIRA, 2003).

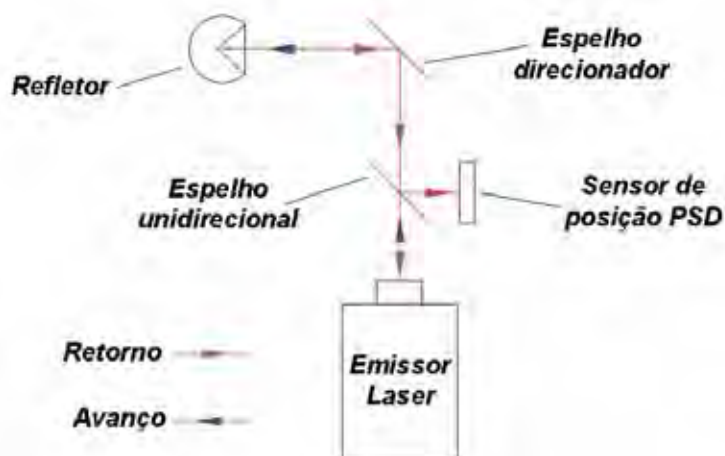


Figura 17 - Trajetória do Laser (VIEIRA, 2003).

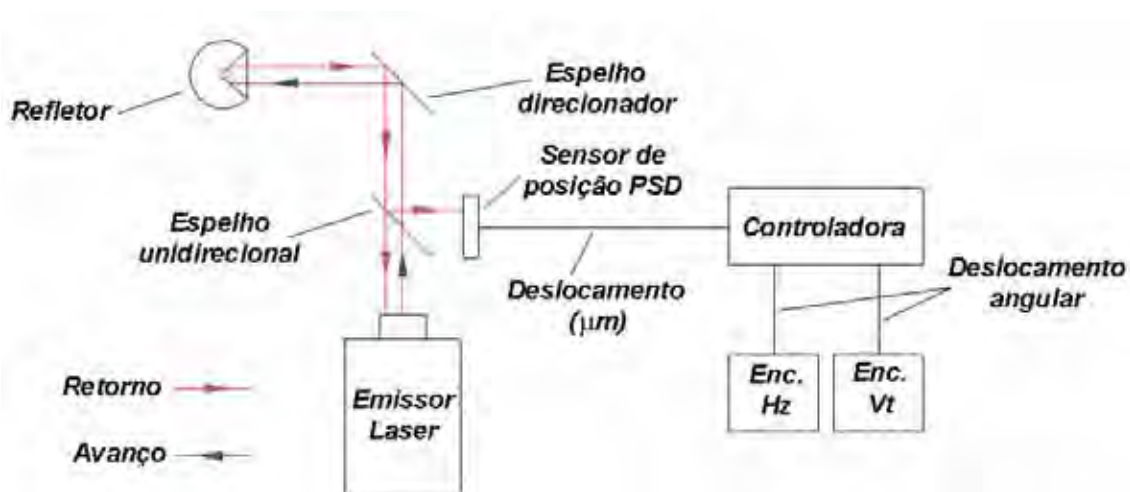


Figura 18 - Trajetória do Laser (VIEIRA, 2003).

2.7.1 Características Técnicas do *Laser tracker* (Catálogo Leica, 2006).

Laser Interferométrico (IFM):

- | | |
|---|---------------------------------|
| - Princípio de funcionamento | interferômetro de raio único |
| - Produto a laser classe 2 | <math><0.3 \text{ mW/CW}</math> |
| - Comprimento de onda | 633 nm (visível) |
| - Diâmetro do laser (1/e ²) | ca. 4.5 mm |

Máxima velocidade de rastreamento:

- | | |
|-----------------------|-----------|
| - Angular | > 4.0 m/s |
| - Na direção do laser | > 6 m/s |

Aceleração máxima:

- Em todas as direções > 2 g

Campo de medição:

- Horizontal $\pm 235^\circ$
- Vertical $\pm 45^\circ$
- Distância 0 - 40 m

Precisão:

- Resolução angular 0.14"
- Resolução linear (distância) 1.26 m
- Repetitividade de uma coordenada ± 5 ppm ($\mu\text{m}/\text{m}$)
- Precisão absoluta de uma coord.:
 - .alvo estático ± 10 ppm ($\mu\text{m}/\text{m}$)
 - .alvo dinâmico $\pm 20 - 40$ ppm ($\mu\text{m}/\text{m}$)
- Capacidade máxima de medição 1000 pontos/seg.

Laser para medição de distância absoluta (ADM):

- Princípio de funcionamento luz polarizada modulada
- Produto a laser classe 1 <0.5 mW/2sec.
- Comprimento de onda 780 nm (infravermelho)
- Diâmetro do laser ca. 10 mm
- Resolução 1 μm
- Precisão ± 0.025 mm
- Alcance 1.5 - 40 m

Condições ambientais:

- Temperatura de trabalho +5 à +40 °C
- Temperatura de armazenagem -10 à +60 °C
- Umidade relativa 10 à 90 % (sem condensação)
- Pressão atmosférica / elevação
 - .operação 0 à 3000 m
 - .armazenagem 0 a 7000 m

2.7.2 Aplicações do *Laser tracker*

2.2.7.1 Calibração de Robôs

Uma aplicação que faz do *Laser tracker* algo único é a calibração de robôs, pois o monitoramento da performance, calibração e inspeção de robôs, assim como a qualidade da instalação e manutenção, são tarefas difíceis e decisivas para manter a qualidade e conseqüentemente garantir o retorno de um investimento que normalmente é alto. Durante a calibração de um robô é possível controlar a precisão de posicionamento, a repetitividade, a precisão de movimentação, a velocidade, a aceleração e os erros inerentes à variação térmica. Essa verificação poderá ser feita durante a montagem ou periodicamente através da manutenção preventiva, garantindo a qualidade do processo por um longo tempo. O teste consiste basicamente em fixar um refletor na ponta do robô (“end-efector” ou “finger”) e medir seu movimento, repetindo esse procedimento várias vezes (Figuras 19 e 20). Os valores encontrados poderão ser comparados aos valores especificados pelo fabricante.

As vantagens na utilização do *Laser tracker* para a calibração de robôs são:

- Precisão típica de 0,05mm à 0,1mm num campo de 2m à 6m;
- Os testes de calibração são feitos conforme norma internacional ISO-9283;
- Os testes podem ser executados antes e depois de uma manutenção, facilitando a visualização do resultado obtido com o serviço de reparo;
- Os resultados numéricos e gráficos dos testes podem ser armazenados em disquetes ou impressos de forma clara facilitando sua interpretação;
- O teste pode ser executado no local onde o robô está instalado garantindo assim, a mínima perda de produção e resultados mais próximos da realidade.



Figura 19 - Ilustração da calibração de robôs (CATÁLOGO LEICA, 1993).



Figura 20 - Calibração de robô (VIEIRA, 2003).

2.2.7.2 Fabricação de Dispositivos

A fabricação de dispositivos pode ser executada por vários equipamentos como teodolitos e braços de medição, mas é uma das mais importantes aplicações do *Laser*

tracker (Figuras 21 e 22). Nenhum equipamento supera o *Laser tracker* nessa aplicação, pois ele é mais confiável e preciso, especialmente na medição de grandes dispositivos ou quando utilizado para o alinhamento de vários dispositivos entre si.

O software que opera o *Laser tracker* assim como o teodolito, possui ferramentas especialmente desenvolvidas para a fabricação (“*Build*”) e o controle (*Inspect*) de dispositivos, permitindo que isso seja feito direto do modelo CAD e não de modelos físicos (“*Mock-up*”). Com o “*Build*” (construção) é possível posicionar suportes, pinos localizadores, fixadores, superfícies complexas e outros itens que compõem um dispositivo. O “*Inspect*” (inspeção) ou “*Auto-Inspect*” possibilita uma medição automática, rápida e precisa de um dispositivo, sendo necessário somente posicionar o *Laser tracker* no sistema de coordenadas da peça, colocar refletores e indicar as coordenadas aproximadas dos pontos a serem medidos. Em seguida o *Laser tracker* irá localizar e medir todos os pontos, fornecendo as coordenadas reais e os desvios em relação as coordenadas teóricas de cada ponto. O “*Auto-Inspect*” é muito utilizado na verificação periódica de dispositivos, e utiliza o *ADM* durante a medição e não o *IFM*.

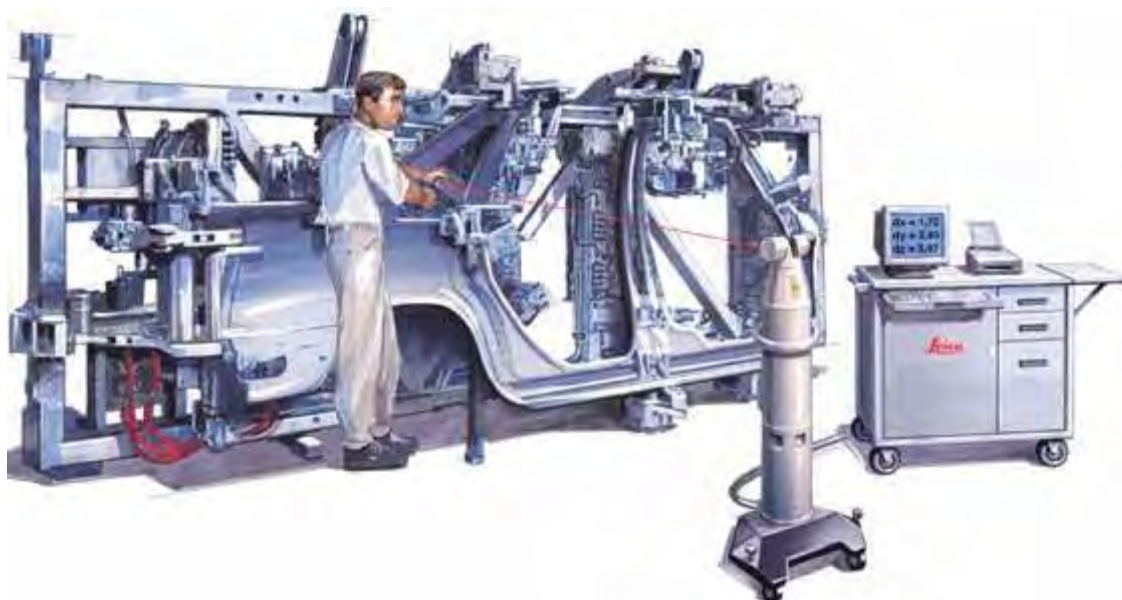


Figura 21 - Desenho ilustrando a montagem de um dispositivo ilustrando o “*Build*”
(CATÁLOGO LEICA, 1993).



Figura 22 - Aferição de um dispositivo com o *Laser tracker* (VIEIRA, 2003).

2.2.7.3 Controle Dimensional de Produtos

Uma outra aplicação é a medição ou controle de produtos. Uma grande vantagem da utilização do *laser tracker* para a medição da fuselagem, posicionamento das turbinas (Figura 23) ou ainda da posição e forma da asa durante a montagem do avião (Figura 24), é o fato que o componente não precisa estar orientado em certa posição antes de ser medido.

Durante a medição do produto pode-se encontrar as seguintes aplicações:

- Determinação do perfil da junção da asa, objetivando análises para posterior montagem;
- Controle de pontos de referência que definirão de dez à quinze sistemas de coordenadas no avião;
- Verificação das principais dimensões para controle geométrico;
- Medição de perfis;
- Geração de certificados de inspeção final para produtos ou peças. Devido a itens do avião serem fabricados em vários lugares do mundo (por exemplo, o avião

Airbus 321 é construído por sete empresas em seis países), a geração de certificados de conformidade passa a ser muito importante na montagem final do conjunto;

- Localização de um ponto de coordenadas extraídas de um modelo CAD em uma superfície real (“*Build*”);
 - Determinação das posições das dobradiças relativas a estrutura das portas;
- Verificação da estrutura de montagem dos motores ou turbinas, dentre outras coisas. (MÜNCH & BAERTLEIN, 1993).

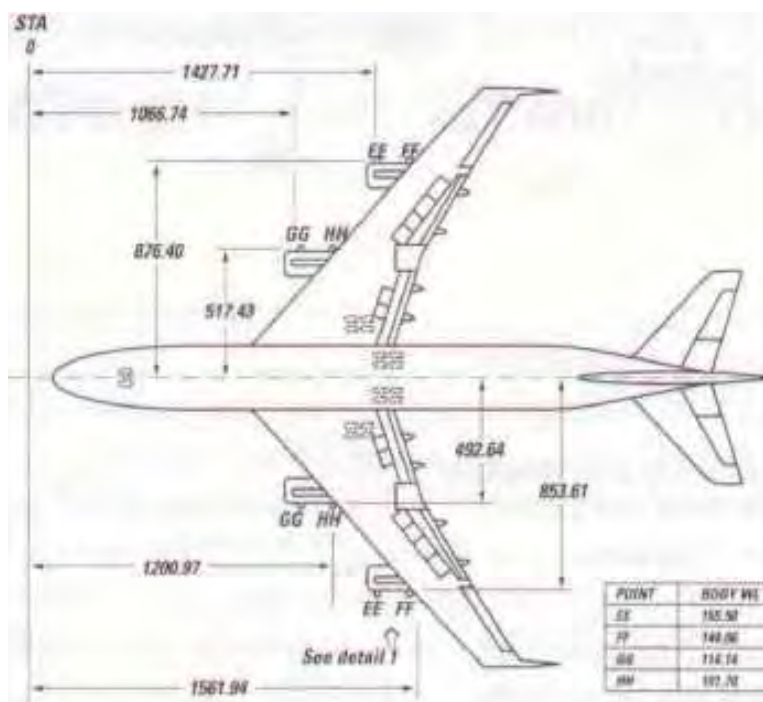


Figura 23 - Localização dos pontos de alinhamento da turbina do avião (VIEIRA, 2003).



Figura 24 - Foto de um avião durante a montagem final (VIEIRA, 2003).

2.2.7.4 Aplicações Automotivas do *Laser tracker*

Outra indústria que utiliza o *Laser tracker* em várias aplicações é a indústria automotiva. As aplicações destes aparelhos na indústria automotiva são similares às da indústria aeroespacial, e com a utilização do *laser tracker* os fabricantes de automóveis reduziram o tempo de produção e os custos, em aplicações como as descritas a seguir (MÜNCH & BAERTLEIN, 1993; HORCH et al, 1993):

- Verificação de peças independente de posições pré-estabelecidas, o que torna desnecessário a fabricação de fixações pesadas, caras e que dependem de um longo tempo para a fabricação (Figura 25);
- Fabricação de ferramental direto de dados de CAD, eliminando assim modelos padrões, evitando acúmulo de erros e desperdício de dinheiro (Figura 26);

- Posicionamento e alinhamento de vários componentes da linha de produção, como por exemplo unidades de fabricação (também conhecidas como “Geometry-Boxes”, “Jumbo”, “Robo-Gate” ou “Jigs”), mesas e estruturas giratórias, suportes, posicionadores, guias, robôs de solda e montagem;

- Verificação do posicionamento dos “Skid” (carrinhos utilizados para transportar o veículo durante o processo de fabricação), pois as referências de montagem estão normalmente no “Skid” e não no produto a ser fabricado (Figura 27);

- Verificação periódica de fixações e “Jigs”, de modo a se diminuir ao máximo o tempo de parada de produção por quebra;

- Medições em túnel de vento;

- Análise do veículo após “crash-test”;

Medição do produto acabado (Figura 28), garantindo a intercambiabilidade entre as peças a serem montadas na fábrica e fora dela.



Figura 25 - Medição do perfil da porta (VIEIRA, 2003).



Figura 26 – Montagem do ferramental (VIEIRA, 2003).

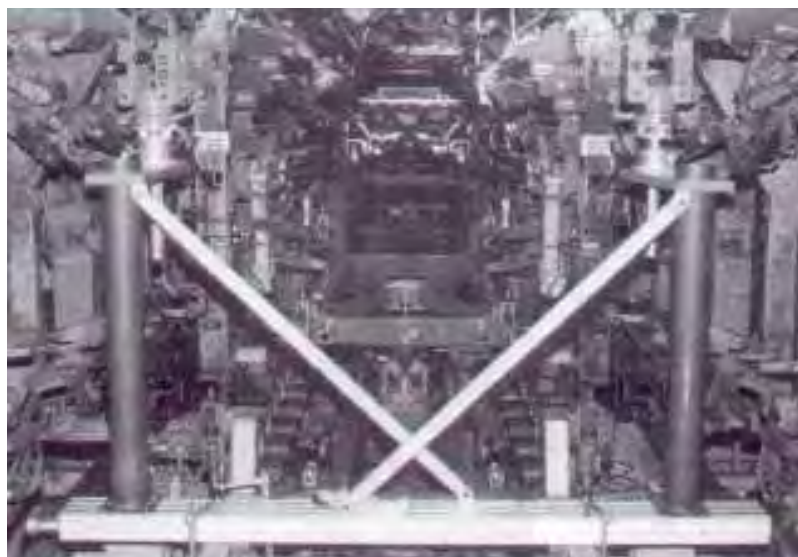


Figura 27 – Medição do “Skid” (VIEIRA, 2003).

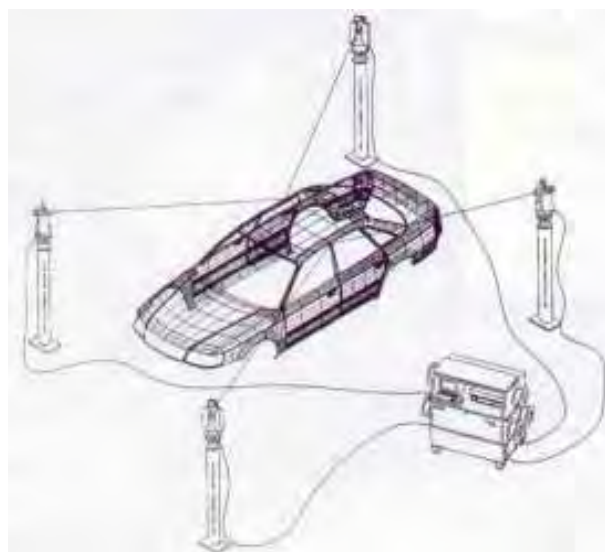


Figura 28 – Medição do produto (VIEIRA, 2003).

Outras aplicações do *Laser tracker* podem ser vistas nas Figuras 29 e 30.



Figura 29 – Verificação geométrica de máquinas de usinagem (VIEIRA, 2003).

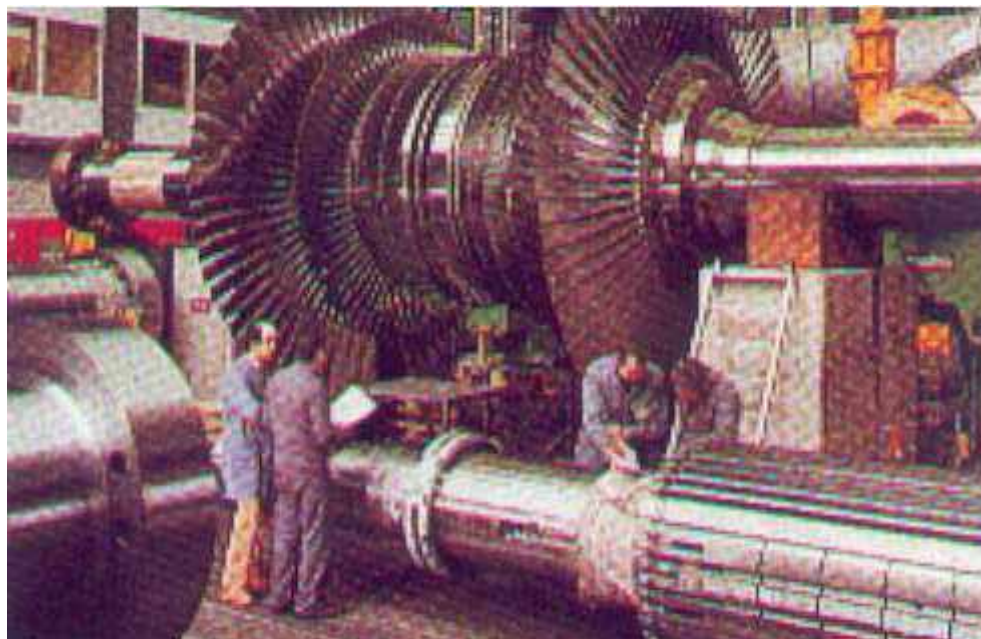


Figura 30 – Alinhamento de peça em uma turbina a gás (VIEIRA, 2003).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Mandriladora CNC PAMA Speedram 3000

O Speedram 3000 é uma máquina de perfuração/fresagem de coluna móvel, com FUSO horizontal dentro do qual desliza uma BARRA PERFURADORA (eixo W).

O fuso e a barra perfuradora estão contidos no ÊMBOLO (ou árvore) que por sua vez está contida dentro do CABEÇOTE que se move verticalmente (eixo Y) nas guias da COLUNA.

A coluna é firmemente presa em sua parte inferior ao CARRINHO HORIZONTAL que desliza horizontalmente (eixo X) nas guias de BASE.

A máquina pode estar equipada com TROCA DE FERRAMENTAS AUTOMÁTICA composta de um BRAÇO DE TROCA DE FERRAMENTA deslizante sobre uma GUIA, e um MAGAZINE TROCADOR DE FERRAMENTAS posicionado na lateral da coluna.

As peças de trabalho a serem usinadas podem ser dispostas em PLANOS FIXOS NO SOLO ou em uma MESA ROTATÓRIA (rotação do eixo B, curso do eixo V).

O operador possui seu local de trabalho no ESTRADO localizado na lateral do cabeçote e pode ser fixado a este cabeçote ou pode ser independente. No estrado está o PAINEL. É possível organizar o painel como um PAINEL PENDENTE.

O TRANSPORTADOR DE CAVACOS está localizado entre a base e o plano de trabalho ou a mesa rotatória.

O TANQUE DE RESFRIAMENTO pode se localizar próximo a este último.

Outros componentes que possam possivelmente estar conectados uns aos outros dentro deste lay-out são:

- UNIDADE HIDROSTÁTICA
- UNIDADE DE REFRIGERAÇÃO
- CABINE ELÉTRICA

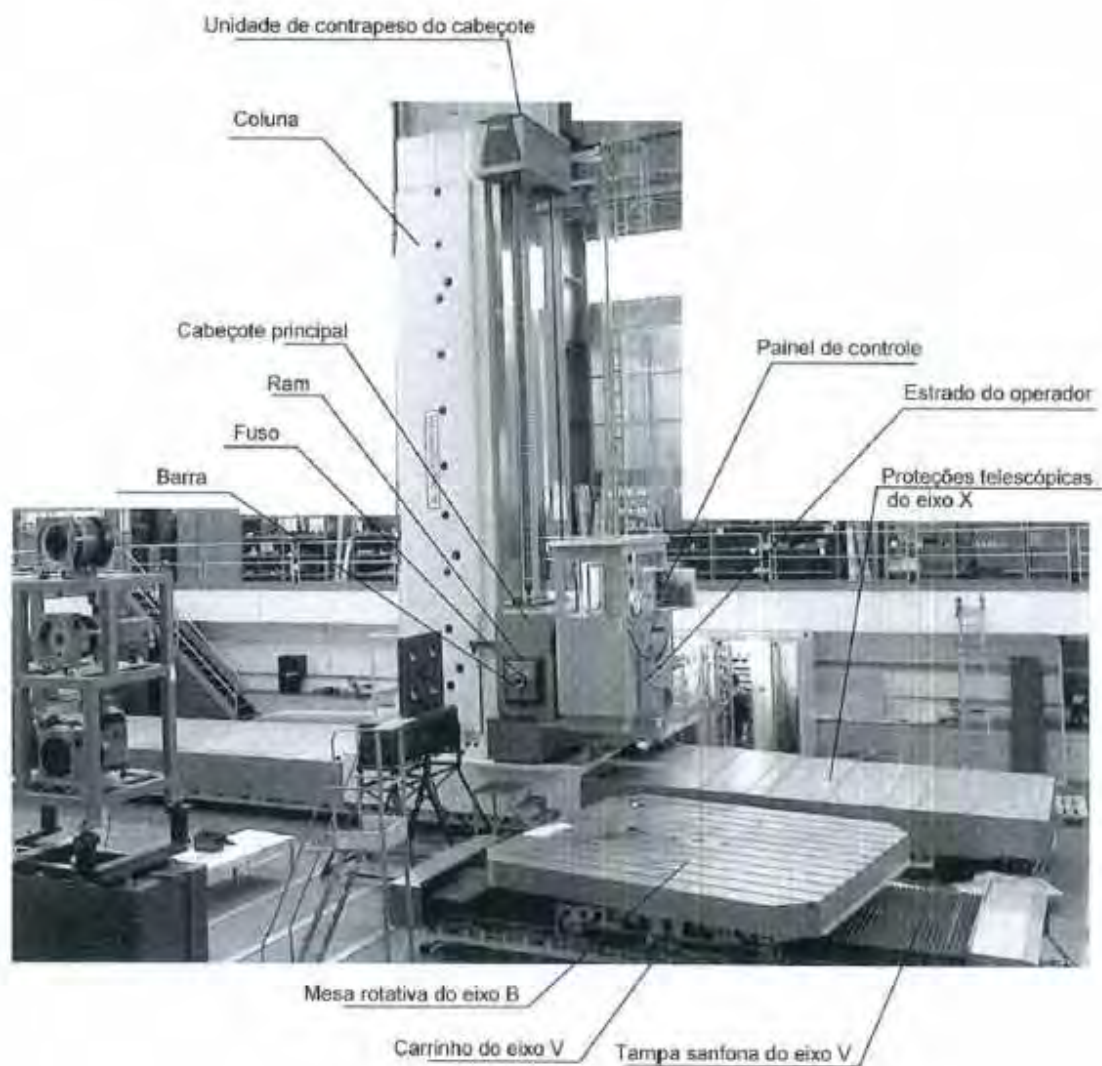


Figura 31 – Mandriladora PAMA Speedram 3000

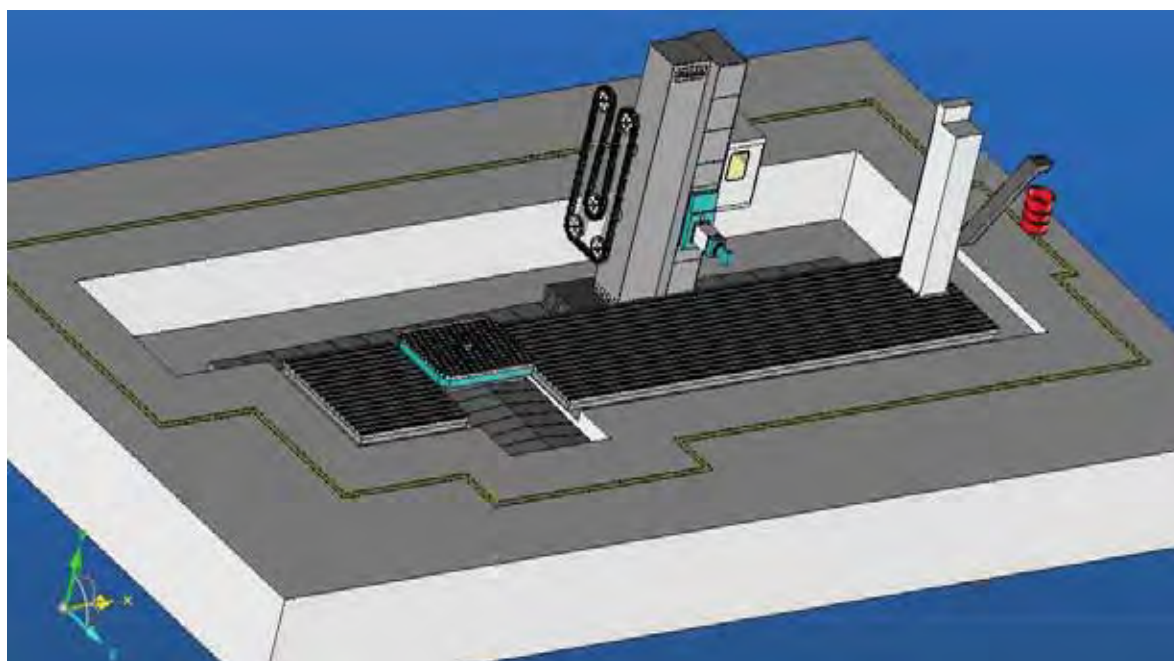


Figura 32 – Mandriladora PAMA Speedram 3000 no Top Solid

A PAMA Speedram 3000 tem vinte e dois metros no eixo X (comprimento), cinco metros no eixo Y (altura) e aproximadamente um metro e meio no eixo Z (profundidade). Com estas dimensões, esta máquina pode suportar o peso das peças que precisa produzir, realizando com excelência as operações de usinagem.

3.2 Plataforma Giratória R-9350

Como já foi dito anteriormente, o foco principal deste trabalho é a redução do tempo de *setup*, centragem e alinhamento da Plataforma Giratória R-9350 na mandriladora CNC PAMA Speedram 3000. Sendo assim, agora será apresentado um pouco dessa peça e da dificuldade que se tem no procedimento utilizado atualmente para a realização dessa operação.

A máquina retro - escavadeira R-9350 é uma máquina de grande porte com peso total montada de aproximadamente 350 toneladas destinada ao setor de mineração. (Figuras 33 e 34).



Figura 33 – Comparação de uma Retro - escavadeira R-9350 com uma R-944



Figura 34 – Apresentação da primeira retro - escavadeira R-9350 na Liebherr Brasil

Uma das peças que compõe essa máquina é a Plataforma Giratória (Figuras 35 e 36), a qual possui uma coroa que conecta na Peça Central e nas Longarinas e que permite o giro da retro - escavadeira.

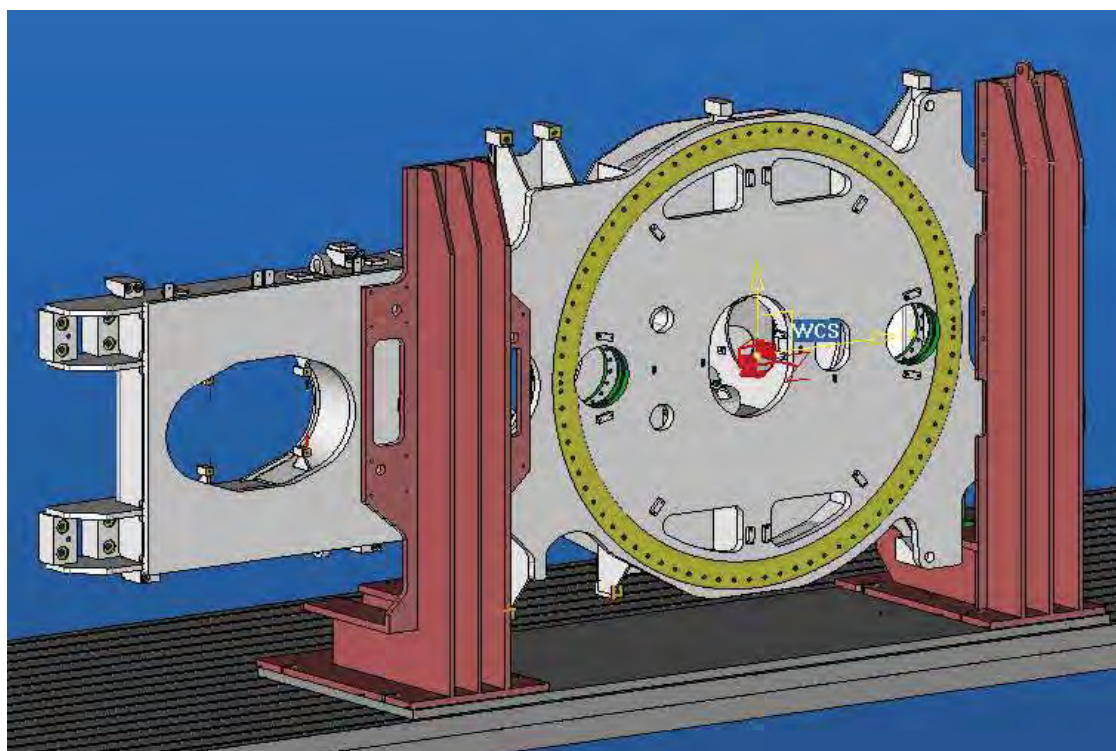


Figura 35 – Plataforma Giratória R-9350

A Plataforma Giratória pesa aproximadamente trinta toneladas e tem aproximadamente oito metros de comprimento, daí a grande dificuldade de se realizar o *setup* dessa peça. Hoje sua usinagem é feita em três fases, Fase A, Fase B e Fase C, sendo que nas duas primeiras fases utiliza-se como dispositivo duas torres (Figura 37) que juntas possuem aproximadamente 19 toneladas. Nesse caso, juntos, a Plataforma Giratória R-9350 com seu dispositivo de fixação somam quase cinquenta toneladas, o que ultrapassa a capacidade da ponte rolante utilizada na área da usinagem. Esse é um fator que dificulta a movimentação desse conjunto (peça + dispositivo) no momento do *setup*, o que aumenta relativamente o tempo dessa operação.



Figura 37 – Torres: Dispositivo de fixação da Plataforma

3.3 Controle dos Tempos de Usinagem na Liebherr Brasil

Tendo em mente a importância do controle dos tempos de usinagem, foi criado na empresa Liebherr Brasil GMO Ltda, empresa de estudo neste trabalho, um formulário para o registro dos tempos de usinagem das peças e para as horas de trabalho de cada operador na mandriladora CNC PAMA Speedram 3000.

No *Formulário para Controle da Produção: Usinagem – PAMA*, (Figura 38), cada colaborador deve preencher no seu turno de trabalho, marcando o plano da peça, o nome dessa peça, para qual máquina esta está destinada e identificar as operações de *Setup*, Usinagem e Retrabalho, identificando o tempo decorrido de cada operação, bem

como as paradas ocorridas nesse intervalo de tempo, dividindo essas paradas em Operacionais, Programadas e de Manutenção.

LIEBHERR BRASIL			Formulário de Controle da Produção Usinagem - PAMA							
Data		___/___/___		Turno		RG				
Plano	Máquina	Peça	Nº Máquina	Op. [S / U / R]	Fase [A/B/C]	Início	Término	Parada	Início	Término
1 - CURSOS E TREINAMENTO		8 - AG. INSPEÇÃO QUALIDADE				15 - REFEIÇÃO			22 - MANUTENÇÃO ELÉTRICA	
2 - AUDITORIA		9 - FALTA DE INSTRUMENTO				16 - FALHA OPERACIONAL			23 - MANUTENÇÃO MECÂNICA	
3 - PREVENTIVA		10 - TRANSPORTE				17 - LIMPEZA E CONSERVAÇÃO			25 - OPERADOR DESLOCADO	
4 - REUNIÃO MENSAL		11 - SOLDA				18 - MOTIVO PESSOAL			26 - FALTA ÓLEO / REFRIG.	
5 - INVENTÁRIO		12 - FALTA DE PROCESSO				19 - AJUSTES OP. PAMA			27 - FALTA DE AR COMP.	
6 - BOM DIA		13 - ALTERAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO				20 - REUNIÃO OPERACIONAL				
7 - CAFÉ		14 - FERRAMENTAL				21 - FALTA DE ENERGIA				

Observações: _____

Figura 38 – Formulário para Controle da Produção: Usinagem - PAMA

Com esse formulário preenchido em cada turno, foi criada uma planilha em Excel, para transformar esses dados de produção em informações.

Assim, os dados são transcritos do formulário para a planilha eletrônica e através de fórmulas e macros, é possível visualizar, a partir do filtro desejado a Utilização e o percentual de Paradas Operacionais da PAMA por dia. Bem como o tempo exato de cada peça e de cada máquina, operação de *Setup*, Usinagem e Retrabalho.

Este controle facilita a análise e estudo dos tempos de fabricação das peças produzidas na PAMA, de modo a identificar as perdas que ocorrem, principalmente nos tempos de *Setup*, para que essas sejam atacadas em ações corretivas. Vide planilha eletrônica na Figura 39.

CONTROLE DA PRODUÇÃO - LIEBHERR PAMA									
Mês	Máquina	Peça	Fase	Mês	Turno	Máquina	Peça	Fase	Operação
Março	(Tudo)	(Tudo)	(Tudo)	Março	(Tudo)	(Tudo)	(Tudo)	(Tudo)	(Tudo)
Dia	UTILIZAÇÃO			PARADAS OPERACIONAIS			MO	TEMPO TOTAL [horas]	
	Meta	Real	Farol	Meta	Real	Farol			
1	86,0%	85,5%	●	17,7%	13,1%	●	MG9000405		11,17
2	86,0%	80,6%	●	17,7%	19,4%	●	MO0030430		8,07
3	86,0%	83,3%	●	17,7%	16,7%	●	MO0030429		7,75
4	86,0%	87,5%	●	17,7%	12,5%	●	MCC002095		17,50
5	86,0%	88,9%	●	17,7%	11,1%	●	MO0030110		7,00
6	86,0%	72,7%	●	17,7%	21,2%	●	MO0030709		4,00
7	86,0%	84,7%	●	17,7%	15,3%	●	MO0030707		2,50
8	86,0%	87,5%	●	17,7%	12,5%	●	MG8000100		8,00
9	86,0%	79,2%	●	17,7%	20,8%	●	MO1001375		10,33
10	86,0%	63,9%	●	17,7%	5,6%	●	MO0027544		48,42
11	86,0%	73,6%	●	17,7%	13,9%	●	MO0027641		13,67
12	86,0%	81,3%	●	17,7%	16,0%	●	MO0029684		4,67
13	86,0%	87,5%	●	17,7%	11,1%	●	MO0027517		19,58
14	86,0%	74,3%	●	17,7%	25,7%	●	MO0030433		5,17
15	86,0%	83,0%	●	17,7%	17,0%	●	MO0027513		19,50
16	86,0%	86,1%	●	17,7%	13,9%	●	MO0029689		1,50
17	86,0%	84,8%	●	17,7%	15,2%	●	MO1000200		1,42
18	86,0%	84,0%	●	17,7%	16,0%	●	MO0027534		25,17
19	86,0%	83,0%	●	17,7%	15,6%	●	MO0030708		5,50
20	86,0%	86,5%	●	17,7%	13,5%	●	MO0030706		4,17
21	86,0%	82,6%	●	17,7%	17,4%	●	MO1000205		1,50
22	86,0%	73,6%	●	17,7%	22,2%	●	MO0030705		5,67
23	86,0%	82,1%	●	17,7%	17,9%	●	MO1002482		3,00
24	86,0%	86,8%	●	17,7%	13,2%	●	MO0030107		3,67
25	86,0%	73,6%	●	17,7%	26,4%	●	MO0024257		4,67
26	86,0%	79,9%	●	17,7%	20,1%	●	MO1000278		4,25
27	86,0%	74,3%	●	17,7%	25,7%	●	MO1000210		1,42
28	86,0%	84,0%	●	17,7%	11,1%	●	MO0027698		41,00
29	86,0%	81,0%	●	17,7%	13,4%	●	MO0024251		9,50
30	86,0%	100,0%	●	17,7%	0,0%	●	MO0027710		5,33
31	86,0%	100,0%	●	17,7%	0,0%	●	MO0027701		4,08

TOTAL DE PEÇAS PRODUZIDAS	TEMPO [hrs]
54	486,73
	9,01

Figura 39 – Planilha Eletrônica para Controle dos Tempos de Fabricação

3.4 Medidas Tomadas para a Redução dos Tempos de Fabricação

Um trabalho forte visando a redução dos tempos de fabricação na foi a elaboração e padronização dos Programas CNC's da PAMA, dos Processos de Usinagem e da Lista de Ferramentas de cada peça de cada máquina. Por exemplo, as máquinas fabricadas na Liebherr Brasil são: A-924, R-944C, R-954C, R-964C, R-9350, L-538 e L580. E cada uma dessas máquinas possui uma lista de peças que são usinadas na mandriladora CNC PAMA, como por exemplo: Braço da Caçamba, Caçamba, Carro Inferior, Longarinas, Plataforma, Monobloco, Guia de Corrente, Elevação de Cabine, Peça Central, Carro Dianteiro, Carro Traseiro, etc.

Sendo assim, cada uma dessas peças, de cada máquina possui um programa CNC, um processo de usinagem e uma lista de ferramentas que são utilizadas na sua usinagem. Como são inúmeros itens a se trabalhar, foi criada uma planilha para

acompanhamento da execução desse trabalho, chamada “Follow up de Estabilização de Processos”. Nesse cronograma, foi identificado que deveriam ser feitos 25 programas, processos e listas de ferramentas.

E depois de concluídos os programas, processos de listas de ferramentas, seriam ministrados treinamentos com todos os colaboradores da PAMA para integrá-los no trabalho que foi feito e padronizar os processos de usinagem criados e sem seguida seria realizada uma auditoria para verificar tanto se o procedimento atendia plenamente a usinagem de tal peça quanto se o colaborador que foi treinado naquele procedimento estava seguindo-o. Pela planilha “Follow up de Estabilização de Processos” (Figuras 40 e 41) foi possível identificar que seriam realizados 200 treinamentos e 200 auditorias, ou seja, um treinamento e uma auditoria de cada colaborador para cada peça.

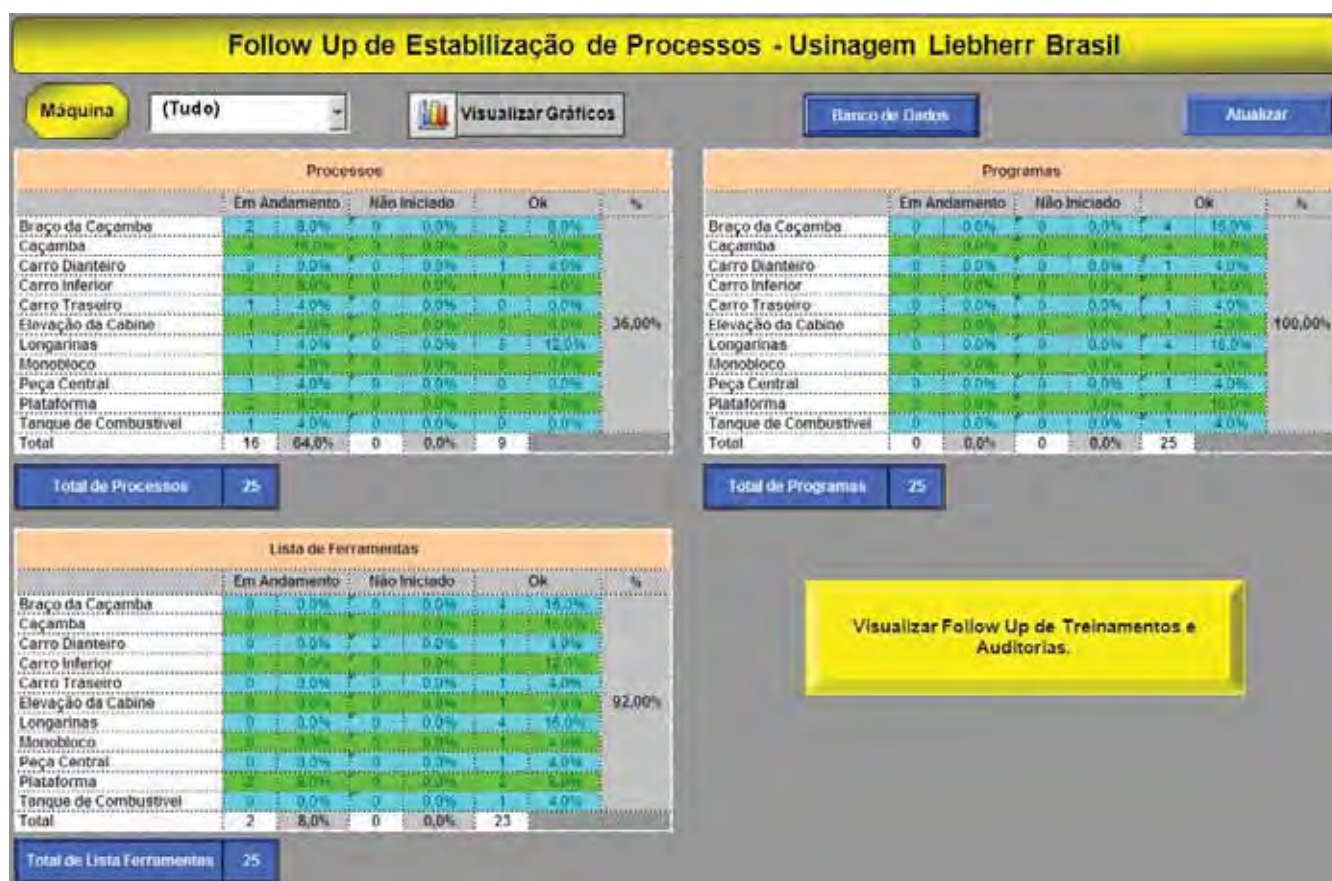
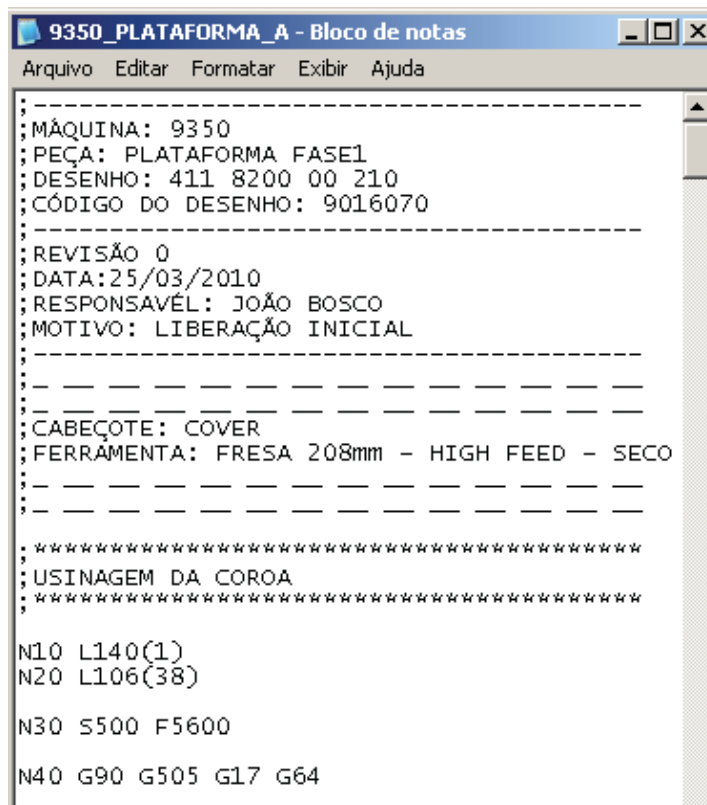


Figura 40 – Follow-up de Estabilização de Processos



Figura 41 – Follow-up de Estabilização de Processos

Foi criado um padrão para o programa CNC, o qual possuía um cabeçalho que indicava o desenho e o código da peça, os quais devem seguir os mesmos valores indicados na ficha de fabricação da peça, obedecendo a suas revisões, a data da última atualização do programa, bem como quem atualizou e o motivo da atualização e o número dessa revisão (Figura 42).



```
; MÁQUINA: 9350
; PEÇA: PLATAFORMA FASE1
; DESENHO: 411 8200 00 210
; CÓDIGO DO DESENHO: 9016070
; REVISÃO 0
; DATA:25/03/2010
; RESPONSÁVEL: JOÃO BOSCO
; MOTIVO: LIBERAÇÃO INICIAL
; -----
; -----
; CABEÇOTE: COVER
; FERRAMENTA: FRESA 208mm - HIGH FEED - SECO
; -----
; -----
; *****
; USINAGEM DA COROA
; *****
; N10 L140(1)
; N20 L106(38)
; N30 S500 F5600
; N40 G90 G505 G17 G64
```

Figura 42 – Exemplo de Cabeçalho de um Programa

O processo de fabricação deve conter, assim como o programa, os dados de cada peça, número de desenho e código que não podem ser diferentes dos contidos na ficha de fabricação da peça e devem conter todas as informações necessárias para o operador da mandriladora e o ajudante de produção realizarem as operações de fixação, centragem e usinagem da peça da forma correta e no menor tempo possível.

Assim sendo, na elaboração do procedimento, eram tiradas todas as medidas dos elementos de fixação utilizados, fotos de cada detalhe e era conversado com cada operador para encontrar a melhor forma de fixar a peça e usiná-la, registrando cada ferramenta utilizada e seus parâmetros de usinagem. Vide Figuras 43 e 44.

LIEBHERR BRASIL	Fixação, Centragem e Usinagem do Braço R 944C.	INSTRUÇÃO
		ITT – 10.39
DATA DA EMISSÃO: 03/06/10		Rev.0

ELABORADO POR	APROVADO POR	DATA
Luan Henrique	Carlos Ribeiro	03/06/10
Descrição das alterações		
Rev.0	Emissão do documento	

1. DESCRIÇÃO:

- BRAÇO R-944.C, 2.10M (PESO 1027.KG)
- DESENHO – B 103 545 0000 00 002
- CÓDIGO – 10358289

2. OBJETIVO:

- Esta instrução consiste em elaborar um trabalho de melhoria constante no processo de usinagem, visando sempre um melhor desempenho e objetivando ainda, redução de custos e horas de fabricação, sendo passível de modificações.

3. SISTEMÁTICA:

- Os braços que forem liberados para usinagem na Mandriladora CNC, deverão seguir este processo de fabricação, conforme segue as instruções abaixo.

4. FIXAÇÃO E CENTRAGEM: (FORA DA MÁQUINA)

- Colocar o braço no centro da mesa de fixação, observando os lugares de fixação dos prisioneiros, centrando a peça pela linha tracejada da caldeiraria. É de extrema importância manter a distância do centro do diâmetro até a mesa, (Y) calçando a peça se for necessário. Alinhar em (X) pela borda da mesa de fixação, dividindo o centro.

Figura 43 – Exemplo de Processo de Usinagem

**RELAÇÃO DOS ACESSÓRIOS UTILIZADOS PARA FIXAÇÃO DO BRAÇO R- 944C
NO DISPOSITIVO (MESA) FORA DA MÁQUINA.**

- 04 macacos com 50 mm (fixação cavalete);
- 04 prisioneiros com 200 mm (fixação cavalete);
- 02 grampos 200 x 75 x 35 (fixação cavalete) com 03 arruelas sob grampo;
- 02 grampos 400 x 70 x 45 (fixação cavalete);
- 01 grampo 800 x 100 x 60 (fixação cavalete);
- 02 calços 140 x 100 x 50 (fixação cavalete) apoio sob grampo de 800 mm;
- 01 macaco com 155 mm (fixação cavalete) inclinado;
- 04 grampos de fixação lateral (aperto lateral);
- 04 grampos 200 x 75 x 35 (aperto lateral);
- 04 prisioneiros 120 mm (aperto lateral);
- 02 prisioneiros 700 mm (aperto meio);
- 01 grampo 800 x 100 x 60 (aperto meio);
- 02 grampos tipo garra (aperto meio) apoio sob grampo de 800 mm;
- 01 prisioneiro 400 mm (mancal);
- 01 grampo 400 x 70 x 45 (mancal);
- 01 macaco com 50 mm (mancal);
- 02 macacos 330 mm Apoio final da peça;
- 02 calços de macaco em V.



Figura 44 – Exemplo de Processo de Usinagem

A Lista de Ferramentas (Figuras 45 e 46) deve conter todos os detalhes das ferramentas utilizadas para cada operação de cada peça a usinar na PAMA. E além de servir de guia para os operadores, ela facilitou o trabalho dos ferramenteiros, pois assim que a programação das peças que seriam usinadas era passada pelo PCP, essa programação é passada para o ferramenteiro que, consultando a lista de ferramentas deixa-as preparadas, nos seus devidos parâmetros, todas as ferramentas da próxima peça a ser usinada.

Esse trabalho facilitou muito o trabalho do ferramenteiro e reduziu consideravelmente o tempo de paradas operacionais para a ferramentaria.

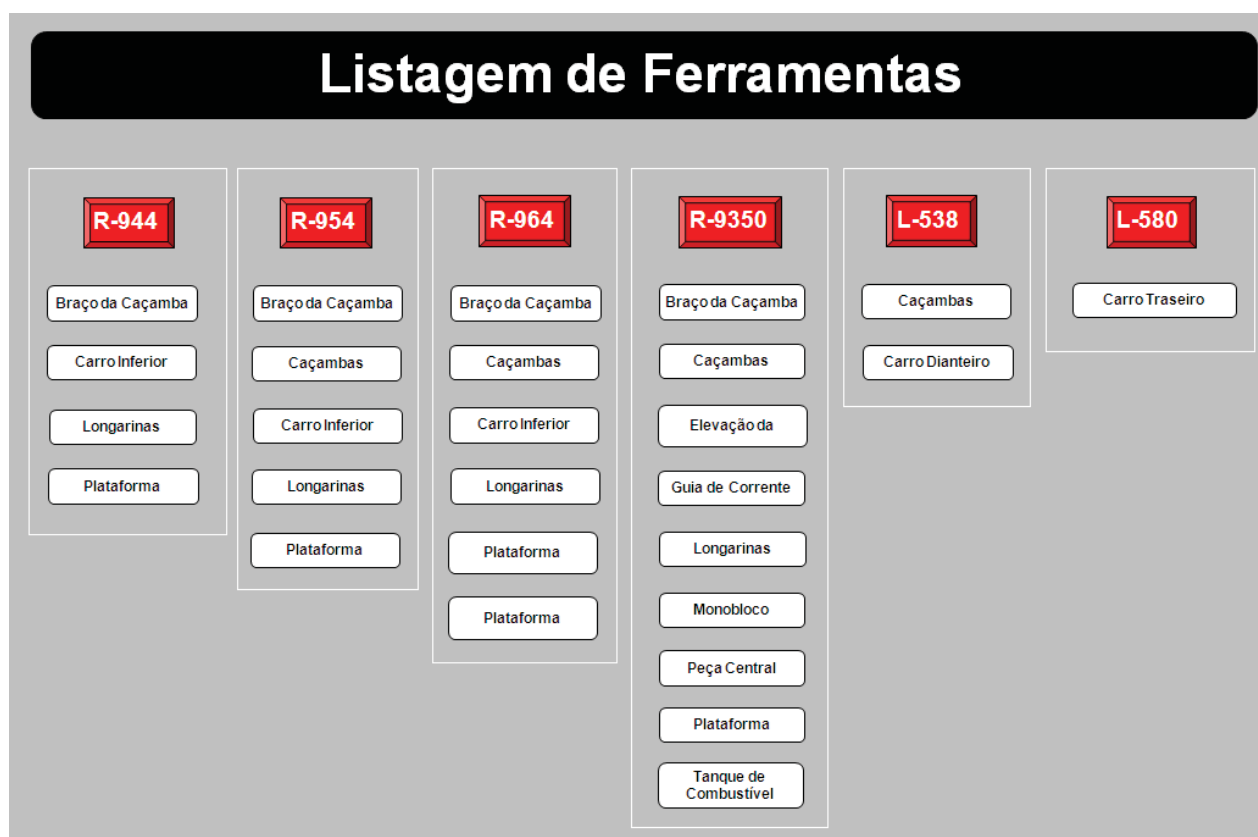


Figura 45 – Lista de Ferramentas

LIEBHERR BRASIL		FOLHA DE PROCESSO - PAMA DADOS DA FERRAMENTA				SETOR - DAA
DATA - 04/05/2010			Nº PROGRAMA - 02		DESENHO - B 791 8000 00 100	
MÁQUINA - R 944C			CARRO INFERIOR		CÓDIGO - 10358351	
Nome	Ferr.	Parâmetros		Cabeçote / Altura (mm)	Descrição das operações	
CARRO INFERIOR		Fresa Ø 200 x 45°	3	S 380 F 1200	L140(4) / 133	Interpolação da coroa
		Fresa Ø 160 x 90°	6	S 400 F 820	L140(4) / 149,15	Interpolação assento do coletor e Ø 198 mm
		Broca Ø 17,5 mm	35	S 1800 F 450	L140(4) / 361,305	Realizar 3 furos no assento do coletor de Ø 17,5 mm

Figura 46 – Lista de Ferramentas

3.5 Procedimento Atual para *Setup*, Centragem e Alinhamento da Plataforma Giratória R-9350

3.5.1 Procedimento para Traçagem

Atualmente, para agilizar o processo de centragem da peça, antes da mesma entrar na máquina para a realização da usinagem, é feita a traçagem da peça, no qual são identificados alguns pontos de referência para auxiliar o operador a obter um correto alinhamento da peça com a máquina. É na traçagem também, que se verificam os desvios de caldeiraria e se ocorrerá uma boa usinagem ou se é necessário que sejam feitos alguns ajustes no programa para se obter as medidas especificadas no desenho.

Para iniciar o processo de traçagem, apóia-se a peça bruta sobre três trilhos de 160 mm, conforme Figuras 47 e 48.



Figura 47 – Peça apoiada em dois trilhos



Figura 48 – Peça apoiada no terceiro trilho

Alinha-se o altímetro de mil milímetros sobre a chapa base de um lado e confere a medida obtida no outro lado da peça, conforme Figuras 49, 50 e 51. Teoricamente a medida que deve indicar no altímetro é de 230 mm (160 mm do trilho mais 70 mm da chapa base).



Figura 49 – Alinhamento do altímetro sobre a chapa base (230 mm)



Figura 50 – Conferindo as medidas no outro lado da Plataforma.



Figura 51 – Conferindo as medidas no outro lado da Plataforma.

Verificam-se todos os batoques e tarugos nas medidas especificadas no desenho para analisar se terão uma boa usinagem e faz a marcação com o altímetro, de acordo com as Figuras 52, 53 e 54:

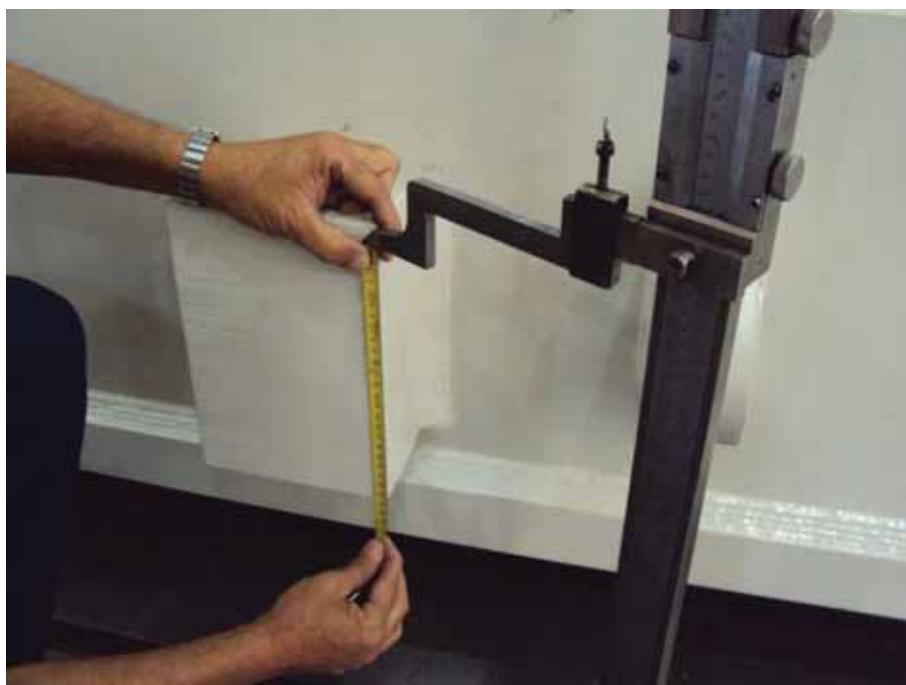


Figura 52 – Verificação da usinagem com o altímetro e a trena

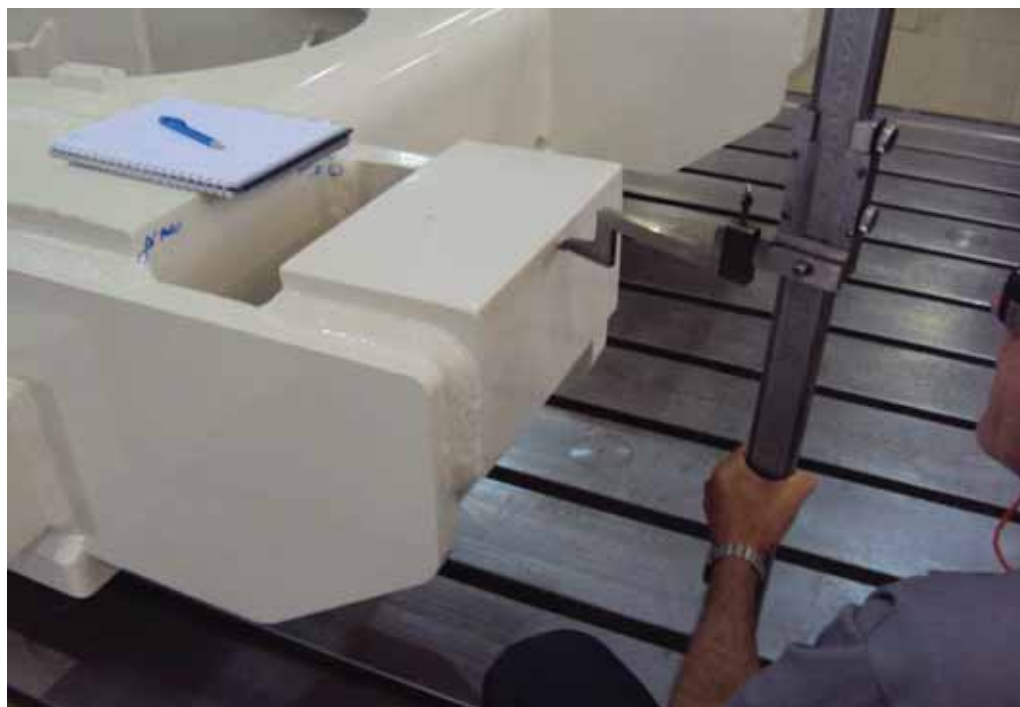


Figura 53 – Traçagem do local onde será realizada a usinagem



Figura 54 – Traçagem do local onde será realizada a usinagem

Realiza-se também a traçagem de pontos de referência no centro da chapa base (35 mm) que auxiliarão na centragem e no alinhamento da peça para identificação e sinalização para a usinagem da Fase A. Esses pontos de referência são também pintados para realçar o traçado e facilitar a visão dos operadores e ajudantes, conforme figuras 55 e 56.

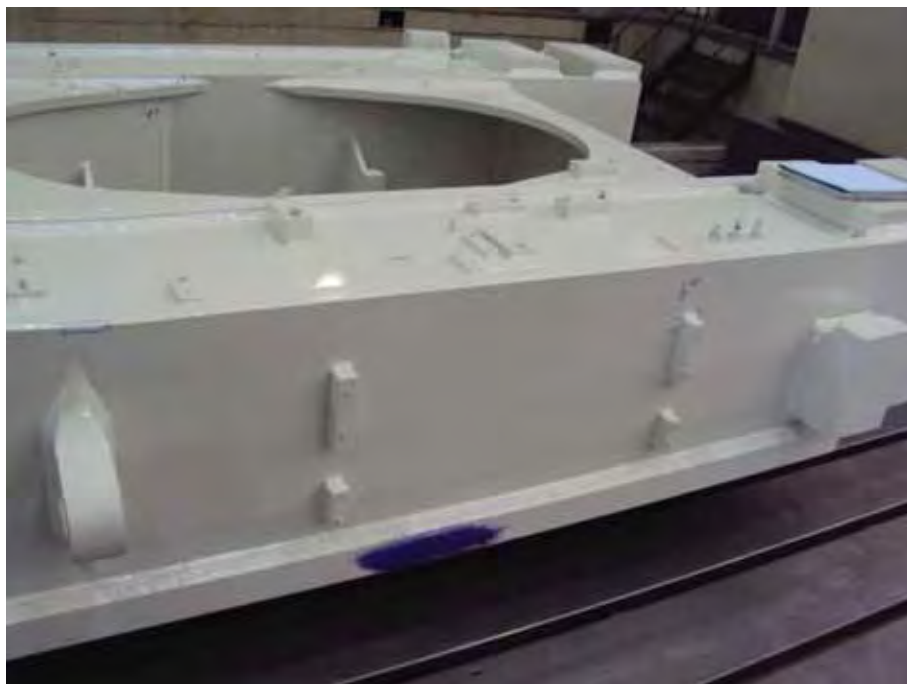


Figura 55 – Identificação e sinalização da traçagem da Plataforma

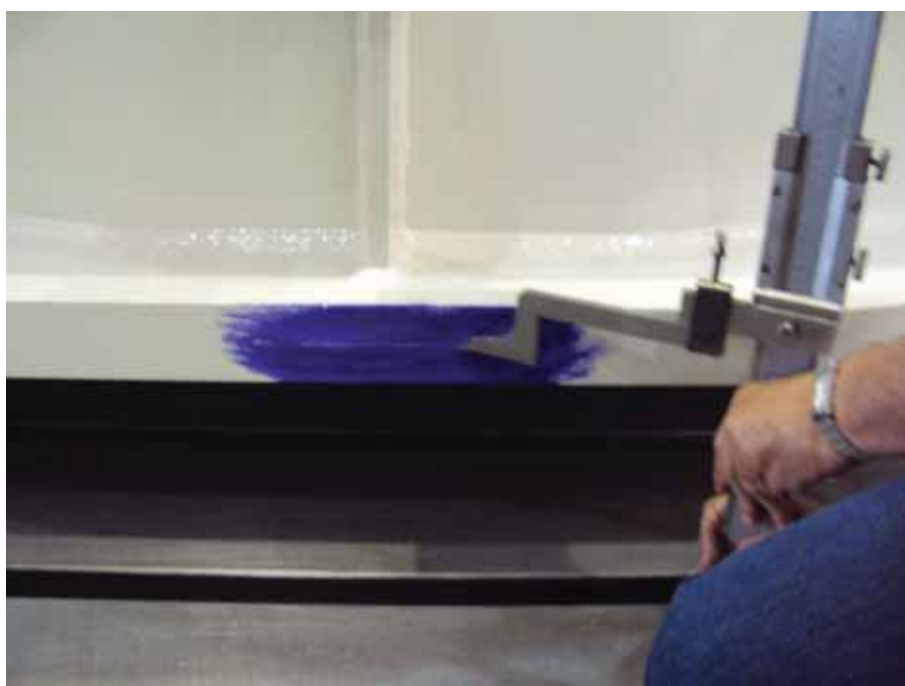


Figura 56 – Identificação e sinalização da traçagem da Plataforma

Utilizando dois suportes, passa-se um barbante na linha de centro imaginária da peça para verificar o alinhamento vindo da caldeiraria e marcar quanto usinar para manter as especificações do desenho e a simetria da peça. O barbante deve ser alinhado à uma marcação feita na peça com um punção. Vide figuras 57, 58, 59 e 60. Caso seja verificada alguma irregularidade na simetria, esta deve ser sinalizada e repassada para o operador para que este faça os acertos no programa de usinagem da peça.



Figura 57 – Alinhamento do barbante na marcação feita na peça com um punção



Figura 58 – Barbante sendo colocado no suporte



Figura 59 – Verificação dos diâmetros em relação à linha de centro da peça.



Figura 60 – Verificação dos diâmetros em relação à linha de centro da peça.

3.5.2 Procedimento para Centragem e Alinhamento da Fase A

Utilizando a traçagem e a sinalização dos quatro pontos feitos como referência nos quatro extremos da peça, e com o auxílio de um trena e da ponta presa na barra da máquina, realiza-se o alinhamento da peça nos eixos X e Z, conforme figuras 61 e 62.



Figura 61 – Verificação dos alinhamentos em X e Z.



Figura 62 – Verificação dos alinhamentos em X e Z.

Para a verificação do alinhamento em Y, utiliza-se um esquadro para estender a marcação feita com o punção e assim com a ponta medir os dois extremos da peça, centrando-a. Zera um lado da peça como sendo a referência e confere no outro extremo. Vide figuras 63, 64, 65 e 66.



Figura 63 – Alinhamento no eixo Y



Figura 64 – Alinhamento no eixo Y

701031 ↓ right optical ray interrupted

Work	Position	Repos offset	Master
X	1500.797 mm	0.000	Act.
Y	0.000 mm	0.000	Set
Z	-57.179 mm	0.000	Pos.
W	-385.350 mm	0.000	
V	1469.510 mm	0.000	Power

G505

Feed
Act.

Figura 65 – Alinhamento no eixo Y



Figura 66 – Alinhamento no eixo Y

Caso o valor encontrado esteja fora do alinhamento, deve-se ajustar os calços conforme figura 67.



Figura 67 – Ajuste no calço para obter alinhamento

3.5.3 Procedimento para Centragem e Alinhamento da Fase B

O programa de usinagem da Fase A da Plataforma Giratória R-9350 já contempla a usinagem de alguns pontos que servem como referência para a centragem e o alinhamento da peça na Fase B. Esses pontos podem ser observados nas Figuras 68 e 69.

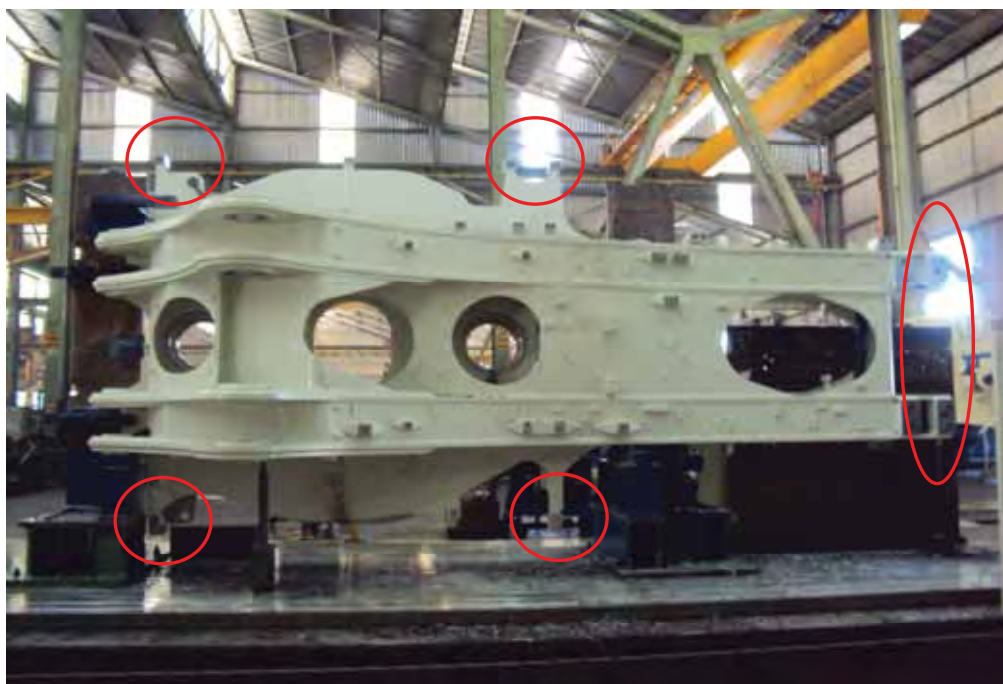


Figura 68 – Pontos de referência para o *setup* da Fase B

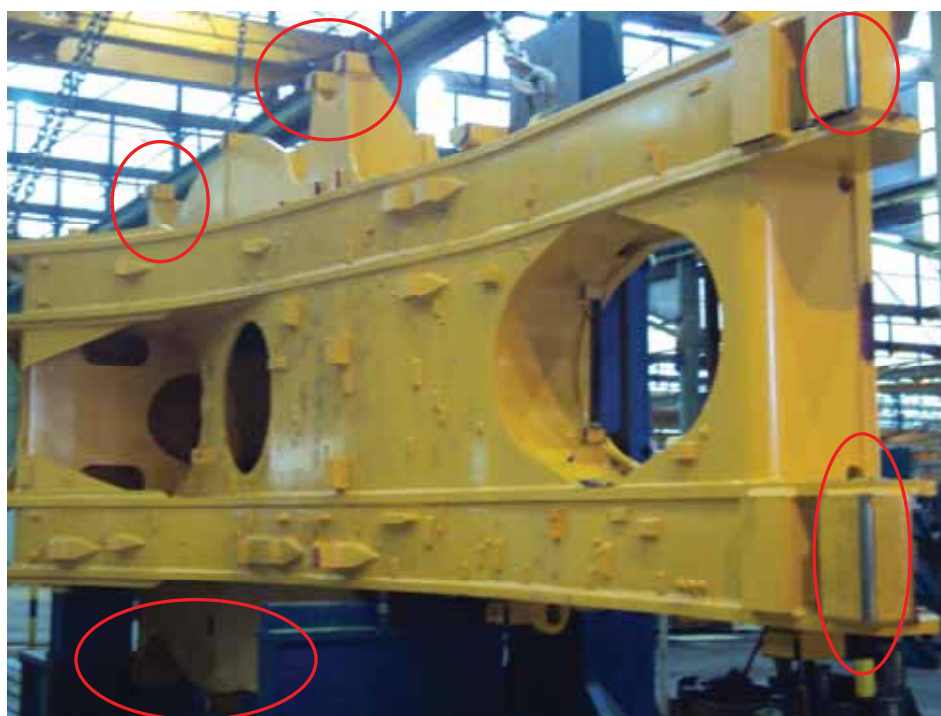


Figura 69 – Pontos de referência para o *setup* da Fase B

Com estes pontos de referência já usinados, movimenta-se a peça em 180° , deixando-a na posição indicada na Figura 68, nesta posição é realizada a usinagem da Fase B.

Para a centragem e o alinhamento da peça nesta posição utiliza-se um relógio comparador, o qual é posicionado em cada ponto de referência citado anteriormente e dessa maneira mede-se o grau de alinhamento da peça nos três eixos, ajustando os calços caso este esteja fora. Vide Figuras 70, 71 e 72.



Figura 70 – Centragem e alinhamento Fase B



Figura 71 – Centragem e alinhamento Fase B



Figura 72 – Centragem e alinhamento Fase B

Para a centragem e alinhamento da usinagem da Fase C, o programa de usinagem da Plataforma Giratória na Fase B também já contempla a usinagem de alguns pontos de referência que auxiliam nesta operação. Conforme Figura 73, são fresados alguns pontos nos locais indicados.



Figura 73 – Pontos fresados para referência na Fase C

3.5.4 Procedimento para Centragem e Alinhamento da Fase C

Terminada a usinagem da Fase B, a peça é tombada e montada conforme Figuras 74 e 75. A peça é apoiada sobre trilhos e calços de 160 mm de altura.

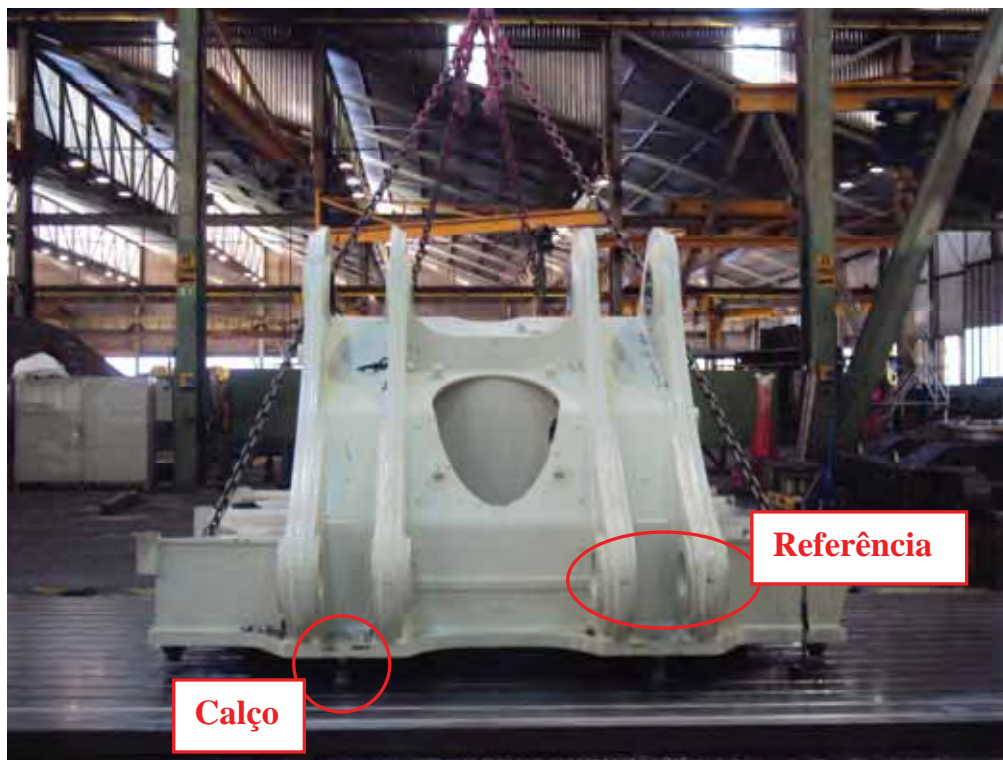


Figura 74 – Montagem da peça para a Fase C



Figura 75 – Montagem da peça para a Fase C

Com o relógio comparador, zera na referência do primeiro diâmetro e passa nos demais para verificar o alinhamento. Ajusta-se os calços para obter uma melhor centragem da peça caso esteja fora, conforme Figuras 76, 77 e 78.



Figura 76 – Alinhamento para usinagem da Fase C

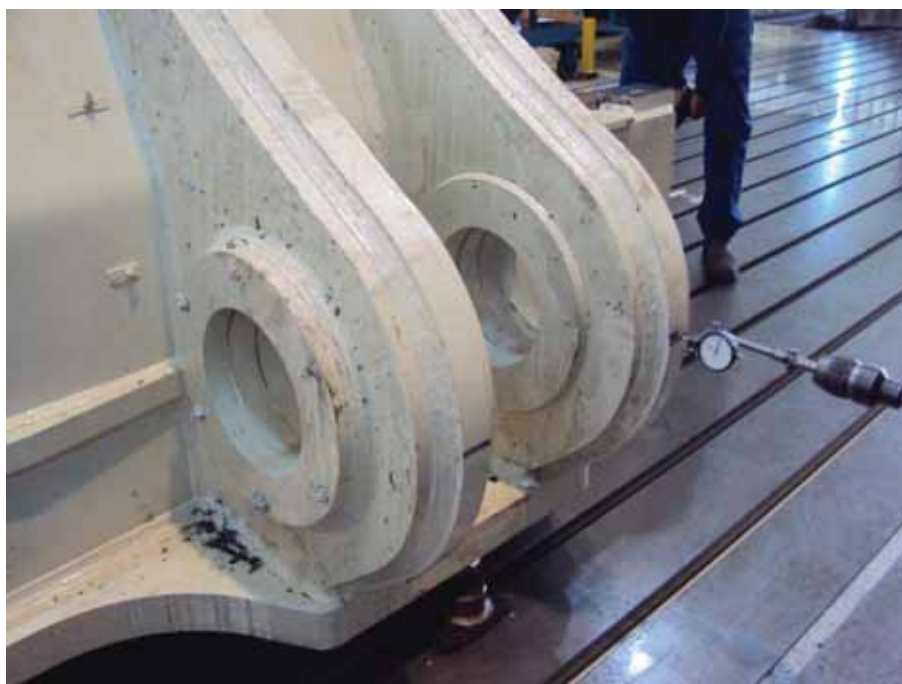


Figura 77 – Alinhamento para usinagem da Fase C



Figura 78 – Alinhamento para usinagem da Fase C

3.6 Etapas de Realização do Projeto

Com o controle de horas e tendo informações confiáveis sobre todo o processo de usinagem na Mandriladora CNC PAMA Speedram 3000, foi possível verificar quais eram os gargalos para então criar planos de ações corretivas e então otimizar esse processo de usinagem. Foi então que surgiu a idéia de desenvolver uma sistemática de *setup*, ou seja, alinhamento e centragem da Plataforma Giratória R-9350 sem a utilização da máquina CNC para a realização dessa operação. A Figura 79 ilustra melhor essa idéia.

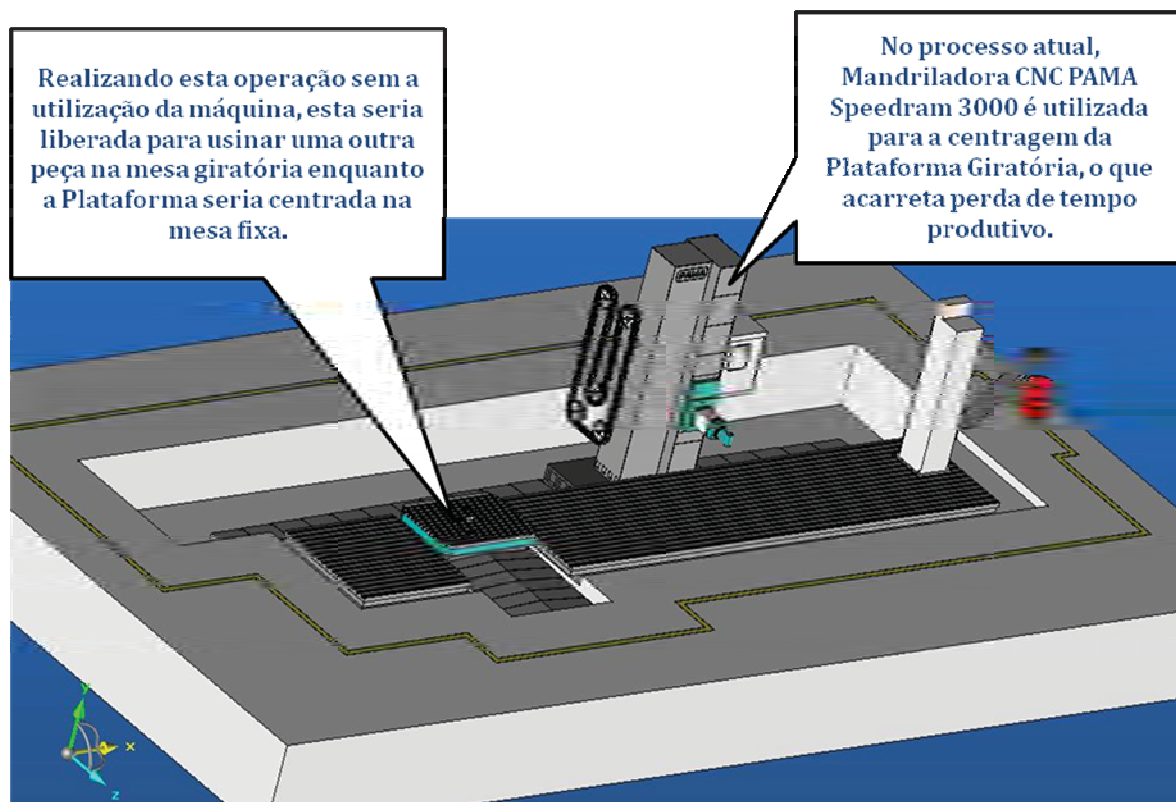


Figura 79 – Idéia do projeto

Começou-se então uma intensa pesquisa sobre qual a metodologia que poderia ser adaptada para essa aplicação de alinhamento de peças em máquinas de usinagem. Foi encontrado um trabalho sobre a “Utilização de Máquina Opto-eletrônicas portáteis de longo alcance para a medição tridimensional no ambiente fabril”, o qual descrevia alguns aparelhos como Teodolito, Estação Total, Nível Óptico, *Laser tracker* e Fotogrametria Digital, bem como algumas de suas aplicações na indústria.

Surgiu então, a idéia de se utilizar um teodolito, pois com este instrumento é possível medir ângulos em posições verticais e horizontais e assim definir no espaço as posições X, Y e Z de um alvo. Mas logo pode-se verificar que o teodolito mais preciso ainda não atendia para a aplicação desejada na Liebherr Brasil.

Passou-se então para a análise das Estações Totais, que possuem o mesmo princípio dos teodolitos, porém são mais precisos e ainda possuem um custo relativamente baixo e facilmente justificável para tal aplicação. Entrou-se em contato com diversos fornecedores com o intuito de conhecer melhor o aparelho e verificar se este podia ser aplicado à finalidade desejada.

Vários fornecedores apresentaram seus aparelhos, mostrando seus produtos com as respectivas especificações e seu funcionamento, porém mais uma vez a precisão do aparelho não foi suficiente para a aplicação de centragem e alinhamento de peças em usinagem, já que estas devem ser na ordem dos centésimos de milímetros.

Porém, um dos fornecedores possui uma divisão que trabalha com aparelhos *Laser tracker* e disse já ter analisado uma aplicação parecida e que este aparelho possui a precisão necessária para tal finalidade.

Sendo assim o especialista nesta divisão foi contatado e visitou a empresa. Na visita foi explicado todo o processo de usinagem da Liebherr Brasil, a dificuldade encontrada hoje, o projeto que estava sendo desenvolvido e qual a expectativa com relação ao aparelho que estava sendo apresentado. Realmente, com relação à precisão, o *Laser tracker* apresentado atende perfeitamente, pois possui precisão da ordem de um micrômetro.

Prosseguiu-se então ao teste para validar tecnicamente o aparelho na aplicação de centragem de peças para usinagem CNC e verificou-se este requisito também foi atendido, porque no teste foi possível a realização do *setup* de uma peça enquanto a mandriladora permanecia trabalhando em outra mesa. Porém, comparado a um teodolito ou uma estação total, o valor de um *Laser tracker* é muito superior. Sendo assim, foi decidido avaliar outros aparelhos de outros fornecedores, bem como outras formas de realização da logística de entrega do aparelho, pois sendo este importado, foi estudado a própria Liebherr Brasil importar diretamente o aparelho sem a participação do representante brasileiro e dessa maneira já foi possível a redução do custo e do *pay back* que será apresentado no decorrer deste trabalho.

Como citado, os testes e validação dos aparelhos *Laser tracker* foram feitos com três fornecedores distintos e tecnicamente todos atenderam a esta finalidade, ficando apenas a questão do custo a decidir, como será mostrado no item 4.1 – Custo Benefício e Análise de Viabilidade.

3.7 Novo Procedimento de *Setup* com a Utilização do *Laser tracker*

Devido à indisponibilidade da peça em estudo, Plataforma Giratória R-9350, na programação da máquina nos dias disponibilizados pelo fornecedor do aparelho para a realização dos testes do novo procedimento, estes foram realizados com a Plataforma Giratória R-944, disponível na máquina nestes dias, vide Figura 80:

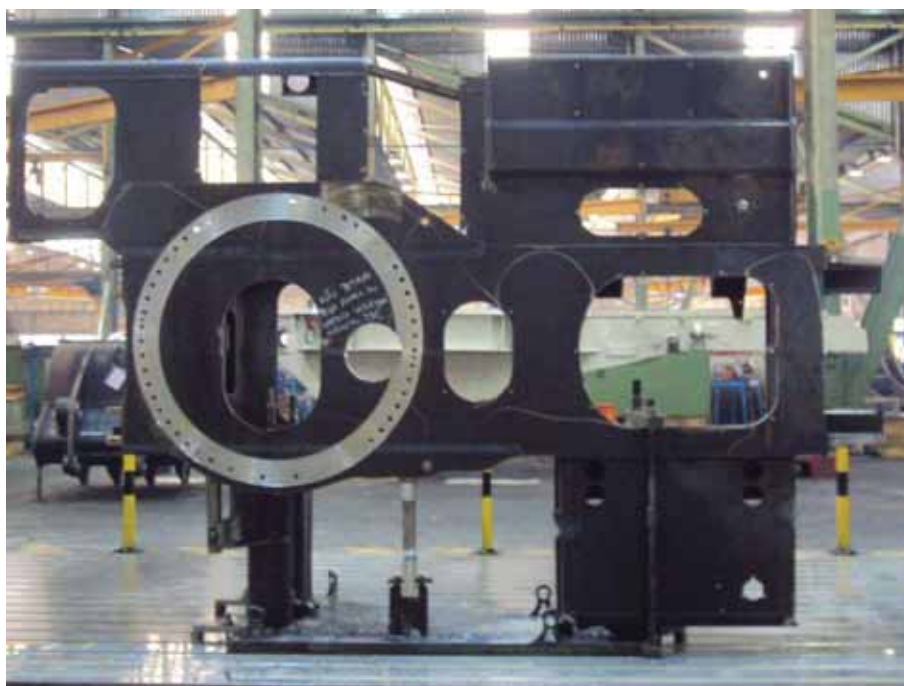


Figura 80 – Plataforma Giratória R-944

Foi montada a aparelhagem para a realização dos testes. O aparelho *Laser tracker* AT401 (Figura 81), este não necessita alimentação pois possui uma bateria que permite sua utilização por aproximadamente 8 horas e um notebook com o software utilizado *Poliworks PWIP* (Figura 82).



Figura 81 – Aparelho *Laser tracker* montado em seu tripé.



Figura 82 – Notebook com o Software *Poliworks PWIP*

Após inicializado o aparelho e o software, foi iniciado o teste, no qual utilizou-se uma esfera refletora para captar o laser, sendo que esta foi posicionada na peça que se deseja medir por um ímã (Figura 83).



Figura 83 – Esfera refletora e ímã para captação do laser

Primeiramente, foram medidos quatro pontos no cabeçote da máquina (Figuras 84 e 85), com a intenção de se criar um plano a partir desses pontos, com o auxílio do software e medindo outros quatro pontos na peça, verificar o alinhamento da Plataforma Giratória R-944 com esse plano.



Figura 84 – Medição de um ponto no cabeçote da máquina



Figura 85 – Medição de um ponto no cabeçote da máquina

Criado o plano no cabeçote da Mandriladora PAMA Speedram 3000, a coroa Plataforma Giratória R-944, foi dividida em quatro pontos, nos quais foram feitas as medidas para se verificar o alinhamento, conforme Figuras 86, 87, 88, 89, 90 e 91.

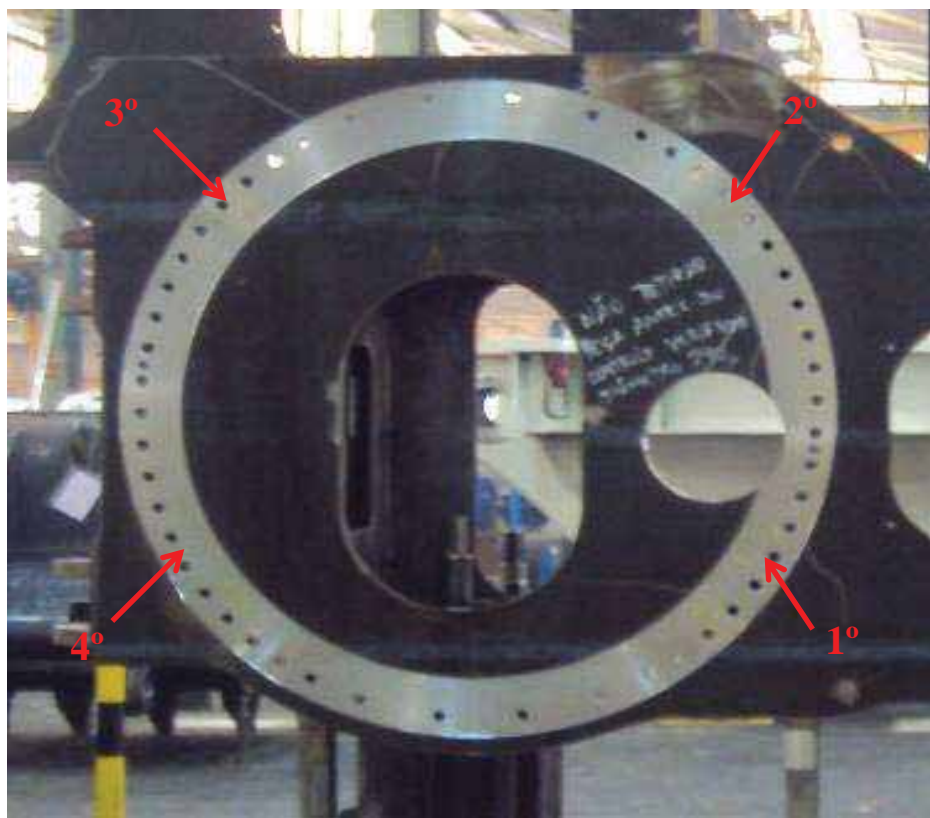


Figura 86 – Divisão dos pontos de medição



Figura 87 – Medição de um dos 4 pontos na coroa da peça

Para facilitar as medições e não ser necessário realizar uma por uma e captar pelo software, o aparelho possui um controle remoto que possibilita que as medições sejam feitas todas em seguida, apenas posicionando a esfera no ponto desejado e dando o comando com o controle remoto e somente terminado todos os pontos que se deseja, esses são consolidados no software.



Figura 88 – Medição do primeiro ponto



Figura 89 – Medição do segundo ponto



Figura 90 – Medição do terceiro ponto



Figura 91 – Medição do quarto ponto

Com as medidas dos quatro pontos, no software foi possível criar um plano na peça e verificar o paralelismo deste com o plano no cabeçote da peça, e assim realizar ajustes para obter o perfeito alinhamento da Plataforma Giratória R-944 com a Mandriladora CNC PAMA Speedram 3000, objetivo principal deste trabalho.

Para verificar os valores obtidos pelo aparelho *Laser tracker*, foi tomado o segundo ponto como sendo a referência, ou seja, o “ponto zero”, e calculada a diferença deste para os demais pontos, obtendo os seguintes valores.

- Primeiro Ponto: - 0,379 mm;
- Terceiro Ponto: - 0,716 mm;
- Quarto Ponto: - 1,103 mm.

Posicionando o relógio comparador nos pontos medidos, foi possível verificar com a máquina os valores obtidos pelo *Laser tracker*. (Figura 92).



Figura 92 – Verificação da medição com o relógio comparador

As Figuras 93, 94 e 95 mostram os valores obtidos pela máquina, para o primeiro, terceiro e quarto ponto respectivamente. Sendo que os resultados apresentados estiveram muito próximos dos que foram verificados pelo *Laser tracker*, e a maior diferença obtida entre eles foi de **0,086 mm** para o terceiro ponto.

701031 ↓ right optical ray interrupted

Work	Position	Repos offset
X	-13958.697 mm	0.000
Y	692.111 mm	0.000
Z	-0.410 mm	0.000
W	-124.380 mm	0.000
V	-500.000 mm	0.000

G56

Figura 93 – Verificação do primeiro ponto

701031 ↓ right optical ray interrupted

Work	Position	Repos offset
X	-15015.489 mm	0.000
Y	1461.163 mm	0.000
Z	-0.630 mm	0.000
W	-124.380 mm	0.000
V	-500.000 mm	0.000

G56

Figura 94 – Verificação do terceiro ponto

701030 ↓ left optical ray interrupted

Work	Position	Repos offset
X	-15126.489 mm	0.000
Y	714.191 mm	0.000
Z	-1.050 mm	0.000
W	-124.380 mm	0.000
V	-500.000 mm	0.000

G56

Figura 95 – Verificação do quarto ponto

4. RESULTADOS E COMENTÁRIOS

A conclusão tirada do teste é que tecnicamente o aparelho *Laser tracker* atende perfeitamente para esta aplicação desejada na Mandriladora CNC PAMA Speedram 3000, na Liebherr Brasil GMO Ltda que é a centragem e alinhamento das peças na máquina, principalmente a Plataforma Giratória R-9350, que é a mais crítica em termos de *setup* hoje.

Verificou-se que a expectativa de manter a máquina trabalhando enquanto é realizada a centragem e alinhamento de outra peça em outra mesa da máquina foi atendida, conforme Figura 95.



Figura 96 – Máquina trabalhando enquanto o *laser tracker* realiza o *setup*

Em termos de precisão, com a utilização do *laser tracker*, a operação de *setup* de peças pode ser realizada com muito mais precisão, pois a sua precisão é de 0,03 milímetros, já no processo atual, a Fase A é feita somente com a trena, que possui precisão de 1 milímetro, já as Fases B e C, nas quais se utiliza o relógio comparador, a precisão é de 0,1 milímetros.

Como foi provada a possibilidade de realização simultânea do *setup* com o *laser tracker* e usinagem de outra peça com a PAMA, fica comprovada a expectativa de aumento da disponibilidade e utilização da máquina, pois reduz o tempo improdutivo de parada para que a mandriladora realize o *setup*.

Com o aumento da disponibilidade, por consequência, o tempo total de operação também é otimizado e os custos de fabricação das peças é reduzido com a utilização do aparelho de medição tridimensional *Laser tracker*. Sendo assim, os objetivos propostos com a sua utilização foram todos atendidos.

4.1 Cálculo de Custo-Benefício e Análise de Viabilidade

Para o cálculo de custo-benefício do aparelho *laser tracker* e análise do seu *pay-back*, tempo de retorno financeiro, foram considerados os seguintes valores:

- Custo do aparelho: R\$ 280.000,00
- Custo por hora da máquina: R\$ 450,00
- Custo geometria Pama I: €20.000,00
- Custo geometria Pama II: €14.000,00

O custo com geometria foi incluído de modo a reduzir o tempo de retorno do aparelho. A geometria da máquina é uma operação que deve ser realizada anualmente, sendo que é nesta operação que é feita a aferição dos eixos da máquina, garantindo a sua precisão especificada na fabricação, a qual com a utilização ocorre um desgaste, por isso essa operação de verificação dos eixos é de extrema importância. Essa geometria é realizada com um laser interferômetro, por isso a inclusão no cálculo do *laser tracker*.

Foram também consideradas outras peças críticas além da Plataforma Giratória R-9350, peças nas quais foram identificadas a possibilidade de utilização do aparelho com um retorno positivo.

Na Figura 97 é possível visualizar o cálculo em detalhe.

Cálculo de Custo-Benefício da Nova Sistemática de Centragem e Alinhamento da Plataforma Giratória R-9350

Custo = R\$ 280.000,00

Custo Máquina = R\$ 450,00 /hora

Geometria = 20.000 Euros

PAMA 1

Geometria = 14.000 Euros

PAMA 2

Máquina	Peça	Tempo de Setup [hrs]	Tempo a reduzir [hrs]	Nº Pçs./ano	Total Horas	Custo
R-9350	Plataforma	8	6	23	138	R\$ 62.100,00
R-9350	Monobloco	5	3,5	23	80,5	R\$ 36.225,00
R-9350	Longarina	1	0,5	46	23	R\$ 10.350,00
R-9350	Braço	2	1	23	23	R\$ 10.350,00

Total	R\$ 119.025,00
--------------	-----------------------

Coefficiente de 15% para inclusão de outras peças	R\$ 136.878,75
--	-----------------------

+ Geometria PAMA 1	R\$ 186.878,75
---------------------------	-----------------------

+ Geometria PAMA 2	R\$ 221.878,75
---------------------------	-----------------------

Tempo de Pay-back [anos]
1,26

Figura 97 – Cálculo de custo-benefício do aparelho *laser tracker*

Portanto, verificou-se que o retorno financeiro com o investimento no aparelho de medição tridimensional *Laser tracker* é de 1,26 anos, nas condições descritas na Figura 97.

De modo a viabilizar e justificar o investimento no aparelho *Laser tracker*, foram listadas algumas outras aplicações para este na fábrica da Liebherr Brasil em Guaratinguetá:

- Conferência de concentricidade em caso de dúvida, não havendo a necessidade de montagem de buchas, confecção de pinos ou colocar a peça na máquina novamente;
- Conferência de coordenadas de máquina;
- Possibilidade de utilização na caldeiraria para traçagem de peças;
- Atendimento da área de guindastes (assentamento de coroa);
- Atendimento de clientes em campo, devido a portabilidade do aparelho;
- Desenvolvimento de gabaritos e dispositivos para caldeiraria e usinagem;

- Inspeção e controle dimensional das peças devido a sua margem de erro estar dentro dos padrões LBR (medidas impostas no projeto).
- Utilização na montagem final;
- Verificação de peças de fornecedores externos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado objetivava fornecer dados e informações para a utilização do instrumento *Laser tracker* na realização da centragem e alinhamento da Plataforma Giratória R-9350 na Mandriladora CNC PAMA Speedram 3000, apresentar a proposta de modificação do processo atual que utiliza a máquina para a realização dessa operação de *setup* para o processo utilizando esse aparelho de medição tridimensional. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se verificar que os objetivos propostos inicialmente foram atingidos.

Os objetivos específicos para o desenvolvimento técnico foram cumpridos. Com a realização desse trabalho, foi possível executar diversos testes com o aparelho *Laser tracker*, de modo a obter um *setup* otimizado em que a Mandriladora Pama executava operações de usinagem simultaneamente aos alinhamentos feitos com o instrumento. Dessa forma, foi apresentada a nova sistemática de centragem da Plataforma Giratória R-9350, na qual o tempo improdutivo foi reduzido consideravelmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, B. F. (2008). **Análise de regressão e simulação na avaliação de tempos e custos em processos de usinagem pesada**. Dissertação (Mestrado em Ciência em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008

ALMEIDA, D. A. (2003). **Gerência da Produção**. Apostila, curso de especialização em qualidade e produtividade, programa de pós-graduação em engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, pp

BATISTA, E. A.; COPPINI N. L. (2002). **Sistema especialista para otimizar processos de usinagem e aumentar os lucros**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Enegep), Curitiba, pp

BOEHS, L.; BORTOLOTO, M. A.; GONÇALVES, M.A. (2002). **Gerenciamento de ferramentas de corte na teoria e na prática**. 2º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (Conem), João Pessoa, pp

CATÁLOGO Leica, **3D Laser tracker**, Ref. U1 206e V.93, 1993. 8p

CATÁLOGO Leica, **Características Técnicas do Laser tracker**. (2006). 4p

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. (1999). **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: Editora M. M.

FERRARESI, D. (1997). **Fundamentos de Usinagem dos Metais**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, pp

FONSECA, E. C.; FERREIRA, J. R. (2006). **Avaliação dos Tempos Improdutivos na Usinagem Pesada**. Artigo apresentado como palestra técnica no congresso Usinagem 2006 em São Paulo. [S.n.], pp

GREENWOOD, T. A. (1993). **Rapid Contour Measurement of Composite Structures Utilizing a 3D Tracking Interferometer**. MR&D Optics Engineer, Boeing Commercial Airplane Group, Seattle, Washington. Practice Report, Leica, 8p

GUADAGNIM, J. L. (2008). **Análise dos indicadores de desempenho fabril no setor de usinagem pesada em empresa de produção sob encomenda**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008

HORCH, G. et al. (1993). **A mobile metrology unit for universal application**. Practice Report Leica, Audi Neckarsulm Germany, 8p

MUNCH, K. H.; BAERTLEIN, H. (1994). **Dimensional Measuring Techniques in the Automotive Aircraft Industry**. Practice Report Leica, Leica AG CH-5035 Unterentfelden, Switzerland, 8p

NOVASKI, O. (1991). **Custo de Usinagem**. Campinas: Ed. UNICAMP, pp
SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. (2002). **Administração da Produção**. São Paulo: Ed. Atlas, 2ª ed.

RIBEIRO, M. V. (2008). Apostila, Máquina-Ferramentas. Tecnologia da Usinagem, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2008

STONE, J. A. et al. (1999). **Sources of Error In Absolute Distance Interferometry**. National Institute of Standards and Technology MD. Tese apresentada no Simpósio Internacional sobre Metrologia a Laser, Universidade Federal de Santa Catarina.

TURINO, E. C.; POSSOMAI, O. (2001). **Modelo para Gerenciamento de Estoques de Ferramentas de Corte**. Abepro, Santa Catarina, PP

VIEIRA, P. R. (2003). **A utilização de máquina opto-eletrônicas portáteis de longo alcance para medição tridimensional como fator de otimização fabril**. Dissertação (Pós-graduação em Administração de Empresas para Engenheiros). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

COSTA, S. C.; BARCA, L. F. (2002). **Qualificação de sistemas de fabricação: o uso de sistemas laser em ensaios de sistemas industriais**. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2002

PAMA Journal. **Jornal mensal do fabricante Pama**.

PAMA, **Maintenance Manual**. Machining Center: Speedram 3000 + TH65. Italy, 2006

PAMA, **Operator Manual**. Machining Center: Speedram 3000 + TH65. Italy, 2006

REVISTA O MUNDO DA USINAGEM. São Paulo: Sandvik Coromant do Brasil