

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PATO BRANCO
CURSO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

**ALEX ANTONIO SZYMON
FÁBIO PIETA**

**BANCADA DIDÁTICA DE ALINHAMENTO DE MÁQUINAS
ROTATIVAS**

**PATO BRANCO
2011**

**ALEX ANTONIO SZYMON
FÁBIO PIETA**

**BANCADA DIDÁTICA DE ALINHAMENTO DE MÁQUINAS
ROTATIVAS**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Manutenção Industrial, do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Pato Branco.
Orientador: Prof. Dr.Eng. Gilson Adamczuk Oliveira

**PATO BRANCO
2011**

TERMO DE APROVAÇÃO

ALEX ANTONIO SZYMON

FÁBIO PIETA

BANCADA DIDÁTICA DE ALINHAMENTO DE MÁQUINAS

ROTATIVAS

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Manutenção Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Pato Branco, pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. DEng. Gilson Adamczuk Oliveira
Orientador

Prof. DEng. Paulo Rogério Novak
Primeiro Membro

Prof. Dr. M. Eng. Robson Gonçalves Trentin
Segundo Membro

**A Ata da Defesa
está disponível
na Coordenação
do Curso**

Pato Branco, 22 de Junho de 2011.

Dedicamos este trabalho, em especial aos nossos familiares e a todos os que de uma maneira ou outra contribuíram para mais esta conquista em nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

Aos nossos pais, pela oportunidade de existir.

Aos familiares e amigos pela confiança e dedicação.

Ao Professor Orientador Gilson Adamczuk Oliveira pelo apoio a este trabalho.

A todos os professores que de alguma forma nos auxiliaram no árduo processo de aprendizagem.

Aos colegas de curso, pelo companheirismo.

*“Uma pessoa inteligente resolve um problema,
Um sábio o previne”*

(Albert Einstein)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa	11
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo Geral	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Desalinhamento	13
2.1.1 Tipos de Desalinhamentos	13
2.1.2 Efeitos do Desalinhamento.....	14
2.2 Diagnóstico do Desalinhamento.....	17
2.2.1 Análise de Vibrações.....	18
2.2.2 Análise de Óleo	18
2.2.3 Termografia	19
2.3 Alinhadores de Eixos.....	19
2.3.1 Régua e Calibrador de Folga	19
2.3.2 Relógio Comparador	20
2.3.3 Alinhamento a <i>Laser</i>	21
3. METODOLOGIA.....	23
3.1 Materiais.....	23
3.2 Alinhador a Laser EASY-LASER D450	24
3.2.1 Método Prático de Utilização do Alinhador a <i>Laser</i> EASY-LASER D450	25
3.3 Coletor de Dados CSI 2117.....	31
3.3.1 O <i>Software Starter Trend</i>	32
4 BANCADA DE ALINHAMENTO DE EIXOS	34
4.1 Descrição	34
4.2 Exemplo de Aplicação	36
4.3 Considerações Finais.....	45
5 CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS.....	47
ANEXOS	49
ANEXO I: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ALINHADOR A <i>LASER</i>	50
ANEXO II: COMPONENTES DO ALINHADOR A <i>LASER</i> EASY-LASER D450.....	51
ANEXO III: LAYOUT DE PEÇAS DA BANCADA DE ALINHAMENTO	52
ANEXO IV: PROGRAMA UTILIZADO PARA USINAGEM DAS PEÇAS.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Despesas com a compra de material.....	23
Tabela 2 - Tolerâncias fixadas do alinhador a <i>laser</i>	30
Tabela 3 - Valores definidos para a análise das condições criadas.....	37
Tabela 4 - Tolerâncias para alinhamento de eixos.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desalinhamento paralelo.....	13
Figura 2 – Desalinhamento angular	14
Figura 3 – Desalinhamento misto.....	14
Figura 4 – Forças de reação nos mancais	15
Figura 5 – Consumo de energia para acoplamento de elastômero.....	15
Figura 6 – Consumo de energia para acoplamento de elastômero.....	16
Figura 7 – Termografia mostrando o aumento da temperatura devido ao desalinhamento	16
Figura 8 – Acoplamento danificado por desalinhamento.....	17
Figura 9 – Mancal danificado por desalinhamento	17
Figura 10 - Alinhamento com régua e calibrador de folga.....	20
Figura 11 - Perfil de um relógio comparador	21
Figura 12 - Alinhador a Laser durante processo de alinhamento.....	22
Figura 13 - Alinhador a Laser EASY-LASER D450.....	24
Figura 14 - Instalação do Alinhador a Laser.....	25
Figura 15 - Opções de Menu do Alinhador.....	26
Figura 16 - Distância entre as Unidades de Medição “S-M”.....	26
Figura 17 - Distância entre o meio do acoplamento até a Unidade de Medição “S”..	26
Figura 18 - Distância do primeiro "pé" do acionador até a Unidade de Medição "S".	27
Figura 19 - Distância do segundo "pé" do acionador até a Unidade de Medição "S"	27
Figura 20 - "12 horas" Posição na qual deverá ficar as Unidades de Medição "S-M" para a opção Softfoot.....	28
Figura 21 - Imagem ilustrando os valores medidos para cada "pé" do acionador.....	28
Figura 22 - Posição nas quais deve-se girar o eixo com as Unidades de Medição "S-M".....	29
Figura 23 - Ilustração do acionador na posição vertical e horizontal.....	29
Figura 24 - Ilustração da tela de tolerância	30
Figura 25 - Símbolos do acoplamento preenchido indicando que os valores de alinhamento estão dentro das tolerâncias pré-definidas	31
Figura 26 - Coletor de dados CSI2117	32
Figura 27 - Processo de furação da base	34
Figura 28 - Perfil da bancada após a montagem.....	35
Figura 29 - Ilustração de como simular desalinhamentos ou alinhar a bancada.....	35
Figura 30 - Identificação dos pontos de coleta de dados	36
Figura 31 - Ponto 3 horizontal alinhado (DP < 0,035 mm e DA < 0,035/100 mm)	38
Figura 32 - Ponto 3 horizontal desalinhado DP/alinhado DA (DP = 0,1 – 0,15mm / DA < 0,035/100 mm)	38
Figura 33 - Ponto 3 horizontal alinhado DP/desalinhado DA (DP<0,035mm / DA=0,08 - 0,1/100mm).....	39
Figura 34 - Ponto 3 horizontal desalinhado DC (DP = 0,1 - 0,5mm / DA = 0,08 - 0,1/100mm).....	39
Figura 35 - Ponto 3 vertical alinhado (DP < 0,035 mm e DA < 0,035/100 mm).....	40
Figura 36 - Ponto 3 vertical desalinhado DP/alinhado DA (DP=0,1–0,15mm /DA < 0,035/100 mm)	40
Figura 37 - Ponto 3 vertical alinhado DP/desalinhado DA (DP<0,035mm / DA=0,08 - 0,1/100mm).....	41

Figura 38 - Ponto 3 vertical desalinhado DC (DP = 0,1 - 0,5 / DA = 0,08 - 0,1/100mm)	41
Figura 39 - Ponto 3 axial alinhado (DP < 0,035 mm e DA < 0,035/100 mm)	42
Figura 40 - Ponto 3 axial desalinhado DP/alinhado DA (DP=0,1–0,15mm /DA < 0,035/100 mm)	42
Figura 41 - Ponto 3 axial alinhado DP/desalinhado DA (DP<0,035mm / DA=0,08 - 0,1/100mm)	43
Figura 42 - Ponto 3 axial desalinhado DC (DP = 0,1 - 0,5 / DA = 0,08 - 0,1/100mm)	43
Figura 43 - Multiespectro das medidas horizontais no ponto 3	44
Figura 44 - Multiespectro das medidas verticais no ponto 3	44
Figura 45 - Multiespectros das medidas axiais no ponto 3	45

RESUMO

O trabalho em questão tem por objetivo desenvolver uma bancada didática para alinhamento de dois semi-eixos de máquina rotativa. Esta bancada possui regulagens móveis fixadas ao componente acionador, permitindo a movimentação no sentido horizontal, possibilitando dessa forma simular desalinhamento paralelo e angular. Para validar o experimento, com o uso de um alinhador a *laser* foram executados ensaios práticos de alinhamento e desalinhamento e análise espectral de frequência das vibrações resultantes desses ensaios. Posteriormente os resultados dos ensaios práticos foram confrontados com os dados da literatura técnica, confirmando a eficiência da bancada. Este projeto tem o intuito de proporcionar ao acadêmico, um maior preparo para o campo de trabalho e um melhor aprendizado técnico na solução de desalinhamento de semi-eixos, que é um dos maiores problemas em máquinas rotativas.

Palavras chave: bancada didática, máquinas rotativas, alinhador a *laser*, desalinhamento, análise de vibrações.

1 INTRODUÇÃO

Na indústria, a utilização de máquinas rotativas é muito grande e estas devem estar com o mínimo de desalinhamento possível, pois este pode gerar problemas com vibrações, desgaste e falhas prematuras nos equipamentos. A diminuição da vida útil dos rolamentos e maiores gastos com energia elétrica são alguns dos paradigmas principais que levam as empresas a ter despesas com alinhamento de máquinas (HINES, *et al*, 1998).

O tecnólogo em manutenção industrial deverá estar preparado para a realização de trabalhos como o alinhamento de máquinas rotativas e análises de vibrações. Com isso viu-se a necessidade de desenvolver uma bancada didática de alinhamento para a realização de aulas práticas visando maior aprendizado nesta área.

1.1 Justificativa

Com a recente aquisição de um alinhador a *laser* surgiu a necessidade de se equipar o futuro laboratório de vibrações com uma bancada que permita alterar de forma rápida e controlada o alinhamento de dois semi-eixos de máquinas rotativas, afim de efetuar práticas de análise de vibrações.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma bancada didática que permita a realização de alinhamento angular e paralelo de dois semi-eixos de máquina rotativa, utilizando-se um alinhador a *laser*.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar os tipos e efeitos de desalinhamentos de máquinas rotativas;
- Estudar os principais métodos de detecção de desalinhamento em máquinas rotativas;

- Desenvolver uma bancada didática na qual possa ser realizado de maneira prática o alinhamento de dois semi-eixos;
- Validar o experimento através do uso do alinhador a *laser* e do coletor de dados CSI 2117.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desalinhamento

Em termos bastante simples, o desalinhamento de eixos ocorre quando as linhas de centro dos eixos de rotação de duas máquinas não estão em linha um com o outro. Tal desconformidade propicia quebras mais frequentes de máquinas, ou seja, resulta em redução no tempo médio entre falhas.

A seguir, serão apresentados os tipos de desalinhamentos que ocorrem em máquinas rotativas acopladas, os efeitos resultantes na vida dos componentes e no rendimento dos equipamentos.

2.1.1 Tipos de Desalinhamentos

Os desalinhamentos ocasionados em máquinas rotativas acopladas podem ser de dois tipos: desalinhamento paralelo ou angular. O desalinhamento paralelo ocorre quando as linhas de centro de dois eixos são paralelos mas não se encontram no ponto de transferência de carga. Esse tipo de desalinhamento é ilustrado na Figura 1. Já, o desalinhamento angular ocorre quando a linha de centro de dois eixos se cruzam no ponto de transferência de carga, mas não são paralelos entre si, conforme ilustra a Figura 2. Geralmente a condição real de desalinhamento que ocorre entre máquinas rotativas, é uma combinação de ambos os tipos de desalinhamentos, o qual é designado por desalinhamento misto ou combinado, o qual está ilustrado na Figura 3 (HINES, *et al*, 1998).

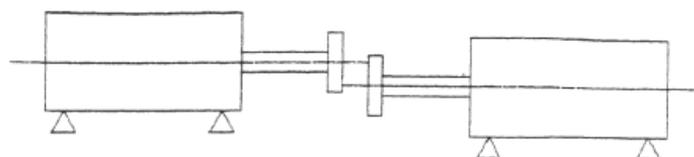


Figura 1 – Desalinhamento paralelo

Fonte: CEFETES, 2006

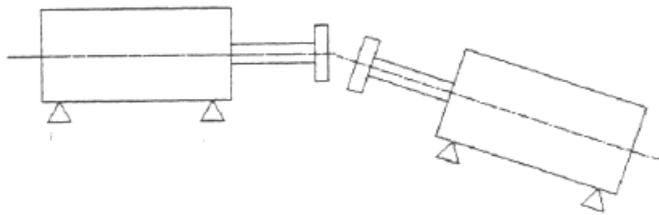


Figura 2 – Desalinhamento angular

Fonte: CEFETES, 2006

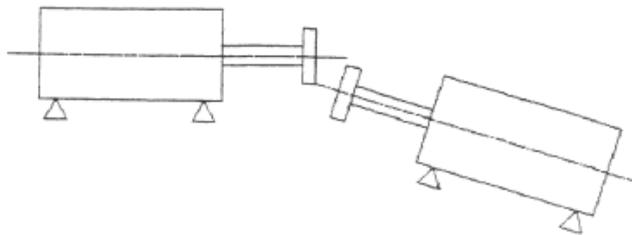


Figura 3 – Desalinhamento misto

Fonte: CEFETES, 2006

2.1.2 Efeitos do Desalinhamento

Eixos mal alinhados são responsáveis por muitos problemas em máquinas e equipamentos. O desalinhamento provoca forças de reações nos mancais, eixos e acoplamentos, onde essas forças são transmitidas de forma unidirecional e são de difícil medição devido a não existirem analisadores ou sensores que possam ser instalados externamente nas máquinas. Conseqüentemente o que se tem, são efeitos secundários dessas forças, as quais causam empenamento de eixos e rotores, podendo causar assim a quebra (ou *cracking*) do eixo no mancal, ou próximo a ele, ou no cubo do acoplamento (HINES *et al*, 1998; PRÜFTECHNIK, 2010; PACHOLOK, 2004; PIOTROWSKY, 2010). A Figura 4 ilustra as forças de reações nos mancais devido ao desalinhamento.

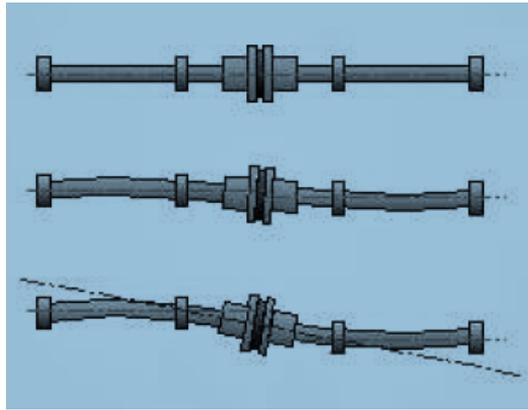


Figura 4 – Forças de reação nos mancais

Fonte: PACHOLOK, 2004

O resultado da alta carga aplicada nos mancais é o aumento de consumo de energia pelo componente acionador (HINES *et al*, 1998; PRÜFTECHNIK, 2010; PACHOLOK, 2004; PIOTROWSKY, 2010).

As Figuras 5 e 6 ilustram a energia consumida pelo componente acionador utilizando um acoplamento de elastômero.

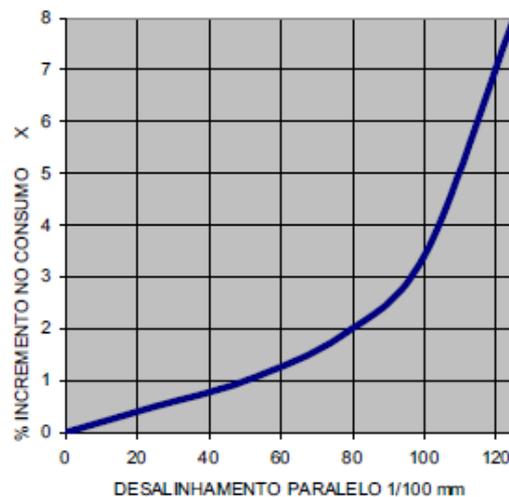


Figura 5 – Consumo de energia para acoplamento de elastômero

Fonte: PACHOLOK, 2004

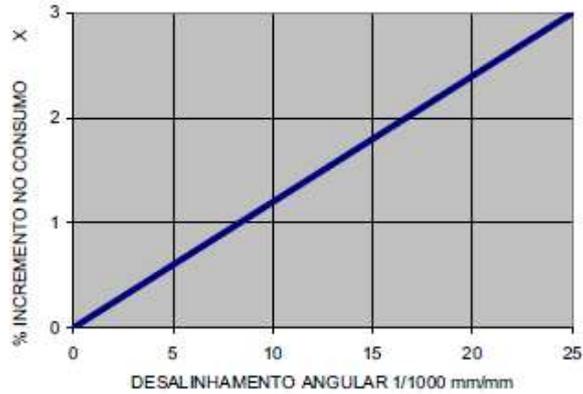


Figura 6 – Consumo de energia para acoplamento de elastômero

Fonte: PACHOLOK, 2004

Um elevado grau de temperatura de carcaça pode ser detectado nos mancais ou próximo a ele. Aumento de temperatura ocorre também no acoplamento (HINES *et al*, 1998; PRÜFTECHNIK, 2010; PACHOLOK, 2004; PIOTROWSKY, 2010).

A Figura 7 mostra, por meio da termografia, o aumento de temperatura nos mancais e no acoplamento de uma máquina (lado esquerdo da figura), devido ao desalinhamento.

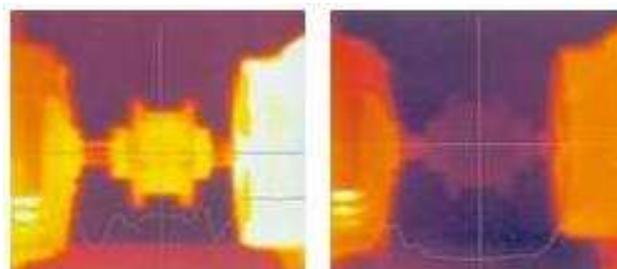


Figura 7 – Termografia mostrando o aumento da temperatura devido ao desalinhamento

Fonte: PRÜFTECHNIK, 2010

Devido à vibração excessiva, vazamentos de óleo podem ocorrer nos retentores ou selos do mancal. Pode ocorrer afrouxamento nos parafusos de fundação. Os parafusos de acoplamentos podem afrouxar ou quebrar e os mancais danificar-se (HINES *et al*, 1998; PRÜFTECHNIK, 2010; PACHOLOK, 2004; PIOTROWSKY, 2010).

Exemplos de danos em acoplamento e em mancal estão ilustrados, respectivamente, nas Figuras 8 e 9.



Figura 8 – Acoplamento danificado por desalinhamento

Fonte: PACHOLOK, 2004



Figura 9 – Mancal danificado por desalinhamento

Fonte: TIMKEN, 2011

2.2 Diagnóstico do Desalinhamento

Segundo a CESP (2010) nos últimos dez anos uma grande variedade de indústrias indicaram que 50% de todas as máquinas que sofreram paradas possuíam deficiências de alinhamento. Algumas pesquisas indicam ainda que, mais de 90% das máquinas estão trabalhando a abaixo das tolerâncias recomendadas.

Para se detectar tais desalinhamentos é necessário dispor de dispositivos que operem nas consequências do fenômeno. A seguir serão apresentadas as principais técnicas utilizadas para a detecção de desalinhamento em máquinas rotativas.

2.2.1 Análise de Vibrações

A análise de vibrações é uma ferramenta que permite determinar as deficiências existentes em máquinas acopladas através da identificação da frequência de origem dos problemas e (ou) parte dos equipamentos associada.

As máquinas são elementos mecânicos articulados e podem ser vistos como osciladores mecânicos, já que estas possuem peças e articulações que sofrem excitações provocando vibrações que se propagam pela estrutura mecânica do sistema. Como resultado, o equipamento apresenta uma vibração complexa composta por várias frequências (MELQUESEDEQUE, 2008).

A presença de folgas, trincas, desalinhamento de rolamentos e mancais entre outros, resulta na alteração ou aparecimento de novas frequências associadas aos problemas. Através de transdutores como os acelerômetros e sensores de deslocamento é possível medir e analisar as vibrações estabelecendo sua origem, identificando cada componente e o tipo de falha que a está gerando. Também é possível avaliar o estado mecânico do componente que a produz e a gravidade da deficiência detectada (MARÇAL; SUSIN, 2005).

2.2.2 Análise de Óleo

Esta técnica define através de análises físico-químicas, o tempo de vida útil do fluido assim como as contaminações presentes. Se integra à técnica de análise de vibração com intuito de gerar soluções mais precisas, monitorando os desgastes nos equipamentos.

A Ferrografia Analítica (AN), é um dos procedimentos utilizados nesta técnica. Ela identifica o tipo de desgaste, desalinhamento, corrosão entre outros. através de diagnósticos laboratoriais, indicando o procedimento de manutenção a ser tomado (FRATO, 2011).

2.2.3 Termografia

Segundo Pacholok (2004), a termografia pode ser uma ferramenta auxiliar a análise de vibração para a detecção de desalinhamento de eixos, contudo, com limitações para tal. Observou-se, segundo ele, não ser possível estabelecer uma escala confiável entre a geração de calor no elemento flexível do acoplamento e a amplitude do desalinhamento.

Pacholok (2004) também comenta a grande limitação para uso dessa técnica na indústria se aplica na questão de que o acoplamento recebe mais calor do motor elétrico do que da geração de calor devido ao desalinhamento dos eixos. Somente se consegue resultados satisfatórios com essa técnica, quando os valores do desalinhamento forem muito elevados comparados com as recomendações de tolerâncias estipuladas para o acoplamento.

2.3 Alinhadores de Eixos

Muitos fabricantes de acoplamentos alegam que seus acoplamentos podem absorver os esforços causados pelo desalinhamento. Isto pode ser verdade, mas os mancais não conseguem absorver esses esforços. A energia gerada pelo desalinhamento eventualmente destruirá os mancais independente do acoplamento que seja utilizado (ENGEFAZ, 2005). A seguir serão vistos os principais métodos disponíveis para a correção do desalinhamento de eixos.

2.3.1 Régua e Calibrador de Folga

É um método bem simples, fácil de aplicar, mas não muito confiável, devido à precisão variar muito conforme o técnico que o está aplicando. Esse tipo de método deve ser executado em equipamentos de baixa rotação, com acoplamentos de grandes diâmetros e que exijam urgência de manutenção.

Para obter o alinhamento correto, toma-se as leituras em quatro posições defasadas de 90°, observando sempre os mesmos traços referenciais em ambas as metades do acoplamento. O alinhamento paralelo é conseguido, quando a régua se mantiver nivelada com as duas metades nas quatro posições (0°, 90°, 180° e 270°). O alinhamento angular é obtido, quando o medidor de folga mostrar a mesma espessura nas quatro posições – 0°, 90°,

180° e 270° - observando sempre, a concordância entre os traços de referência (SENAI,1997). A Figura 10 ilustra o alinhamento com régua e calibrador de folga.

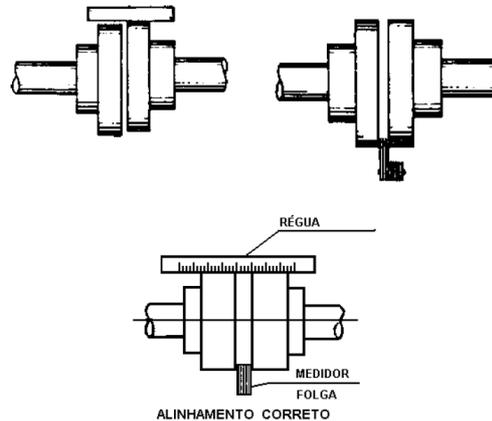


Figura 10 - Alinhamento com régua e calibrador de folga

Fonte: SENAI, 1997

2.3.2 Relógio Comparador

O comparador é um instrumento mecânico de precisão que mede a posição relativa do eixo. Basicamente, o comparador consiste num invólucro contendo diversos componentes mecânicos de precisão, uma face com marcas de 0.01mm cada, um ponteiro e um êmbolo de encosto ao veio. As marcas existentes na face do comparador podem ler a partir do zero em ambas as direções, ou ler na direção dos ponteiros do relógio a partir do zero.

O êmbolo pode ser colocado tanto por baixo do indicador como atrás deste. Quando o êmbolo é pressionado o ponteiro roda na direção dos ponteiros do relógio e quando este deixa de sofrer pressão o ponteiro roda no sentido contrário aos ponteiros do relógio (MIIT, 2010).

No alinhamento, os comparadores são utilizados para medirem a posição da linha de eixos de um veio. Numa disposição típica o comparador é seguro por suportes adequados ao veio da máquina a alinhar. O indicador é então, orientado por forma a entrar em contato com o veio ou acoplamento da outra máquina (MIIT, 2010). Este método pode ser um pouco demorado, exigindo um determinado tempo para a manutenção, contudo, com um bom

treinamento se consegue obter um bom resultado no alinhamento. A Figura 11 ilustra o perfil de um relógio comparador da marca Mitutoyo.



Figura 11 - Perfil de um relógio comparador

Fonte: MITUTOYO, 2011

2.3.3 Alinhamento a Laser

O alinhador a *laser* é o melhor método utilizado para alinhar eixos acoplados, oferecendo uma grande superioridade técnica em todos os níveis face aos métodos tradicionais como o de relógios comparadores. A precisão chega a ser dez vezes maior, eliminando erros sistemáticos e leituras inconsistentes, resultando maior confiabilidade e rapidez no alinhamento (MGS,2009).

Esse método se baseia em emissor e receptor de feixe *laser*. O sistema *laser* executa medidas da posição angular e paralela do eixo através da emissão de um laser pelo transdutor (parte fixa) para o prisma (parte móvel). Esse sistema de alinhamento consiste na utilização de duas unidades, sendo uma emissora e a outra receptora do feixe *laser*. Os sensores são ligados a um microcomputador portátil da classe *palmtop*, por meio de cabos ou por rádio frequência, que realiza os cálculos e orientações para correção do desalinhamento. Com isso, torna-se um método versátil e prático.

Este método apresenta a limitação de uso em ambientes que possam provocar refração no feixe do laser, como por exemplo, próximo a uma turbina a vapor a qual gera nuvens de condensado e sob a luz solar onde pode ocorrer

interferências ou erros nas medições (PACHOLOK, 2004; OPMEC, 2010). A Figura 12 ilustra um alinhador a *laser* durante o processo de alinhamento.



Figura 12 - Alinhador a Laser durante processo de alinhamento

Fonte: OPMEC, 2010

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi embasado em conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, pesquisas e estudos teóricos em livros, artigos e *web sites*, nas dependências da Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco, onde também procedeu-se a montagem da bancada didática para alinhamento. Contou ainda com resultados decorrentes de ensaios práticos que foram realizados na mesma instituição.

3.1 Materiais

Para a montagem da bancada didática de alinhamento, foi utilizado um motor elétrico trifásico 220 V, 1,5 HP de 1700 RPM, dois mancais de rolamento com o veio e uma base de ferro fundido de propriedade da Universidade (UTFPR). Também, todos os procedimentos de preparação e montagem da bancada foram realizados na instituição, utilizando-se de equipamentos como furradeira de bancada, torno de bancada, torno mecânico, fresadora CNC e ferramentas em geral como, chaves fixas, brocas, machos para fazer roscas, punção, marreta, entre outros, todos disponíveis no Laboratório de Usinagem.

Outros materiais necessários, como, chapas de ferro e parafusos foram adquiridos pelos acadêmicos através de recursos próprios. A tabela 1 mostra os gastos realizados com materiais.

Tabela 1 - Despesas com a compra de material

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR TOTAL
Barra Chata 3/8 x 2"	03	kg	R\$ 28,00
Parafusos	12	un	R\$ 18,00
Porcas	02	un	R\$ 1,60
Arruelas	04	un	R\$ 1,20
		TOTAL	R\$ 48,80

Para os ensaios práticos, foram utilizados um alinhador a *laser* da marca EASY-LASER D450 e um coletor de dados CSI 2117, ambos de propriedade da UTFPR.

3.2 Alinhador a Laser EASY-LASER D450

O Easy-Laser D450 é um sistema básico de alinhamento que traz simplicidade para o usuário. Todas as partes inclusas no sistema são desenvolvidas para uso severo e de fácil montagem nas máquinas. Mesmo tendo uma tecnologia interna bastante avançada, o princípio de medição é direto e é baseado no “método reverso” com dois laser/unidade de medição montados em cada lado do acoplamento, tendo uma resolução de medição de 0,001mm (EASY-LASER,2009). O sistema D450 inclui dois programas de medição, sendo:

- Horizontal – Para alinhamento de máquinas horizontais pelo método 9-12-3;
- Pé Manco – Para verificar se a máquina está apoiada uniformemente sobre seus pés, mostrando quais pés devem ser corrigidos; e possui três sub-funções:
- Compensação da Dilatação Térmica – Compensa a diferença de temperatura entre as máquinas;
- Verificação da Tolerância – Verifica os valores Paralelo e Angular em relação à tolerância selecionada, mostrando graficamente quando o alinhamento está dentro da tolerância;
- Filtro do Valor da Medição – Filtro eletrônico avançado para um resultado mais preciso da medição realizada em locais severos como turbulência de ar e vibração (EASY-LASER,2009). A figura 13 ilustra o alinhador a laser EASY-LASER D450.



Figura 13 - Alinhador a Laser EASY-LASER D450

Fonte: OS AUTORES

As especificações técnicas e os componentes do alinhador EASY-LASER D450 se encontram nos anexos I e II.

3.2.1 Método Prático de Utilização do Alinhador a Laser EASY-LASER D450

Primeiramente é necessário a fixação das Unidades de Medição (S,M) sobre o eixo do conjunto. Para isso, deve-se inserir as hastes de aço inoxidável nos suportes em V. Os suportes em V serão fixados com correntes um em cada lado do acoplamento do conjunto acionador/acionado. Após serão inseridos nas hastes de aço inoxidável as Unidades de Medição (S,M), tomando-se o cuidado de deixar a unidade M posicionada no lado do acionador e a unidade S no lado do acionado. Um cabo devem interligar ambas as Unidades de Medição (S,M) e outro cabo deve interligar a unidade M à Unidade de Display. A figura 14 ilustra como deve ficar instalado o alinhador a laser.

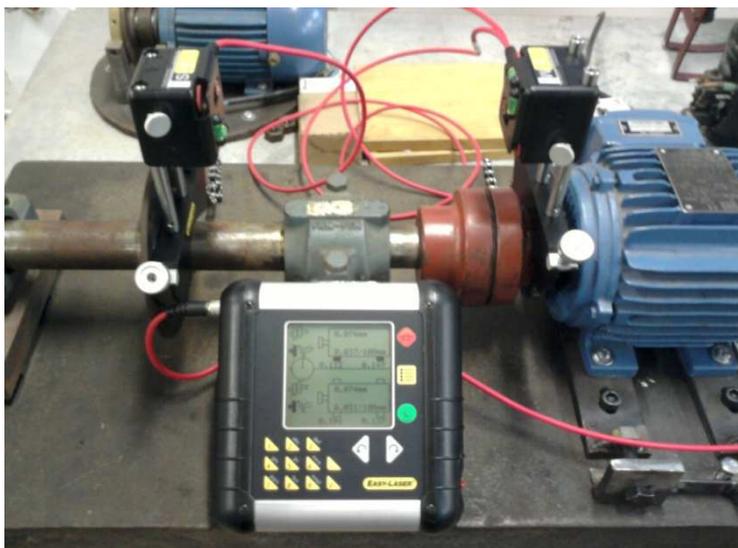


Figura 14 - Instalação do Alinhador a Laser

Fonte: OS AUTORES

Após a instalação do alinhador a laser, deve-se proceder da seguinte forma:

- Passo 1: Ligar a unidade de display onde aparecerá as opções “11 Horizontal” e “13 Softfoot (pé manco)”. A figura 15 ilustra o menu ao ser ligado. Deve-se selecionar a opção desejada e pressionar “Enter”.

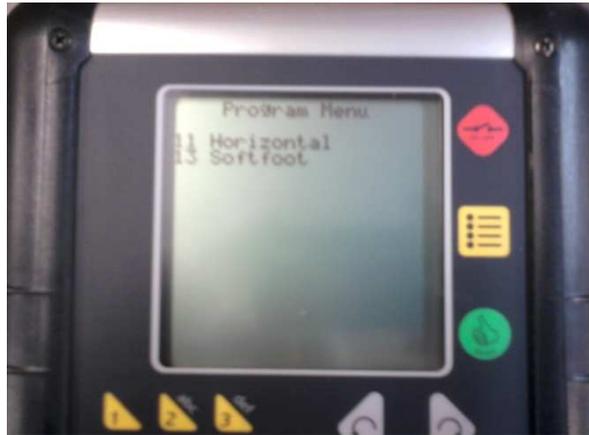


Figura 15 - Opções de Menu do Alinhador

Fonte: OS AUTORES

- Passo 2: Inserir os valores das distâncias como solicitadas no display do alinhador (valores em “mm”). As figuras 16, 17, 18 e 19 ilustram a sequência de medidas que devem ser coletadas.

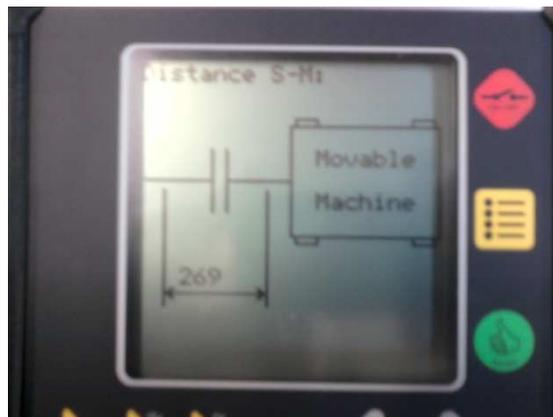


Figura 16 - Distância entre as Unidades de Medição “S-M”

Fonte: OS AUTORES

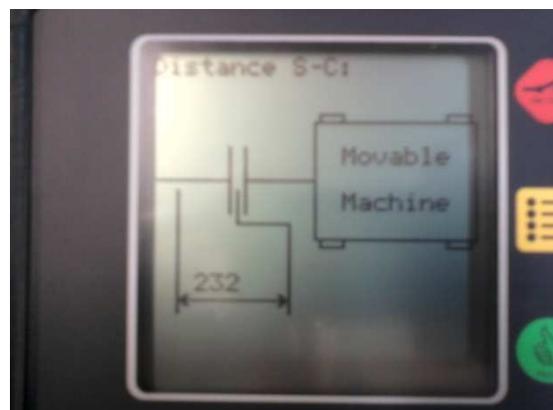


Figura 17 - Distância entre o meio do acoplamento até a Unidade de Medição “S”

Fonte: OS AUTORES

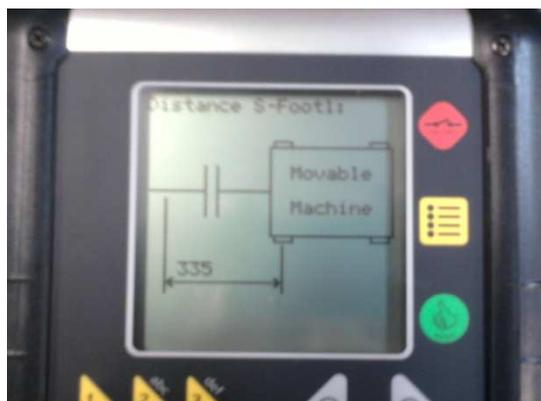


Figura 18 - Distância do primeiro "pé" do acionador até a Unidade de Medição "S"

Fonte: OS AUTORES

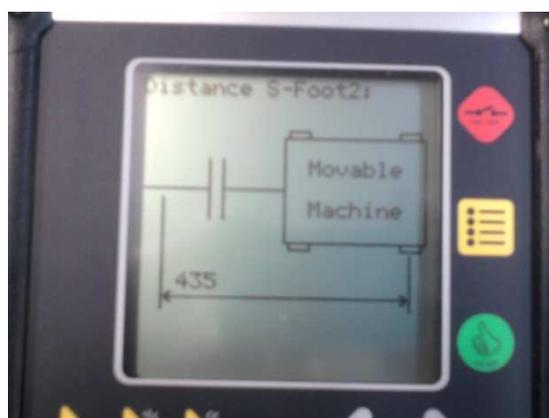


Figura 19 - Distância do segundo "pé" do acionador até a Unidade de Medição "S"

Fonte: OS AUTORES

Um aspecto importante é que após cada incremento de valor deve-se pressionar "Enter" para confirmar.

- Passo 3: Caso tenha-se escolhido a opção "13 *Softfoot* (pé manco)", aparecerá na tela a imagem ilustrada na figura 20, que define a posição na qual deverá ficar as Unidades de Medição "S-M" para esta situação.



Figura 20 - "12 horas" Posição na qual deverá ficar as Unidades de Medição "S-M" para a opção Softfoot

Fonte: OS AUTORES

Ao posicionar as Unidades de Medição na posição “12 horas”, deve-se pressionar a tecla “Enter”. Nesse instante aparecerá no display a imagem ilustrada na figura 21, a qual informa quais os “pés” do acionador que não estão apoiados uniformemente sobre a base. Após a medida definida para cada “pé”, pressiona-se a tecla “Enter” para confirmar.



Figura 21 - Imagem ilustrando os valores medidos para cada "pé" do acionador

Fonte: OS AUTORES

- Passo 4: Terminada a verificação de “*softfoot*”, pressiona-se “Enter”. Nesse momento aparecerá no display a opção “11 Horizontal”. Para fazer o alinhamento, não será necessário re-inserir os valores medidos devido a todos os parâmetros já estarem inseridos. Pressionando-se “Enter”, aparecerá no display as imagens de 9-12-3 horas conforme ilustra a figura 22. Deve-se girar o eixo com as unidades de medição nas posições

indicadas, pressionado o botão “Enter” em cada uma para registrar os dados da leitura.



Figura 22 - Posição nas quais deve-se girar o eixo com as Unidades de Medição "S-M"

Fonte: OS AUTORES

- Passo 5: Concluído o registro das leituras, aparecerá no display a imagem do acionador na posição vertical e horizontal. A figura 23 ilustra essa condição. Nesse instante deve-se pressionar a tecla 4 do módulo de display, o qual habilita a opção de “tolerância”. A tabela 1 mostra os valores de tolerâncias definidas para cada faixa de rotação do acionador. Nessa opção deve-se selecionar a faixa de rotação na qual trabalha o conjunto acionador/acionado. A figura 24 ilustra a tela de tolerância mostrada no módulo display.

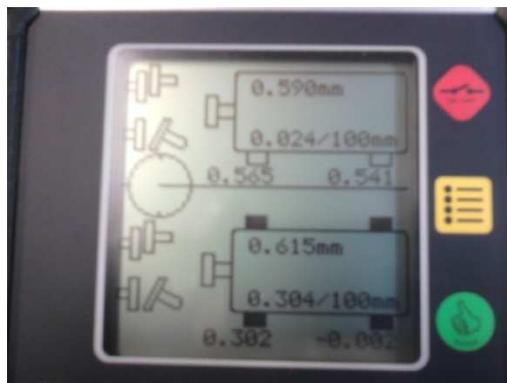


Figura 23 - Ilustração do acionador na posição vertical e horizontal

Fonte: OS AUTORES

Tabela 2 - Tolerâncias fixadas do alinhador a laser

SPEED (RPM)	0 – 1000	1000 – 2000	2000 – 3000	3000 – 4000	4000 -
Offset (mm)	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01
Angle (mm/100)	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01

Fonte: Manual de Instruções EASY-LASER

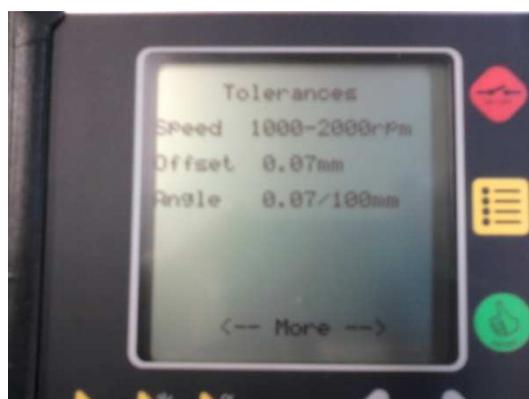


Figura 24 - Ilustração da tela de tolerância

Fonte: OS AUTORES

- Passo 6: Depois de selecionada a tolerância, volta-se à tela de posição vertical e horizontal para proceder o alinhamento. Para mudar a seleção de alinhamento horizontal para vertical ou vice-versa, deve-se pressionar a tecla 5 do módulo de display do alinhador. Ao se proceder o alinhamento na horizontal, as unidades de medição “S-M” deve ficar posicionadas em 3 horas. Já no procedimento vertical, deve-se posicionar as unidades de medição na posição 12 horas. No instante em que as medidas ficarem dentro da tolerância do alinhador, o símbolo de acoplamento respectivo fica preenchido, como ilustra a figura 25.

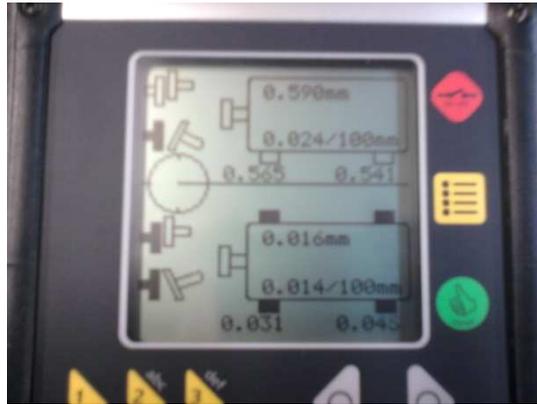


Figura 25 - Símbolos do acoplamento preenchido indicando que os valores de alinhamento estão dentro das tolerâncias pré-definidas

Fonte: OS AUTORES

3.3 Coletor de Dados CSI 2117

O Coletor de Dados CSI 2117 possui as seguintes características:

- Velocidade em tempo real de 800 Hz;
- Capacidade de alarme em campo;
- Demodulador incorporado;
- Bateria com capacidade para 12 Horas;
- Até 3.200 linhas de resolução;
- Versão especial para uso em áreas classificadas;
- Interface com ferramentas avançadas de software CSI.

O CSI 2117 permite uma coleta de dados rápida com resolução espectral de até 3.200 linhas. Essa resolução permite separar componentes espectrais muito próximas, como, por exemplo, a frequência da rede elétrica, da velocidade de rotação de um motor de dois pólos, ou as bandas laterais de um espectro de caixa de engrenagens.

Uma bateria com capacidade de 10 horas de uso constante permite estender a coleta de dados sem necessidade de recarga, eliminando a preocupação com eventual falha no meio da rota.

Um programa opcional transforma o CSI 2117 em um instrumento para balanceamento de campo com avançadas características de automação.

O coletor de dados modelo CSI 2117 tem 1.5 MB de memória e uma taxa em tempo real de 800 Hz. Para facilitar a análise durante a coleta de

dados possui capacidade de alarme no campo em 12 faixas de freqüências, com níveis de alarme por nível global de vibração (ALBA *et al*, 2004).

A figura 26 ilustra o coletor de dados CSI 2117.



Figura 26 - Coletor de dados CSI2117

Fonte: OS AUTORES

3.3.1 O Software Starter Trend

Conforme extraído de Alba *et al* (2004), o Starter Trend é um software utilizado para a análise de vibração e é composto por 4 níveis principais na hierarquia do banco de dados:

- *Stations*: é o nível mais alto da organização dentro de um banco de dados do Starter Trend. Cada Stations contém uma coleção de máquinas que são logicamente agrupadas baseado em semelhanças físicas ou funcionais.

- *Machines*: são os próximos níveis da organização do banco de dados. Uma máquina usualmente consiste de uma unidade de trabalho: a unidade monitorada e os componentes associados, como por exemplo, um motor que monitora uma bomba através de um redutor.

- *Measurement points*: são locais ou pontos da máquina onde o sensor é colocado para efetuar uma medida. Todos os pontos de medição de uma máquina são agrupados “abaixo” da máquina.

- *Analysis Parameter Sets*: um ajuste para análise de parâmetros (Analysis Parameter Set) inclui um grupo de 06 ou mais parâmetros de análise individual que dividem o espectro de freqüências em “bandas” que são individualmente medidas e analisadas. Cada banda de freqüência é designada

a conter um segmento do espectro onde frequências específicas do equipamento ocorrem, tais como 1 x RPM de trabalho, harmônicas da rotação de trabalho, frequências dos rolamentos e etc.

Um ajuste para análise de parâmetros (*Analysis Parameter Set*) informa como os dados são coletados. Este ajuste é independente da hierarquia do banco de dados e podem ser atribuído para vários pontos de medição ou máquinas usando um dos seguintes métodos:

- Ajustes atribuídos pelo usuário (*user-defined Analysis Parameter Sets*);
- Atribuído de 05 ajustes padrão que estão incluídos no *Starter Trend*, contendo a seguinte configuração: 1 - *Sleeve bearing (orders 10 X RPM)*; 2 - *Sleeve bearing (orders 15 X RPM)*; 3 – *Roller bearing (orders 50 X RPM)*; 4 – *Roller bearing (orders 70 X RPM)*; 5 – *Gears (orders 120 X RPM)*.

4 BANCADA DE ALINHAMENTO DE EIXOS

4.1 Descrição

Para a elaboração da bancada didática de alinhamento, utilizou-se uma bancada existente no laboratório de máquinas térmicas montada por Nicolini Jr *et al.* (2003), a qual possuía uma base plana de ferro fundido de dimensões 680X410X85mm tendo fixado em sua superfície dois mancais de rolamento e um motor trifásico 1700 RPM, 220V de 1,5 HP.

Para se realizar deslocamento horizontal com mais agilidade e facilidade, necessitou-se inserir entre a superfície da base e o motor, uma base móvel. Esta base móvel foi constituída de duas barras chatas de ferro com dimensões 3/8 x 2" e 290 mm de comprimento cada. Nelas foram inseridos dois furos passantes para a fixação na superfície da base da bancada e outros dois furos com rosca, para fixação do motor sobre a própria base móvel. Para que se obtivesse alinhamento vertical entre o motor e os mancais, necessitou-se alocar sobre os pés dos mancais de rolamentos peças de mesma espessura da base móvel. No anexo III, encontra-se o layout das peças citadas com suas respectivas medidas.

A produção dessas peças foi realizada no Laboratório de Usinagem CNC, mais especificamente do Centro de Usinagem Vertical VEKER CVK-800. O programa utilizado para a usinagem encontra-se no anexo IV.

Depois de concretizada a produção das peças, procedeu-se a furação da base e conseqüentemente a execução das roscas. A figura 27 ilustra o processo de furação da base.



Figura 27 - Processo de furação da base

Fonte: OS AUTORES

Para movimentar as bases móveis utilizaram-se dois parafusos, os quais estavam presos em um suporte fixo. Para travar os parafusos, inseriu-se um corte em cada um dos suportes com o auxílio de um poli-corte e realizou-se com o auxílio de um torno mecânico uma cavidade próximo a cabeça de cada parafuso. Cada parafuso foi encaixado no corte do seu respectivo suporte ficando travado. A outra extremidade de cada parafuso foi rosqueado em uma porca fixada sobre ambas as bases móveis.

As bases móveis foram fixadas utilizando-se quatro parafusos de cabeça redonda e o motor foi fixado sobre as bases móveis utilizando-se parafusos sextavados. Também, os mancais de rolamentos ficaram fixados sobre os calços de mesma espessura das bases móveis. A figura 28 ilustra a bancada após a montagem.



Figura 28 - Perfil da bancada após a montagem

Fonte: OS AUTORES

Para se proceder as práticas de alinhamento, deve-se instalar o alinhador a *laser* como descrito no capítulo anterior, soltar os parafusos de fixação das bases móveis caso seja necessário e com a ajuda de uma chave fixa ou estrela proceder o alinhamento. A figura 29 ilustra como simular desalinhamentos ou alinhar a bancada utilizar a bancada didática.



Figura 29 - Ilustração de como simular desalinhamentos ou alinhar a bancada

Fonte: OS AUTORES

4.2 Exemplo de Aplicação

A seguir segue uma aplicação feita após ser montado o dispositivo de regulação horizontal do alinhamento na bancada didática. Os dados foram coletados nos pontos 1, 2 e 3, nas posições horizontal, vertical e axial conforme apresentado na Figura 30. Considerando a simetria de carregamento e por se tratar de um equipamento didático as análises ficaram restritas ao ponto 3, lado móvel e ajustável nas operações de alinhamento da bancada.

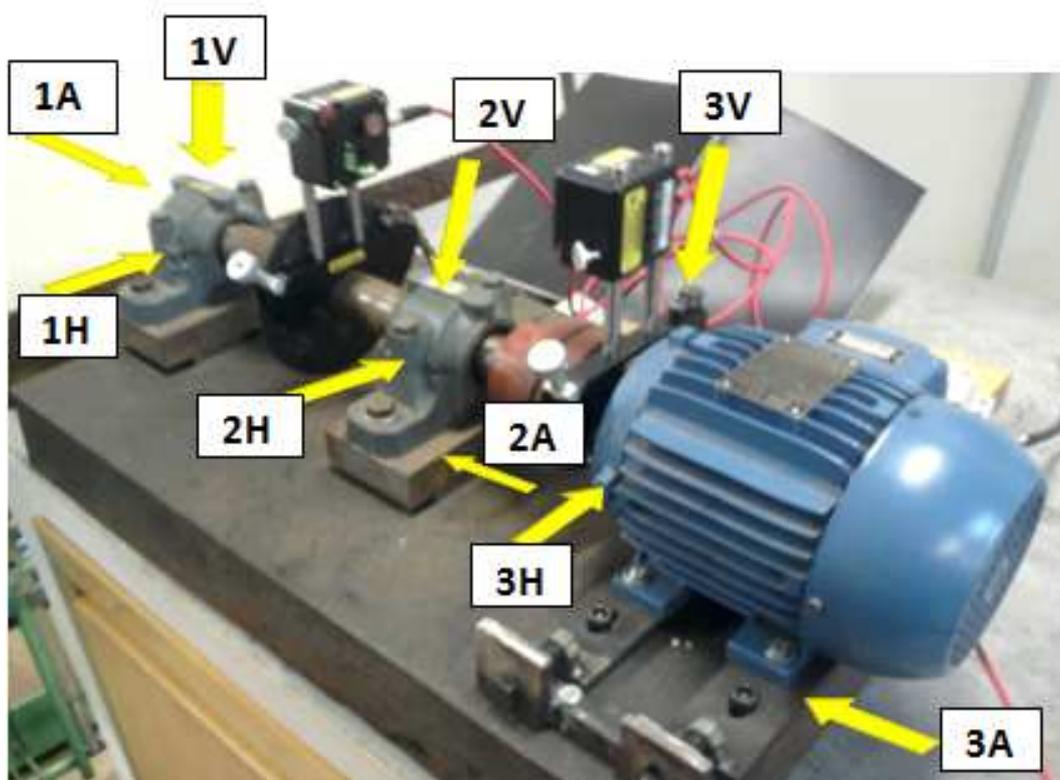


Figura 30 - Identificação dos pontos de coleta de dados

Fonte: OS AUTORES

As quatro condições criadas para análise foram: alinhado (A), desalinhamento paralelo puro (DP), desalinhamento angular puro (DA) e desalinhamento combinado (DC). A tabela 3 mostra os valores definidos para a análise das condições criadas. Essas condições foram determinadas com auxílio do alinhador a *laser* e baseadas nos valores da tabela 4.

Tabela 3 - Valores definidos para a análise das condições criadas

CONDIÇÃO	PARALELO	ANGULAR
A (Alinhado)	ALINHADO (Valor abaixo da tolerância)	ALINHADO (Valor abaixo da tolerância)
DP (Desalinhamento paralelo puro)	DESALINHADO DE 0,1 a 0,15 mm	ALINHADO (Valor abaixo da tolerância)
DA (Desalinhamento angular puro)	ALINHADO (Valor abaixo da tolerância)	DESALINHADO DE 0,08 a 0,1/100mm
DC (Desalinhamento combinado)	DESALINHADO DE 0,1 a 0,15 mm	DESALINHADO DE 0,08 a 0,1/100mm

OBS: O valor da tolerância definido nesta tabela é de 0,07 mm devido a rotação do acionador ser 1700 RPM (baseado na tabela 2)

Tabela 4 - Tolerâncias para alinhamento de eixos

PARALELO	EXCELENTE	ACEITÁVEL
(RPM)	(mm)	(mm)
0000 - 1000	0,07	0,013
1000 - 2000	0,05	0,10
2000 - 3000	0,03	0,07
3000 - 4000	0,02	0,04
4000 - 5000	0,01	0,03
5000 - 6000	< 0,01	<0,03
ANGULAR	EXCELENTE	ACEITÁVEL
(RPM)	(mm/100)	(mm/100)
0000 - 1000	0,06	0,10
1000 - 2000	0,05	0,08
2000 - 3000	0,04	0,07
3000 - 4000	0,03	0,06
4000 - 5000	0,02	0,05
5000 - 6000	0,01	0,04

Fonte: Manual de Instruções do alinhador a laser EASY-LASER D450

Cabe salientar que a bancada é muito rígida, o que justifica os baixos níveis de vibração global de forma geral. Por esse motivo as avaliações a seguir dão pouca ênfase à questão da severidade e por conseguinte não foi feita comparação dos níveis globais com a ISO 10816.

Observa-se na Figura 31 a condição A, que serviu como referência. Os valores em 1XRPM e 2XRPM estão na ordem de 0,2 mm/s. Em 3XRPM e 4XRPM tem-se respectivamente 0,4 mm/s e 0,35 mm/s.

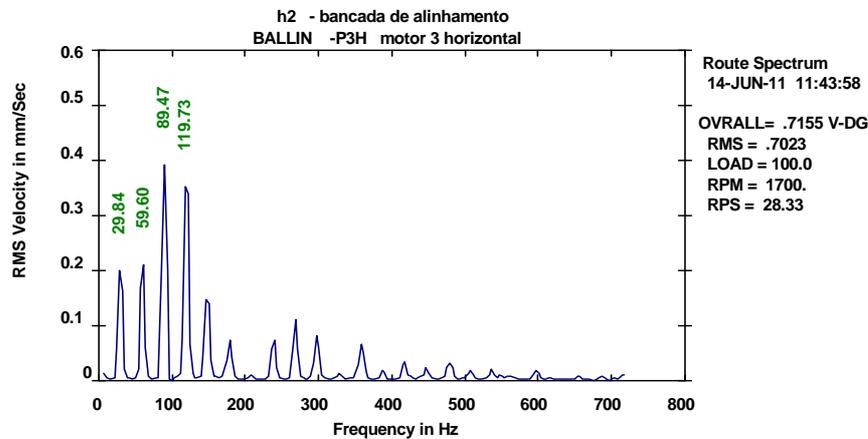


Figura 31 - Ponto 3 horizontal alinhado (DP < 0,035 mm e DA < 0,035/100 mm)

Fonte: OS AUTORES

Com o conjunto na condição DP, apresentado na Figura 32, percebe-se claramente que o valor de vibração em 2XRPM cresce para aproximadamente 2,2 mm/s, confirmando o que diz a literatura sobre a predominância de vibração radial no dobro da frequência do rotor. As alterações nas outras frequências podem ser consideradas desprezíveis.

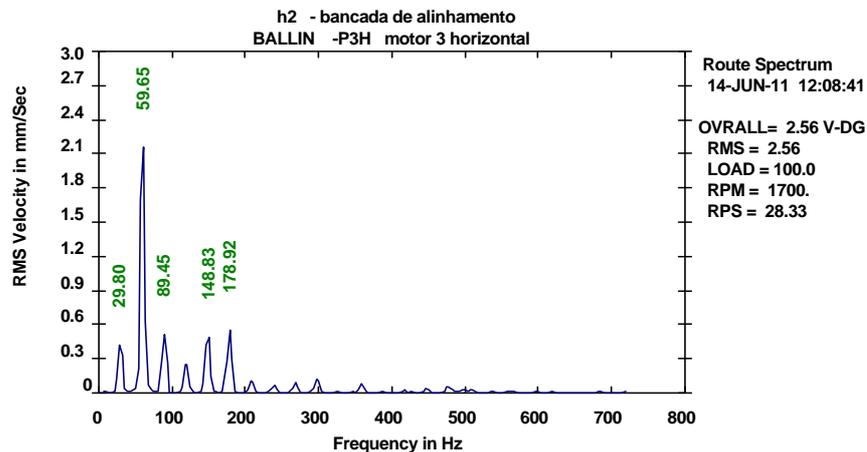


Figura 32 - Ponto 3 horizontal desalinhado DP/alinhado DA (DP = 0,1 – 0,15mm / DA < 0,035/100 mm)

Fonte: OS AUTORES

Conforme esperado observa-se na Figura 33 que os valores em 1XRPM, 2XRPM, 3XRPM e 4XRPM voltam ao normal na condição DA, pois o desalinhamento angular não influencia na direção radial.

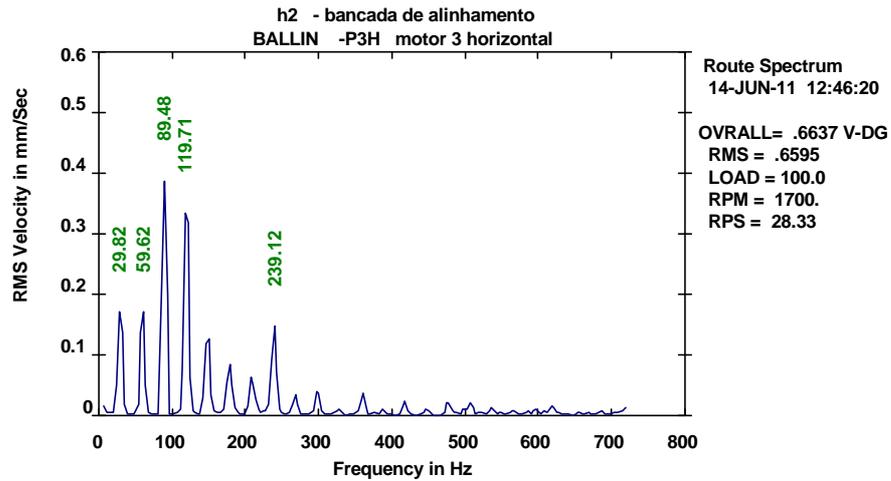


Figura 33 - Ponto 3 horizontal alinhado DP/desalinhado DA (DP<0,035mm / DA=0,08 - 0,1/100mm)

Fonte: OS AUTORES

Na condição DC (Figura 34) a vibração em 2XRPM volta a subir, na ordem de 2,7 mm/s. Embora em menor grau a vibração em 1XRPM também sobe, para próximo de 1 mm/s. A predominância em 2XRPM novamente é bem definida.

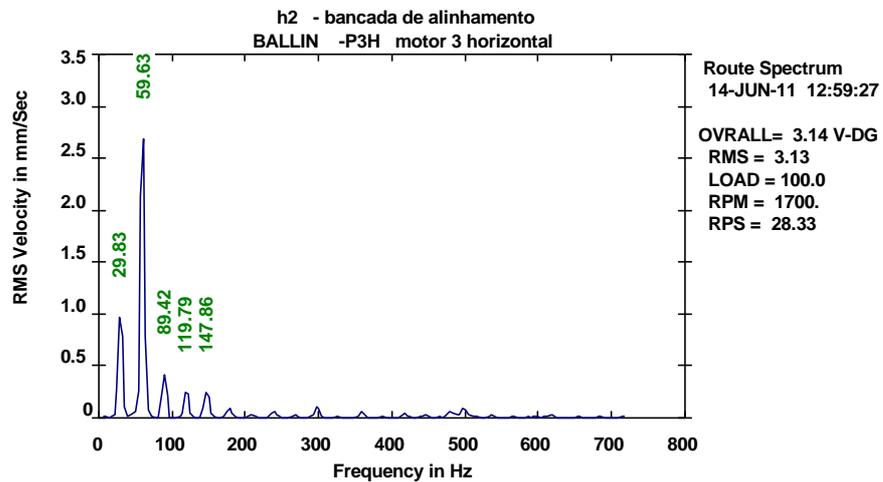


Figura 34 - Ponto 3 horizontal desalinhado DC (DP = 0,1 - 0,5mm / DA = 0,08 - 0,1/100mm)

Fonte: OS AUTORES

As Figuras 35, 36, 37 e 38 apresentam a mesma análise para as quatro condições, porém para a posição vertical. Observa-se na Figura 35 a condição A, que serviu como referência. Em 1xRPM tem-se 0,15 mm/s, em 2XRPM e 3XRPM estão na ordem de 0,3 mm/s. Em 4XRPM tem-se aproximadamente 0,2 mm/s. Nas Figuras 36 e 38 as condições DP e DC elevam a vibração radial para a faixa de 1 mm/s, confirmando mais uma vez a predominância em 2XRPM.

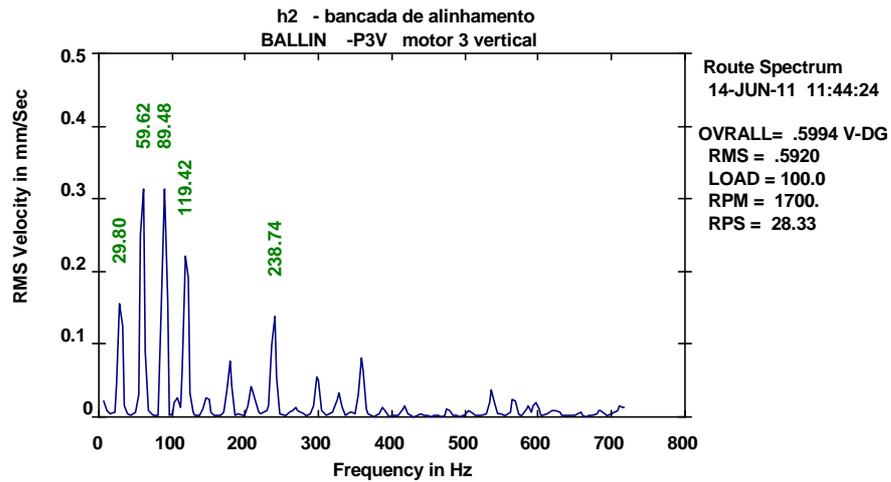


Figura 35 - Ponto 3 vertical alinhado (DP < 0,035 mm e DA < 0,035/100 mm)

Fonte: OS AUTORES

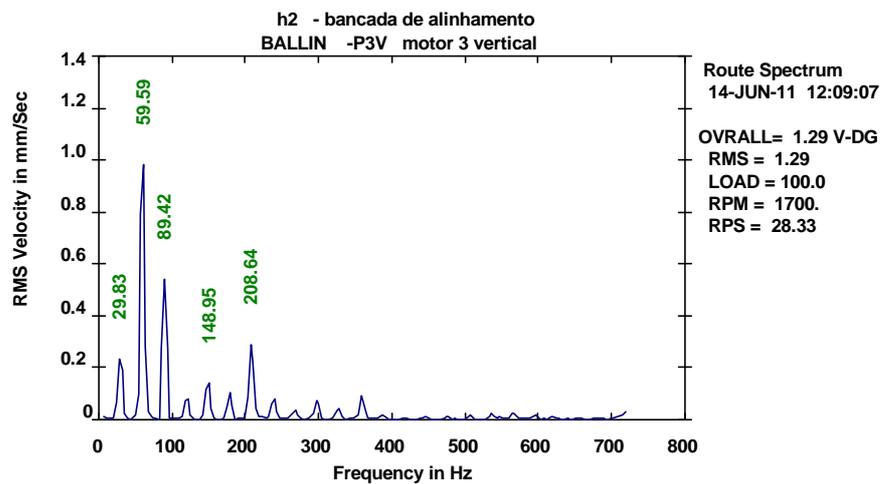


Figura 36 - Ponto 3 vertical desalinhado DP/alinhado DA (DP=0,1-0,15mm /DA < 0,035/100 mm)

Fonte: OS AUTORES

A Figura 37, na condição DA os níveis voltam ao normal, com exceção da vibração em 4XRPM, que apresenta 0,5 mm/s contra os 0,2 mm/s apresentados na medida de referencia. Torna-se importante comentar que em 4XRPM (119,46 Hz), a vibração é devida em parte à parte elétrica do motor (120 Hz), o que pode explicar em parte essa variação. Isso pode eventualmente influenciar também as medições em 2XRPM (59,63 Hz) sugerindo-se que para fins didáticos utilize-se inversor de frequência para que esta coincidência não ocorra nas práticas.

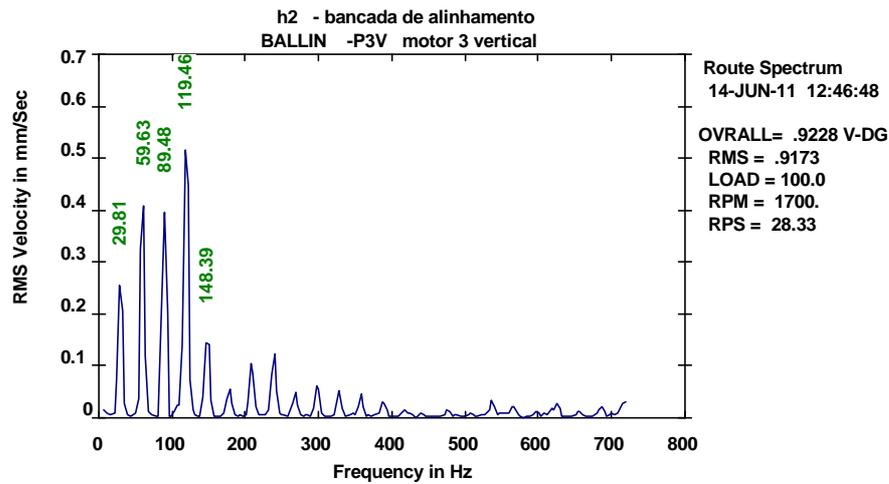


Figura 37 - Ponto 3 vertical alinhado DP/desalinhado DA (DP<0,035mm / DA=0,08 - 0,1/100mm)

Fonte: OS AUTORES

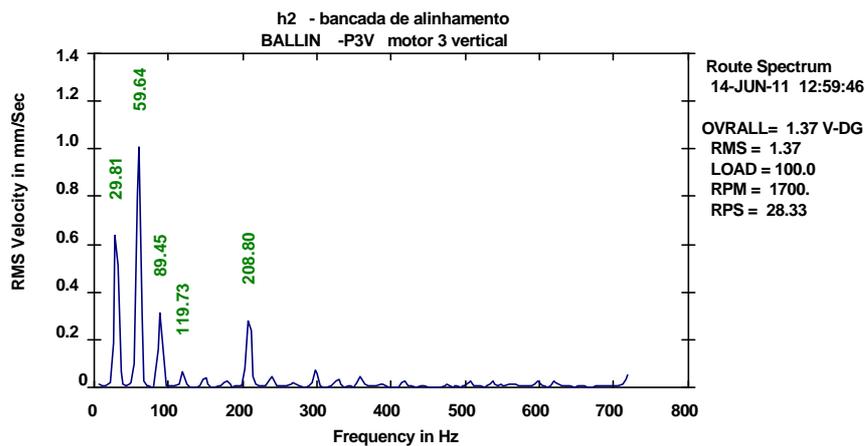


Figura 38 - Ponto 3 vertical desalinhado DC (DP = 0,1 - 0,5 / DA = 0,08 - 0,1/100mm)

Fonte: OS AUTORES

As Figuras 39, 40, 41 e 42 apresentam novamente a análise para as quatro condições, porém para a posição axial. Observa-se na Figura 39 a condição A, que serviu como referência. A vibração em 1xRPM e 2XRPM é desprezível. Em 3XRPM, 4XRPM e 5XRPM tem-se respectivamente 0,2 mm/s, 0,17 mm/s e 0,27 mm/s.

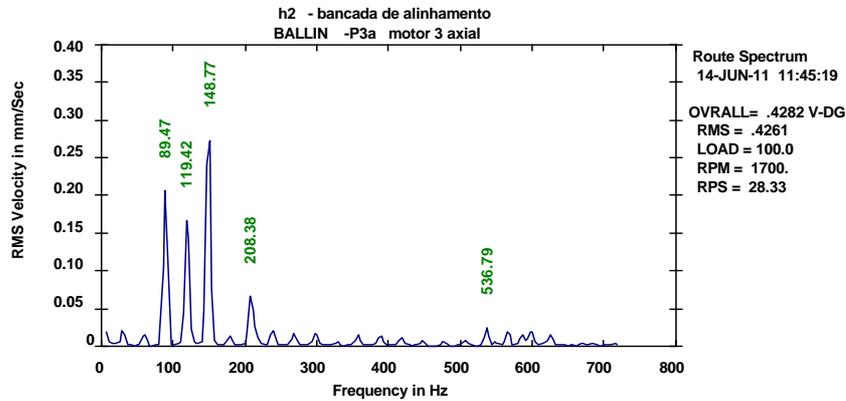


Figura 39 - Ponto 3 axial alinhado (DP < 0,035 mm e DA < 0,035/100 mm)

Fonte: OS AUTORES

Observa-se na Figura 40 que a condição DP influenciou a assinatura espectral do ponto 3 axial em 2XRPM. Esse efeito não era esperado e pode também ser devida a influencia de fatores elétricos do motor relacionados com a frequência da linha (60 Hz). No entanto ao analisar ao nível global percebe-se que o efeito é pequeno, pois na condição A o nível global é de 0,43 mm/s e na condição DP passou para 0,48 mm/s.

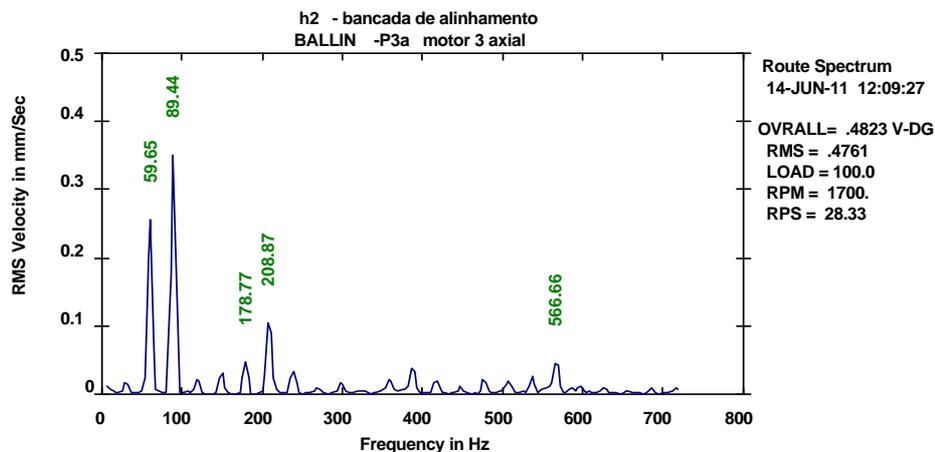


Figura 40 - Ponto 3 axial desalinhado DP/alinhado DA (DP=0,1–0,15mm /DA < 0,035/100 mm)

Fonte: OS AUTORES

A Figura 41, na condição DA, apresenta um aumento da vibração axial em 1XRPM, para 0,7 mm/s, confirmando parcialmente o que se encontra na literatura, nesse caso que o desalinhamento angular provoca forças dinâmicas nos mancais na direção axial, onde esse aumento era esperado em 1XRPM.

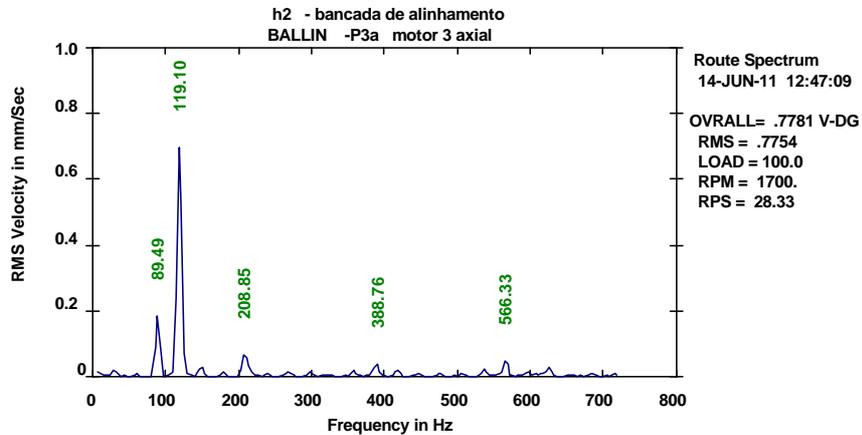


Figura 41 - Ponto 3 axial alinhado DP/desalinhado DA (DP<0,035mm / DA=0,08 - 0,1/100mm)
Fonte: OS AUTORES

A condição DC apresentada na Figura 42 mostra um efeito não esperado. A vibração em 1XRPM ainda é desprezível, quando comparada com a situação A. Isso pode ter sido influenciado devido a sensibilidade do sensor ou pode indicar que o desalinhamento angular provocado não foi suficiente para sensibilizar o conjunto, que é bom ressaltar, é bastante rígido. Nesse caso pode-se recorrer à análise do nível global, que aumentou de 0,43 mm/s para 0,62 mm/s.

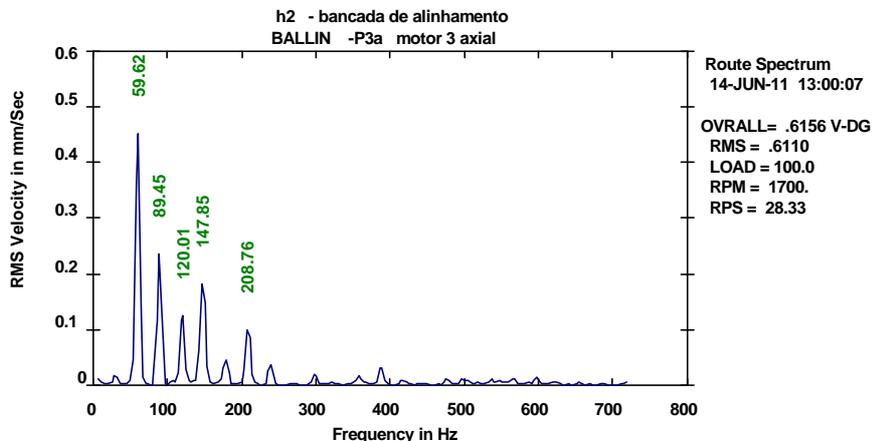


Figura 42 - Ponto 3 axial desalinhado DC (DP = 0,1 - 0,5 / DA = 0,08 - 0,1/100mm)

Fonte: OS AUTORES

As Figuras 43, 44 e 45 reforçam as análises feitas para o ponto 3, tanto nas medidas radiais como axial. A vantagem é poder se visualizar a variação relativa entre as condições, pois o multiespectro deixa todas as assinaturas espectrais na mesma escala.

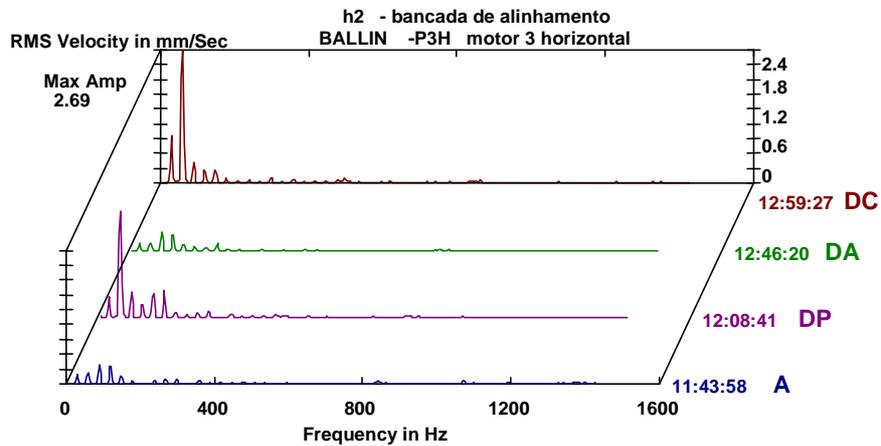


Figura 43 - Multiespectro das medidas horizontais no ponto 3

Fonte: OS AUTORES

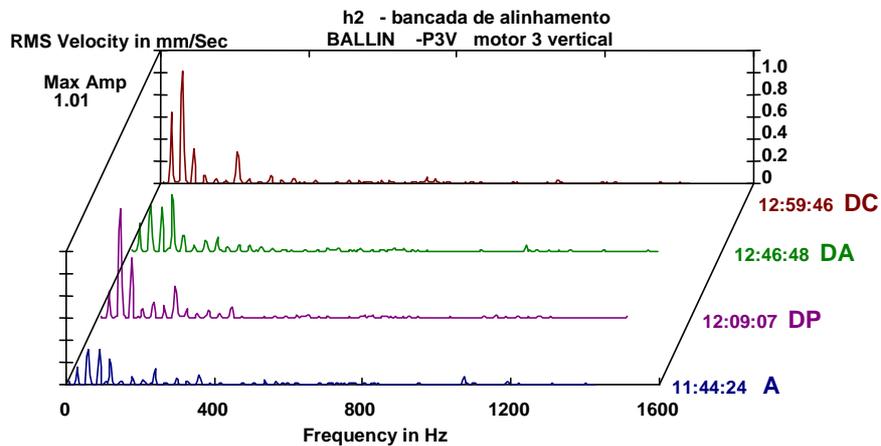


Figura 44 - Multiespectro das medidas verticais no ponto 3

Fonte: OS AUTORES

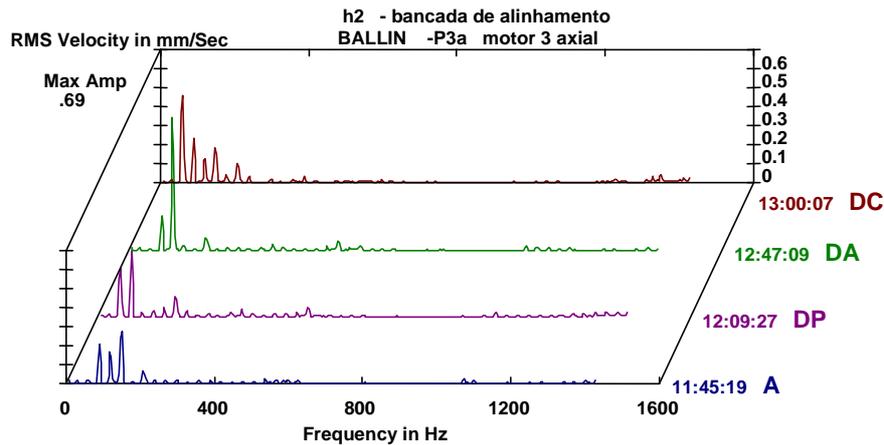


Figura 45 - Multiespectros das medidas axiais no ponto 3

Fonte: OS AUTORES

4.3 Considerações Finais

A conclusão geral das análises confirma o que se encontra na literatura técnica sobre as formas ou modos de desalinhamento. A bancada muito rígida pode dificultar um pouco a execução de práticas da bancada, já que a carga acionada é aproximadamente igual a zero. Logo sugere-se que a bancada seja modificada de forma a ficar mais flexível, ficando mais sensível aos desalinhamentos simulados em atividades didáticas, de pesquisa ou iniciação científica.

5 CONCLUSÕES

Ao término deste trabalho, analisando os resultados obtidos na bancada de alinhamento no quesito de uso prático do alinhador a *laser* e nos resultados da análise de vibração, constatou-se a necessidade de se realizar algumas modificações na bancada.

Com o uso do alinhador a *laser*, obteve-se um bom resultado no processo de alinhamento e desalinhamento, onde pode-se verificar a facilidade de análise e a praticidade que o alinhador a *laser* proporciona em relação aos demais métodos de alinhamento.

No processo de análise de vibrações verificou-se a necessidade de se flexibilizar um pouco a bancada, deixando-a mais sensível ao desalinhamento para um melhor resultado na execução das práticas. Contudo, os resultados obtidos ainda confirmam os dados obtidos no meio acadêmico.

Também, sugere-se que seja utilizado para acionamento do motor, um inversor de frequência, com intuito de verificar a influência da rede elétrica na análise de vibração.

Este trabalho proporcionou aprofundamento no conhecimento dos processos de alinhamento e análise de vibrações. Além disso estima-se que este trabalho propicie aos acadêmicos de manutenção industrial as condições laboratoriais necessárias e suficientes para se ter um maior aprendizado.

REFERÊNCIAS

ALBA *et al.* **Monitoramento da Condição dos Exaustores da Estação de Tratamento de Odores do Frigorífico Aurora – Unidade de Quilombo SC.** 2004. Monografia – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Alinhamento a *Laser*. Disponível em <<http://pruftechnik.com/>>. Acesso em fevereiro de 2011.

Alinhamento. Disponível em <<ftp://ftp.cefetes.br/Cursos>>. Acesso em abril de 2011.

Alinhamento a *Laser*. Disponível em <<http://www.opmec.com.br/>>. Acesso em abril de 2011.

Análise de Óleo. Disponível em <http://www.frato.com.br/interna_nova.php>. Acesso em abril de 2011.

CABRAL *et al.*, **Efeitos do Desalinhamento em Transmissão de Potência Motor-Bomba.** 2005. Disponível em <<http://www.dem.feis.unesp.br/>>. Acesso em março de 2011.

Catálogo Tinkem 2011. Disponível em <<http://www.timken.com/>>. Acesso em abril de 2011.

CESP – Companhia de Energia de São Paulo. Instruções de Manutenção. Disponível em <<http://intranet.cesp.com.br/>>. Acesso em abril de 2011.

Desalinhamento. Disponível em <<http://www.biblioteca.pucpr.br/>>. Acesso em março de 2011.

EASY-LASER. Alinhador a *Laser* D450. Disponível em <<http://www.easylaser.com/>>. Acesso em junho de 2011.

ENGEFAZ. Alinhamento. Disponível em <<http://www.engefaz.com.br>>. Acesso em abril de 2011.

HINES *et al.*, **Desalinhamento de Eixos Reduz a Vida dos Rolamentos.** 1998. Artigo. Disponível em <<http://www.mt-online.com>>. Acesso em fevereiro de 2010.

MARÇAL, R.F.M; SUSIN, A. A. Detectando Falhas Incipientes em Máquinas Rotativas. 2005. Disponível em <<http://www.pg.cefetpr.br/ppgep/revista/>>. Acesso em abril de 2011.

MELQUESEDEQUE, M. AC. **Identificação de Falhas em Sistemas Rotativos Empregando Técnicas Não-lineares.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em <<http://www.ebah.com.br/>>. Acesso em maio de 2011.

MGS Tecnologia. Serviço de Alinhamento a *Laser*. Disponível em <<http://www.mgstecnologia.com.br/alinhamento.html>>. Acesso em abril de 2011.

MIIT Serviços de Engenharia. Alinhamentos de Acoplamentos. 2010. Disponível em <<http://83.240.136.253/Miit/Portals/0/Inspecao/Artigos/>>. Acesso em abril de 2011.

MITUTOYO. Instrumentos de medição Manual. Disponível em <http://www.mitutoyo.com.br/>. Acesso em maio de 2011.

NICOLINI JR *et al.* **Bancada Para Ensaio e Detecção de Defeitos Localizados em Rolamentos**. 2003. Monografia – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

PACHOLOK, M. **Uso da Térmografia Para Avaliação do Desalinhamento de Eixos de Máquinas Rotativas: Uma ferramenta Auxiliar à Análise de Vibrações**. 2004. Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Disponível em <<http://www.biblioteca.pucpr.br/>>. Acesso em janeiro de 2011.

PIOTROWSKY, J. **A Importância de Alinhamento Entre Eixos**. 2010. Disponível em <<http://www.tecem.com.br/>>. Acesso em abril de 2011.

SENAI. **Alinhamento de Máquinas Rotativas**. 1997. Espírito Santo. Disponível em <<http://icando.com.br/livros/apostilas/>> Acesso em abril de 2011

ANEXOS

ANEXO I: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ALINHADOR A LASER

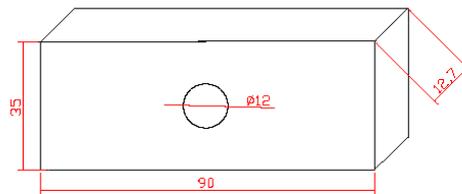
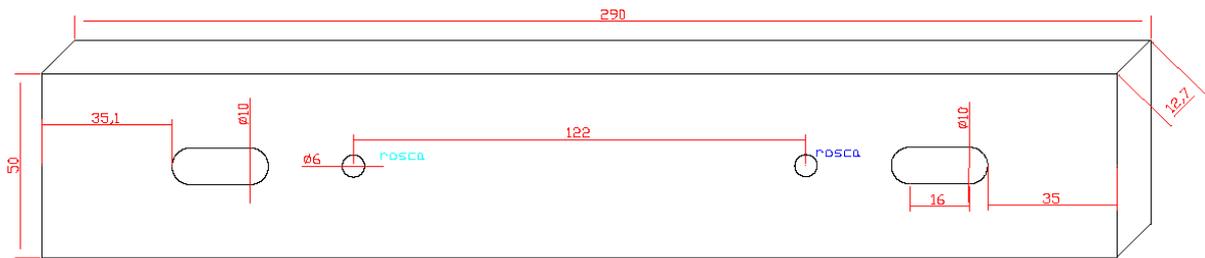
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS SISTEMA D450 EASY-LASER	
SISTEMA	
Programas	Alinhamento de máquinas Horizontal, Pé Manco
Distância de medição	Até 10 m
Temperatura de operação	00-50 ° C
Umidade relativa do ar	10-95%
Erro máximo exibido	+ 1% +1 dígito
Peso do sistema	5 kg
Dimensões	WxHxD: 420x320x110 mm
UNIDADE DE DISPLAY	
Tipo de Display	Matriz LCD 73x73 mm
Resolução exibida	Ajustável: 0.1, 0.01, 0.001 mm.
Bateria	4 x 1,5 V R14 (C)
Duração	24 horas
Conexão	RS232 para impressora e comunicação com o PC
Memória	1000 Medições de Alinhamento
Teclado	Membrana alfanumérica multifunção
Configurações	Filtro do valor, Contraste e unidade (mil/mil/mm) etc.
Invólucro	Alumínio anodizado/plástico ABS
Dimensões	WxHxD: 180 x 180 x 45 mm
Peso	1250 g
UNIDADES DE MEDIÇÃO (S, M)	
Material do invólucro	Alumínio anodizado
Tipo de laser	Diodo laser
Comprimento de onda do laser	635-670 nm, luz vermelha visível
Classe de segurança laser	Classe 2
Laser de potência de saída	<1 mW
Resolução	0,001 mm
Tipo de detectores	10 x 10mm
Nível	Resolução 0,5°
Proteção	Sem influência da luz ambiente
Dimensões	WxHxD: 60x60x50mm
Peso	198 g
ACESSÓRIOS PARA EIXOS	
Suporte	Suporte V para corrente, largura 18 mm
Material	Alumínio anodizado
Diâmetro do eixo	Ø 20-450 mm com corrente padrão
HASTES	
Material	Aço inoxidável
Comprimento	60 e 240 mm
CABOS	
Tipo	Com conectores de engate rápido
Comprimento	2 m

ANEXO II: COMPONENTES DO ALINHADOR A LASER EASY-LASER D450



- A – Unidade de Display
- B – Unidades de Medição “S-M”
- C – Hastes de Aço Inoxidável
- D – Suportes Universal em “V”
- E – Correntes de Fixação dos Suportes em “V”
- F – Cabos de Conexão
- G – Fita Métrica

ANEXO III: LAYOUT DE PEÇAS DA BANCADA DE ALINHAMENTO



ANEXO IV: PROGRAMA UTILIZADO PARA USINAGEM DAS PEÇAS

Rotinas utilizadas para das peças solicitadas para Trabalho de Diplomação

Máquina Utilizada: Centro de Usinagem Vertical VEKER CVK-800

Comando: Semens 802D-SL

Operador: Rafael Fratta

Programa para usinagem dos oblongos da peça maior:

TD1.MPF

G642

SOFT

FFWOF

G40 G90 G17 G71 G0

T01

M6

S900 M3

G1 F100

G0 Z10

MCALL CYCLE83(2.00000,0.00000, 2.00000, -14.00000, 0.00000, -4.0000, 4.00000, 1.00000, 0.00000, 1.00000,1)

X-96.9 Y0

X97

MCALL

T3

M6

S3500 M3

G0 Y0 X97

G1 Z0

OBLONGO P=13

G0 Z10

Y0 X97

G1 Z0

OBLONGO P=13

G0 Z200

M30

OBLONGO.SPF

G91

G1 Z-1

X-8

X16

X-8

G90

M17

Furação Para Rosca M6 peça maior.

TD02.MPF

G642

SOFT

FFWOF

G40 G90 G17 G0

T1

M6

S1500 M3

G1 F100

G0 Z10

```
MCALL CYCLE83(2.00000,0.00000, 2.00000, -14.00000, 0.00000, -4.00000, ,4.00000, 1.00000, 0.00000, 1.00000,1)
X61 Y0
X61
MCALL
G0 Z200
M30
```

Furação das peças menores.

TD03. MPF

```
F54 G90 G71 G17 G40 G0
```

```
T1
```

```
M6
```

```
S1200 M3
```

```
Z5
```

```
X0 Y0
```

```
G1 F50
```

```
CYCLE83 (2.00000, 0.00000, 2.00000, -15.00000, 0.00000,-4.00000, ,4.00000, 1.00000, 0.00000, 1.00000,0)
```

```
G0 Z200
```

```
T3
```

```
M6
```

```
S8000 M3
```

```
G0 Z5
```

```
X0 Y0
```

```
G1
```

```
CYCLE83 (2.00000,0.00000,2.00000,-15.00000, 0.00000, -4.00000, ,400000, 1.00000, 0.00000, 1.00000,0)
```

```
G0 Z200
```

```
M 30
```