

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
ENGENHARIA MECÂNICA

JEFFERSON ACÁSIO DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS MÉTODOS PARA  
ALINHAMENTO DE MÁQUINAS ROTATIVAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2015

JEFFERSON ACÁSIO DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS MÉTODOS PARA  
ALINHAMENTO DE MÁQUINAS ROTATIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Adailton Silva Borges

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2015



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
**Campus Cornélio Procópio**  
**Departamento Acadêmico de Mecânica**  
**Curso de Engenharia Mecânica**



## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Jefferson Acásio da Silva**

### **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS MÉTODOS PARA ALINHAMENTO DE MÁQUINAS ROTATIVAS.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 18:40hs do dia 16/06/2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof(a). Dr(a). Adailton Silva Borges - Presidente (Orientador)

---

Prof(a). Me(a). Fernando Henrique de Oliveira Camara - (Membro)

---

Prof(a). Me(a). Conrado Di Raimo - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

Dedico este trabalho a minha família que sempre me incentivou em busca de meus objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Adailton Silva Borges, pela sabedoria, amizade e paciência que me guiou nesta trajetória.

Aos grandes amigos que fiz durante minha jornada.

A todos os Coordenadores e a Secretaria do Curso, pela cooperação.

A todos que trabalham na Universidade Tecnológica Federal do Paraná e que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

O desalinhamento afeta diretamente três pessoas: o funcionário que é responsável em realizar o reparo, o encarregado pela máquina parada e a pessoa que paga as contas. (WOWK, V. 2000).

## RESUMO

SILVA, Jefferson A. **Análise comparativa entre dois métodos de alinhamento de máquinas rotativas**. 2015. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procopio, 2015.

O presente trabalho compara dois métodos de alinhamento de máquinas rotativa. O alinhamento por relógio comparador e o alinhamento a laser utilizados para reduzir a vibração em equipamentos. Dois relógios comparadores são utilizados para medir a posição relativa entre os eixos da máquina estacionária e da máquina móvel. O método escolhido é por face e topo que fixa um mecanismo no eixo da máquina estacionária e por meio de hastes posiciona dois relógios comparadores com o fuso aferindo o eixo da máquina móvel acoplada, um no topo e outro na face do eixo. A coleta de dados é a partir da rotação do conjunto onde os relógios medem a variação da posição relativa entre os eixos. Dessa forma podemos realizar uma análise indicando o desalinhamento do conjunto e os ajustes necessários para o alinhamento. O equipamento a laser realiza um processo mais aprimorado que envolve diversos conceitos substituindo os componentes mecânicos por elétricos, diminuindo os erros de medição e calculando automaticamente os ajustes necessários para o alinhamento. O acoplamento e seus tipos básicos são avaliados no trabalho. O trabalho apresenta um procedimento para efetuar o alinhamento na bancada de alinhamento e balanceamento do laboratório de sistemas dinâmicos e projetos mecânicos pelos métodos avaliados.

**Palavras-chave:** Desalinhamento, relógio comparador, laser, alinhamento de máquinas rotativas.

## ABSTRACT

SILVA, Jefferson A. **Comparative analysis between two alignment methods applied rotating machines.** 2015. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

The present work compare two methods of alignment of rotating machinery. The alignment by dial indicator and the laser alignment user to reduce vibration in equipment. Two dial indicators are used for measuring the relative positions between the shafts the moveable machine and stationary machine. The chosen methods for Face and Rim fixed the mechanism on the shaft of the stationary machine and through stem positioning two dial indicators with spindle gauging the shaft of the coupled moveable machine. One on rim and another on face. The data collection is from the rotation set where the dial indicators measure the change in the relative position between the shafts. That way we can perform an analysis indicating misalignment of the set and the necessary adjustments to the alignment. The laser equipment performs a most improver process involving several concepts replacing mechanical components for electrical, reducing the measurement errors and calculations the necessary adjustments to alignment. Coupling and its basic types are evaluated at work. The work presents a procedure to effect the alignment on alignment and balancing bench the laboratory dynamic systems and mechanical projects by methods evaluated.

**Keywords:** Misalignment, dial indicators, laser, alignment of machines rotary.



## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Níveis de tolerância no desalinhamento.....	18
--	----

## Lista de Figuras

Figura 1 – Exemplo de máquina rotativa.....	15
Figura 2 - Desalinhamento angular nos planos vertical e horizontal. ....	16
Figura 3 - Desalinhamento paralelo nos planos vertical e horizontal. ....	17
Figura 4 - Método indicadores reversos .....	24
Figura 5 - Parâmetro avaliados .....	25
Figura 6 - Parâmetros avaliados .....	26
Figura 7 - Método face e topo. ....	27
Figura 8 - Método face e topo. ....	28
Figura 9 - Método face e topo. ....	36
Figura 10 - Análise de resultados.....	39
Figura 11 - Todos os pontos necessários. ....	39
Figura 12 - Método face e topo. ....	40
Figura 13- Resultados do desalinhamento por Face e topo.....	54
Figura 14- Resultados completos de desalinhamento.....	54
Figura 15- Valores referentes ao desalinhamento horizontal. ....	56

## Lista de Fotografias

Fotografia 1 - Equipamento de alinhamento por relógio comparador.....	21
Fotografia 2 - Relógio comparador.....	22
Fotografia 3 - Montagem do método indicadores reversos. ....	23
Fotografia 4 - Equipamento de alinhamento a laser.....	30
Fotografia 5 - Bancada didática utilizada .....	31
Fotografia 6 - Equipamento de alinhamento por relógio comparador.....	32
Fotografia 7 - Proteção do eixo com fita.....	33
Fotografia 8 - Fixação da primeira braçadeira.....	34
Fotografia 9 - Haste adicionada ao conjunto.....	34
Fotografia 10 - Primeiro relógio comparador montado.....	35
Fotografia 11 - Relógio comparador e braçadeira do plano transversal.....	36
Fotografia 12 - Início da medição.....	37
Fotografia 13 - Segundo ponto da medição .....	37
Fotografia 14 - Segundo ponto da medição .....	38
Fotografia 15 – Unidades de medição.....	41
Fotografia 16 - Central .....	42
Fotografia 17 – Bancada didática.....	43
Fotografia 18 – Detalhe do compartimento das pilhas .....	43
Fotografia 19 – Detalhe do gancho para a corrente.....	44
Fotografia 20 – Haste do tensor.....	44
Fotografia 21- Detalhe do laser atingindo o sensor nos dois componentes.....	45
Fotografia 22 - Equipamento pronto para a medição.....	45
Fotografia 23 – Tema inicial .....	47
Fotografia 24 – Escolha do modo de medição .....	48
Fotografia 25 – Sensores alinhados.....	48
Fotografia 26 – Distâncias iniciais.....	48
Fotografia 27 – Distâncias iniciais.....	49
Fotografia 28 – Primeira posição.....	49
Fotografia 29 – Segundo e terceiro ponto de medição.....	50
Fotografia 30 – Segundo e terceiro ponto de medição.....	50
Fotografia 31 – Sentidos de ajuste nos eixos.....	51

Fotografia 32 – Distâncias iniciais.....	52
Fotografia 33– Valores indicados.....	52
Fotografia 34– Valores de desalinhamento no plano do acoplamento.....	57
Fotografia 35 – Valores de desalinhamento no plano horizontal.....	57
Fotografia 36 – Valores de desalinhamento no plano horizontal.....	58
Fotografia 37 – Valores de desalinhamento no plano vertical.....	58
Fotografia 38 – Alinhamento horizontal final .....	59
Fotografia 39 – Alinhamento horizontal final .....	59

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 METODOLOGIA .....	16
1.1.1 Tipos de desalinhamento.....	16
1.1.2 Diagnosticando causas do desalinhamento.....	17
1.1.3 Desalinhamento na operação.....	17
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.2.2 Objetivos gerais.....	18
1.2.3 Objetivos específicos.....	18
1.3 PREMISSAS E CONSIDERAÇÕES .....	18
1.3.1 Fundação.....	19
1.3.2 Grout.....	19
1.3.3 Placa de base.....	19
1.3.4 Rolamento.....	19
1.3.5 Acoplamentos.....	20
1.3.5.1 Tipos de Acoplamentos.....	20
<b>2. ALINHAMENTO DE MÁQUINAS ROTATIVAS</b> .....	<b>21</b>
2.1 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO POR RELÓGIO COMPARADOR .....	21
2.1.1 Relógio Comparador.....	21
2.2 MÉTODOS DE ALINHAMENTO POR RELÓGIO COMPARADOR .....	22
2.2.1 Indicadores Reversos.....	23
2.2.1.1 Equações de análise.....	26
2.2.2 Face e topo.....	27
2.3 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO A LASER .....	29
2.4 ALINHAMENTO A LASER .....	30
<b>3. INTRODUÇÃO TEÓRICA – PROCEDIMENTOS PARA APLICAR UM ALINHAMENTO</b> .....	<b>31</b>
3.1 ALINHAMENTO POR RELÓGIO COMPARADOR .....	31
3.1.1 Preparando para a medição.....	32
3.1.2 Cronograma de desenvolvimento.....	32
4.1 ALINHAMENTO A LASER .....	41
4.1.1 Lista de componentes.....	41

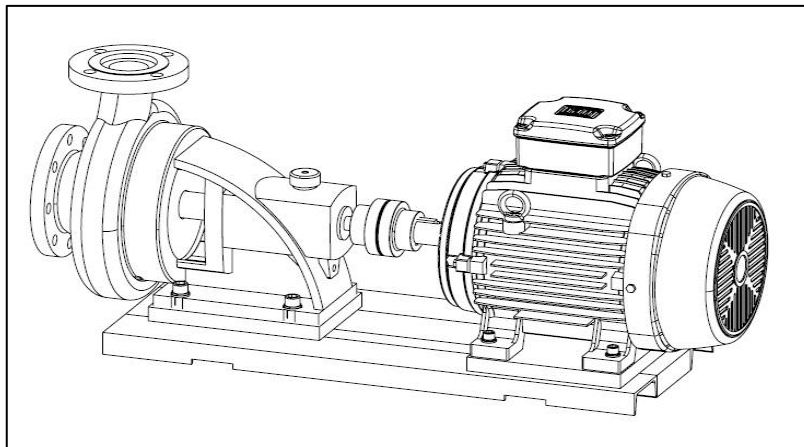
4.1.2 Montagem.....	42
4.1.3 Funções de pré-alinhamento.....	46
4.1.4 Iniciando o programa.....	46
4.1.4.1 Métodos de medição.....	47
4.1.5 Avaliando os resultados.....	51
4.1.5.1 Calços.....	52
<b>4. PRÁTICAS APLICADAS AOS MÉTODOS DE ALINHAMENTO.....</b>	<b>53</b>
4.1 MÉTODO FACE E TOPO .....	53
4.1.1 Análise vertical.....	55
4.1.2 Análise Horizontal.....	55
4.2 MÉTODO DE ALINHAMENTO A LASER .....	56
<b>5. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....</b>	<b>60</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As máquinas rotativas possuem grande importância na indústria e, realizam as mais diversas funções, em que se busca maior eficiência e produtividade. Em geral, são conjuntos conversores de energia, formadas por máquina motriz e máquina operadora. Os exemplos mais comuns são bombas hidráulicas, exaustores e geradores. O trabalho gerado pela máquina motriz pode ser transferido por um acoplamento axial, com as máquinas dispostas na mesma linha de centro. Contudo, isso é uma hipótese teórica, pois na prática o alinhamento absoluto não é alcançado, pois, por mais precisa que se realize o alinhamento de uma máquina, sempre existe um valor residual, que deve estar abaixo da norma, para que a mesma opere em perfeitas condições de trabalho. (WOWK, 2000)

Destaca-se que, com o passar do tempo, o desgaste de peças e o aparecimento de folgas mecânicas, pode levar ao aumento do desalinhamento, que acarreta diversos fatores, que influenciam no funcionamento da máquina, como, o aumento considerável nos índices de vibração mecânica, e podem levar as máquinas e equipamentos ao colapso.

Segundo Sekhart (1994, p.3), o alinhamento impróprio dos eixos, causam forças e momentos impróprios ao processo. Em busca da maximização da vida útil, do aumento do *lead time* de produção e da redução do tempo de máquina parada, o alinhamento correto deve ser considerado de fundamental importância pelo encarregado na manutenção da máquina. O desalinhamento causa movimentos oscilatórios que formam uma resistência indesejada na transmissão, consumindo energia e desgastando prematuramente os componentes como mancais, rolamentos, rotores, entre outros.



**Figura 1 – Exemplo de máquina rotativa**  
Fonte: Adaptado de Wowk (2000, p. 3).

Na indústria, a manutenção tem a responsabilidade em manter as máquinas dentro da tolerância de alinhamento, evitando quebras, manutenções corretivas e custos indesejados. O alinhamento de eixos caracteriza-se por uma manutenção preditiva, pois, é realizada quando o equipamento apresenta sintomas que levam a falha, como a vibração. Grande parte da vibração em máquinas rotativas é produzida pelo desalinhamento dos eixos, desenvolvendo forças relativas ao nível de desalinhamento. Os níveis de vibração e o tempo de falha prematura, tem comportamentos inversamente proporcionais (HEINEMANN, 2005, p.199).

Os mais diversos métodos para correção do desalinhamento seguem o princípio de avaliar as distâncias relativas entre vários pontos discretos do eixo, e fornecem ajustes, necessários para a posição de alinhamento da máquina rotativa.

O alinhamento por relógio comparador possui diferentes tipos de configurações, ou arranjos de instrumento de medição. Os três principais são: Face e topo, indicadores reversos e distância face a face (HEINEMANN, 2005, p. 205). Sistemas de alinhamento laser são fundamentados nos mesmos princípios dos indicadores reversos, mas substituem os erros em componentes mecânicos, tais como desvio em medidores e deflexão em hastes de montagem com um dispositivo óptico, tal como um laser (MOBLEY, 2004, p. 93). No presente trabalho será comparado dois métodos de alinhamento de máquinas rotativas, um mecânico e outro a laser, que com sua utilização, previne possíveis quebras e desgastes prematuros no equipamento.



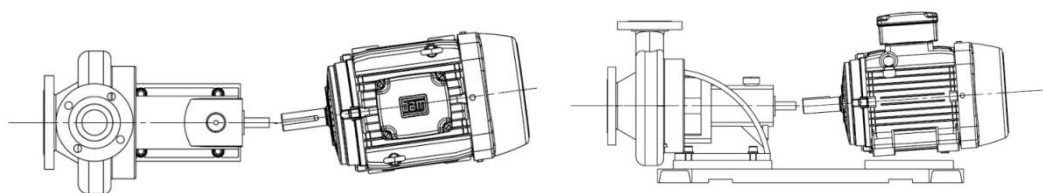
## 1.1 METODOLOGIA

Os ajustes na posição das máquinas, motriz e operadora, devem ser realizados em apenas uma delas por vez. Em suas instalações, a máquina operadora é instalada com diversos componentes, em que, seriam inviáveis os ajustes de posição. Dessa forma, a máquina operadora caracteriza-se como fixa. A máquina que pode ser deslocada, é caracterizada como móvel. Assim os ajustes são aplicados somente a máquina móvel. Dois eixos perfeitamente alinhados são colineares e funcionam como um eixo sólido. No entanto, é extremamente raro, dois eixos serem perfeitamente alinhados (MOBLEY, 2004, p. 74). A seguir serão discutidos os principais tipos de desalinhamento, assim como, os diversos fatores que devem ser levados em conta para realizar a correção de um desalinhamento.

### 1.1.1 Tipos de desalinhamento

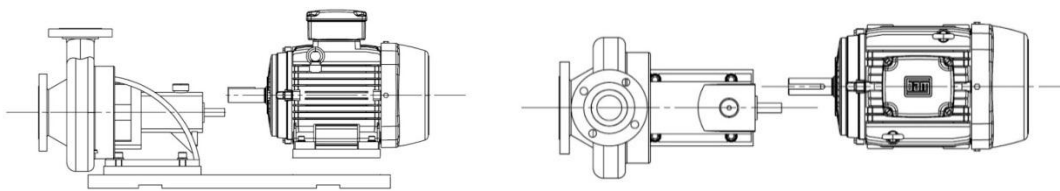
No processo de manutenção, o desalinhamento é analisado nos planos horizontal e vertical, formando dois tipos distintos de desalinhamento em cada plano, o desalinhamento angular e o desalinhamento paralelo.

- O desalinhamento angular é aquele em que as linhas de centro formam um ângulo entre si e se cruzam no ponto central do acoplamento.



**Figura 2 - Desalinhamento angular nos planos vertical e horizontal.**  
Fonte: Adaptado de Mobley (2004, p. 75).

- O desalinhamento paralelo é aquele em que as linhas de centro não se mantendo a distância entre as linhas de centro. Via de regra, os dois desalinhamentos são presentes nos dois planos;



**Figura 3 - Desalinhamento paralelo nos planos vertical e horizontal.**  
**Fonte: Adaptado de Mobley (2004, p. 75)**

### 1.1.2 Diagnosticando causas do desalinhamento

A grande característica do desalinhamento é a vibração, que é transferida para todos os elementos da máquina. O início da manutenção realiza o diagnóstico estático, feito através de perguntas ao responsável do equipamento, este diagnóstico pode ser feito a distância.

- Foi checado o alinhamento depois do último procedimento de manutenção?
- Qual o método de alinhamento foi utilizado?
- Como era o ruído da máquina durante o processo?
- Qual o histórico de reparo da máquina?

O histórico de manutenção é um fator importante de ser averiguado. Falhas de acoplamento, rolamentos ou reparos na base, podem ser indícios que não somente o alinhamento dos eixos é suficiente para acabar com a vibração em excesso.

### 1.1.3 Desalinhamento na operação

O desalinhamento pode ser notado com a presença de ruído, vibração, consumo excessivo de energia e aquecimento de rolamentos. Esses fatores, podem ser facilmente quantificados quando a máquina está em operação. A busca pelo alinhamento visa atingir limites de vibração que são aceitáveis, e não prejudicam o funcionamento da máquina. Os níveis de tolerância no desalinhamento são relacionados a rotação da máquina.

Tabela 1 – Níveis de tolerância no desalinhamento

Rpm	Desalinhamento Angular		Desalinhamento Paralelo	
	mm/100 mm	0,001"/1"	Mm	0,001"
0 – 1000	0,1	1	0,13	5,1
1000 – 2000	0,08	0,8	0,1	3,9
2000 – 3000	0,07	0,7	0,07	2,8
3000 – 4000	0,06	0,6	0,05	2
4000 - 5000	0,05	0,5	0,03	1,2

Fonte: Fixturlaser user's manual.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.2 Objetivos gerais

O presente trabalho tem por objetivo, comparar dois métodos de alinhamento de máquinas rotativas, indicando fatores relevantes e características no processo de manutenção.

### 1.2.3 Objetivos específicos

Os objetivos específicos cabem em compreender os métodos, efetuar considerações sobre os equipamentos e componentes, avaliar sua utilização e características da manutenção mecânica. Por fim, o desenvolvimento de procedimentos para efetuar o alinhamento em uma bancada de alinhamento e balanceamento do laboratório de equipamentos dinâmicos e projetos mecânicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Cornélio Procópio.

## 1.3 PREMISSAS E CONSIDERAÇÕES

Segundo Heinemann, durante o alinhamento é imprescindível que a máquina esteja desligada, o acionamento durante o processo, pode resultar em um acidente de trabalho. O alinhamento deve ser realizado por um profissional qualificado, com conhecimentos específicos que podem influenciar no êxito da

manutenção. Alguns procedimentos são fundamentais para alcançar o objetivo do alinhamento. Inicialmente, realizasse a verificação dos componentes do equipamento para detectar possíveis falhas ou discordâncias, tais como:

- Fundação;
- *Grout*;
- Placa de base
- Mancais;
- Rolamento;
- Eixos
- Acoplamento.

### 1.3.1 Fundação

A fundação deve ser de concreto e possuir no mínimo três vezes o peso da máquina. Deve ser resistente, de modo a suportar todos os esforços previstos, estar em condições adequadas e dimensionada da forma correta.

### 1.3.2 *Grout*

Material epóxi que preenche a fundação e a placa base do equipamento. A verificação da sua condição pode ser realizada com pequenos choques mecânicos a fim de encontrar partes ocas.

### 1.3.3 Placa de base

Elemento onde são dispostas as máquinas. Deve ser projetada com as características necessárias, como rigidez, nivelamento e tolerância de posição.

### 1.3.4 Rolamento

Componente presente na máquina fixa e na máquina móvel. Desenvolve o movimento de giro do eixo. Com a presença da vibração o rolamento pode apresentar folgas em seus componentes. Todos os rolamentos das máquinas devem ser verificados.

### 1.3.5 Acoplamentos

A função dos acoplamentos é em transferir energia mecânica, entre a máquina móvel e a máquina estacionária, também amortecem a vibração e o desalinhamento. Ao longo da operação da máquina, devesse verificar as condições do acoplamento e de seus componentes.

#### 1.3.5.1 Tipos de Acoplamentos

Segundo Wowk (2000, p. 324), os acoplamentos são classificados em três tipos. Os tipos rígidos, de articulação simples ou de dupla articulação. Os acoplamentos rígidos não utilizam articulações, suas aplicações são em eixos com maior elasticidade e em equipamentos com pequenas dimensões. Os acoplamentos de articulação simples são os mais utilizados, e podem resistir a desalinhamentos angulares e paralelos. Acoplamentos de dupla articulação, são utilizados para conjuntos de grande porte, suportam grandes desalinhamentos angulares e paralelos nos dois planos.

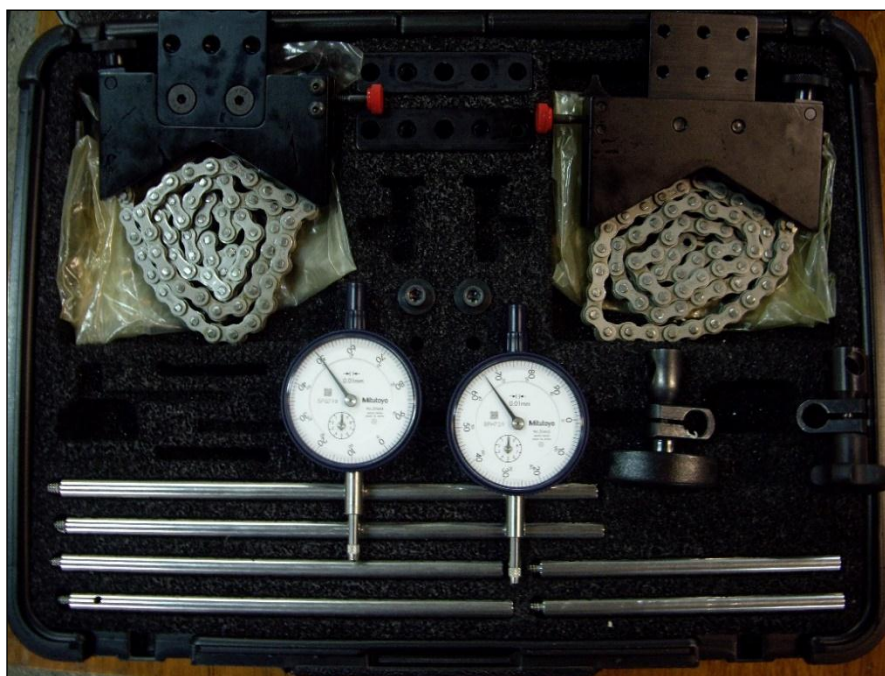
O acoplamento utilizado na bancada em que o trabalho foi realizado é do tipo articulação simples. Contendo um elastômero, o acoplamento suporta grandes níveis de desalinhamento em todas as direções. “Comum em máquinas com até 3600 rpm e 2000 hp.” (WOWK, 2000 p. 328).

Alguns aspectos precisam ser observados no início de um alinhamento, procedimentos que podem ser realizados de maneira rápida e simples, para verificar as condições reais da máquina. Os equipamentos de medição que são avaliados no trabalho são, o relógio comparador e o sensor a laser. A medição pode determinar somente o valor aproximado levando em consideração a resolução do equipamento. A precisão da medição do equipamento mecânico é da ordem de um centésimo de milímetro (0.01mm). A precisão dos sensores a laser, é de milésimo de milímetro (0,001mm). Evidentemente no alinhamento a laser em possuir uma precisão consideravelmente maior que o alinhamento por relógio comparador.

## 2. ALINHAMENTO DE MÁQUINAS ROTATIVAS

### 2.1 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO POR RELÓGIO COMPARADOR

O equipamento de alinhamento é mostrado na Fotografia 1, composto por duas braçadeiras ajustáveis, dois relógios comparadores, duas barras de ajuste, três pares de hastes extensoras e duas presilhas.



Fotografia 1 - Equipamento de alinhamento por relógio comparador  
Fonte: Autoria Própria

#### 2.1.1 Relógio Comparador

O relógio comparador, exemplificado na Fotografia 2, é um equipamento de precisão que indica pequenas variações de movimento. Composto em síntese por uma carcaça, um mecanismo que amplifica o movimento, um fuso que desenvolve o movimento e uma escala graduada. Esta escala é móvel, para ajustes de início. A disposição do relógio, em um processo de alinhamento, se faz da forma no qual o método é aplicado.



Fotografia 2 - Relógio comparador

Fonte: imagem disponível em <http://www.mitutoyo.com.br/>

## 2.2 MÉTODOS DE ALINHAMENTO POR RELÓGIO COMPARADOR

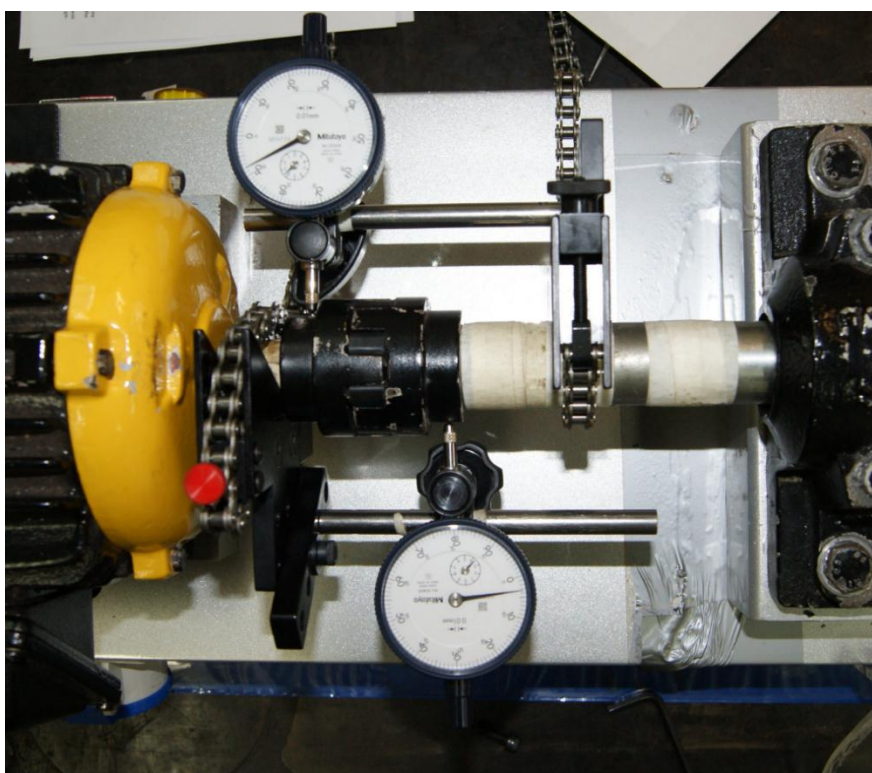
O presente trabalho apresenta dois métodos mais comuns de alinhamento de máquinas rotativas. Essas configurações diferem na forma de montagem e na análise praticada. Sendo esses:

- Indicadores reversos;
- Face e topo.

Os dois métodos possuem características específicas e com diferentes aplicações. Devido as disposições dimensionais da bancada, não foi possível realizar o método de indicadores reversos. O equipamento de medição montado aos eixos da bancada, forma um conjunto incapaz em efetuar o giro necessário, com uma variação pequena, contudo, a análise foge do objetivo do trabalho e pode ser aplicada em trabalhos futuros. Dessa forma, será realizado apenas o método por face e topo do alinhamento por relógio comparador.

### 2.2.1 Indicadores Reversos

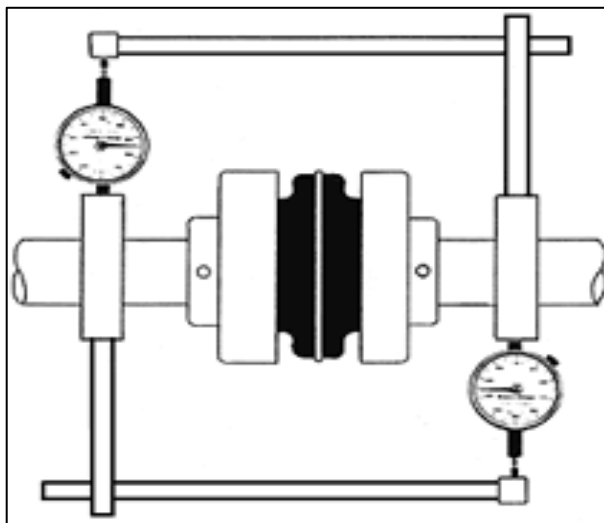
A característica básica deste método é a aquisição de dois pontos que indicam a distancias entre os eixos. Os relógios comparadores são dispostos, independentes em cada eixo. Uma braçadeira é fixada em um ponto rígido do eixo da máquina móvel, as hastes posicionam o relógio comparador com a ponta de contato aferindo o eixo da máquina fixa. A outra braçadeira, haste e relógio comparador são disposto da máquina fixa para a móvel, completando o sistema. A Fotografia 3 demonstra como o método pode ser montado na bancada didática, ressaltando as condições de montagem dificultando a realização do método.



**Fotografia 3 - Montagem do método indicadores reversos.  
Fonte: Autoria própria**

Com isso, adquirisse dois pontos por conjunto. Um ponto é a referência da linha de centro, do eixo em que é fixado a braçadeira e o conjunto, o outro é a variação relatada pelo relógio comparador no ponto aferido. As distâncias entre os pés da máquina e os pontos de medição dos relógios, são fundamentais para realizar as análises do desalinhamento. A figura 4, referência o método aplicado, exemplificando a montagem.





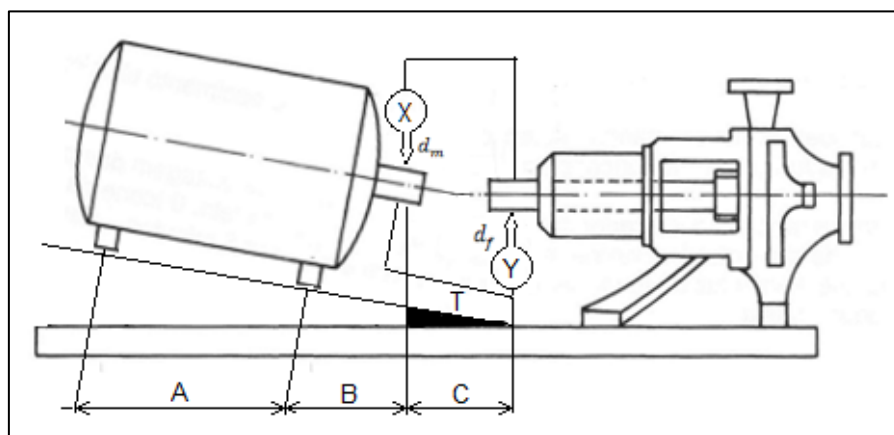
**Figura 4 - Método indicadores reversos**  
Fonte: Adaptado de Wowk (2000, p. 98).

A localização da braçadeira de fixação no eixo não é relevante, juntamente com as hastes formam componentes rígidos que acompanham o giro do eixo. Os quatro fundamentos necessários para realizar o método por indicadores reversos são:

1. **Alinhamento de eixo para eixo.** As medições de alinhamento devem ser realizadas em um local rígido que acompanha diretamente o movimento da rotação. Se os pontos aferidos nas medições forem realizados na face do acoplamento, aumentasse as chances desse acoplamento conter desalinhamento com seu eixo. Dessa maneira, é indicado que o relógio comparador esteja aferindo a partir do eixo diretamente.
2. **Todo desalinhamento é angular.** É incomum que dois eixos sejam perfeitamente paralelos. O método mede a posição dos eixos separadamente em dois planos axiais, plotando dois pontos de cada eixo, assim, projetando as orientações angulares e calculando os ajustes necessários em cada pé da máquina.
3. **Dois pontos definem uma linha.** Com a aquisição dos pontos pelo método, adquirisse as distâncias entre as linhas de centro dos eixos, porém, se o relógio comparador de um conjunto se posicionar no ponto em que as linhas de centro dos eixos se cruzam, a variação será mínima. No entanto,

avaliando o outro conjunto, possibilita outra relação, indicando os reais desalinhamentos.

4. **Cálculos de ajustes.** Os ajustes são analisados vinculando as medições adquiridas, com as distancias do pé da máquina, por semelhança de triângulos. A figura 5 demonstra as dimensões associadas ao processo.

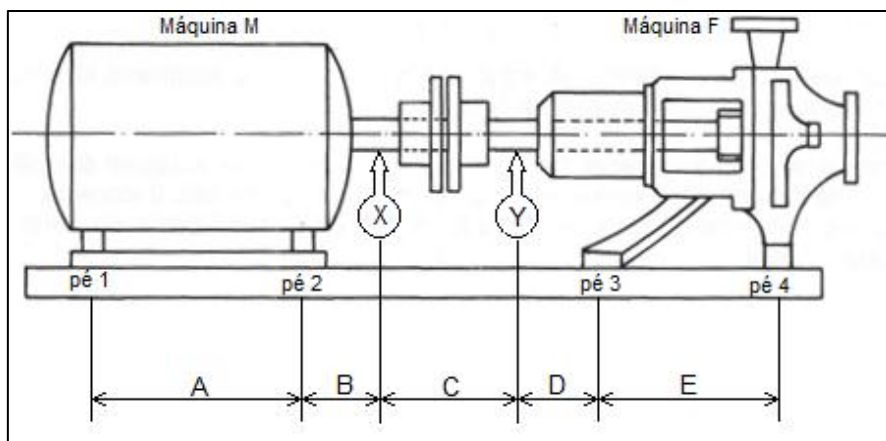


**Figura 5 - Parâmetro avaliados**  
**Fonte: Adaptado de Wowk (2000, p. 102).**

Os valores do relógio comparador,  $x$  e  $y$ , a partir do triângulo  $T$ , refletem os ajustes necessários nos pés da máquina. Dessa forma, coletando medições em quatro pontos distintos, ao longo do giro do eixo de  $360^\circ$ , com o intervalo de  $90^\circ$  entre um ponto e outro. A posição do instrumento de medição deve ser perpendicular a face do eixo medido, isso evita erros provenientes do ângulo formado. No ponto de início da medição, o relógio comparador é configurado em zero, geralmente na posição de 12 horas, por conseguinte, o outro na posição de 6 horas. A rotação é feita manualmente, coletando as informações dos valores em cada posição. Ao realizar a rotação do equipamento, é necessário checar se ao retornar a algum ponto conhecido, o valor continua igual, ou próximo, do que apresentava antes. Grandes variações do mesmo ponto indicam que o equipamento não possui uma montagem adequada.

## 2.2.1.1 Equações de análise:

As fórmulas utilizadas seguem os parâmetros indicados na figura 6:



**Figura 6 - Parâmetros avaliados**

Fonte: Adaptado de Victor Wowk (2000, p.104)

Essas fórmulas são equivalentes para os planos horizontal e vertical, utilizando as medições nos planos desejados. Se a máquina móvel for a máquina M as fórmulas serão:

$$\text{Ajustes no Pé 1} = \frac{(x+y)(A+B+C)}{2C} - \frac{y}{2} \quad (1)$$

$$\text{Ajustes no Pé 2} = \frac{(x+y)(B+C)}{2C} - \frac{y}{2} \quad (2)$$

Se a máquina móvel for a F, as fórmulas serão:

$$\text{Ajustes no Pé 3} = \frac{(x+y)(C+D)}{2C} - \frac{x}{2} \quad (3)$$

$$\text{Ajustes no Pé 4} = \frac{(x+y)(C+D+E)}{2C} - \frac{x}{2} \quad (4)$$

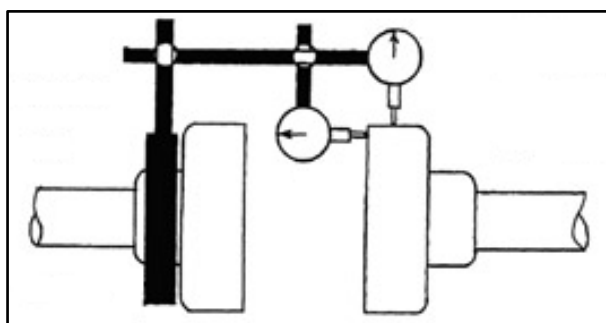
No plano vertical, quando os valores de ajuste forem positivos, faz-se necessário levantar a máquina, adicionando calços. Se forem negativos, é necessário baixar a máquina. O relógio comparador é zerado no topo e a variação completa é adquirida na parte de baixo, na posição de 6 horas.

No plano horizontal, se os valores forem positivos, o ajuste deve ser realizado para a esquerda, se negativos para a direita. O ponto de referência que o profissional técnico deve considerar, é a partir de traz da máquina móvel. A medição do lado esquerdo, por convenção, deve ser zerada. As fórmulas utilizam somente a variação encontrada, assim o outro lado aponta a variação total da posição.

### 2.2.2 Face e topo

Este método avalia a posição dos eixos, geometricamente, em um plano transversal e outro radial ao eixo. Sendo um ponto e um ângulo suficientes para definir uma linha, o conceito pode então ser aplicado para mensurar o desalinhamento de máquinas.

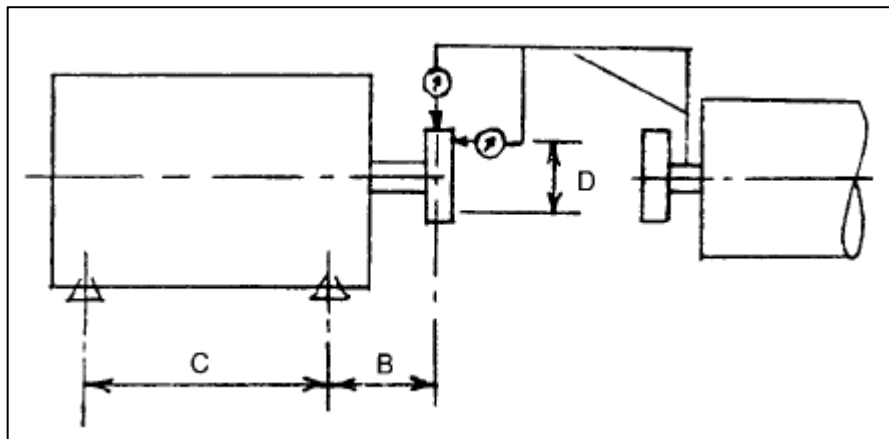
Uma braçadeira é fixada no eixo da máquina fixa em um ponto rígido, e por haste(s), posiciona dois relógios comparadores aferindo o outro eixo nos planos vertical e horizontal. Conforme mostra a Figura 7.



**Figura 7 - Método face e topo.**  
**Fonte: Adaptado de Victor Wowk (2000, p. 129).**

O relógio comparador, que aferi o plano radial, determina a distância entre as linhas de centro do eixo, da máquina móvel e da máquina fixa naquele ponto. No relógio comparador, a face transversal obtém a distância no plano do eixo. O ângulo desse plano é diretamente relacionado com o desalinhamento angular presente no conjunto. Assim com o ponto e um ângulo podemos definir completamente a

disposição entre as linhas de centro dos eixos. A partir desses valores, pode-se calcular o desalinhamento. Cálculos utilizando o auxílio de um gráfico não são necessários. Os parâmetros para os cálculos são mostrados na Figura 8:



**Figura 8** - Método face e topo.

Fonte: Adaptado de Heinemann (2005, p. 227).

C = Distância entre os pés da máquina móvel;

B = Distância entre o plano medido e o pé dianteiro da máquina móvel;

D = Diâmetro do local aferido pelo relógio comparador;

F = Ajuste necessário para o pé traseiro

R = Ajuste necessário para o pé dianteiro

Com as medidas do relógio comparado e as distâncias mostradas na figura, é possível calcular os ajustes necessários pelas seguintes fórmulas:

$$F = b_F \frac{B}{D} - \frac{b_R}{2} \quad (5)$$

$$R = b_F \frac{C+B}{D} - \frac{b_R}{2} \quad (6)$$

Esses parâmetros são equivalentes, utilizados nos planos horizontal quanto vertical. O ponto referencial de coleta de dados, pelo observador, é atrás da máquina móvel. No plano vertical, os valores de F e R quando são positivos,

apontam a necessidade de a máquina móvel ser elevada da sua posição atual. E para valores de F e R negativos, devesse abaixar a posição da máquina.

Em quanto ao plano horizontal, uma das medidas deve ser zerada. Aplicando a diferença entre as medidas laterais, encontramos a distância total do desalinhamento naquele ponto. Posteriormente, é analisado com as mesmas equações do plano vertical. Se os valores de F e R forem positivos, o ajuste necessário se faz movimentando a máquina móvel para a esquerda. Para valores negativos, os ajustes serão para o lado direito.

### 2.3 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO A LASER

O equipamento é disposto em uma maleta que organiza e protege todos os acessórios. Tendo em vista que o equipamento é frágil e seu manuseio deve ser cauteloso. A seguir são listados os principais componentes que formam este equipamento, conforme mostrado na Fotografia 4:

- Dois sensores a laser;
- Central;
- Hastes extensoras;
- Correntes extensoras;
- Cabos de conexão direta dos sensores;
- Fonte de alimentação da central;
- Manual do equipamento em cartilha;
- Manual do equipamento em cd;
- Trena;
- 6 pilhas AA;
- Haste de aperto do tensor.



Fotografia 4 - Equipamento de alinhamento a laser  
Fonte: Autoria própria

## 2.4 ALINHAMENTO A LASER

O alinhador a laser é um conjunto que mede o deslocamento radial por componentes eletrônicos. Ele avalia um movimento mecânico por três conceitos: luz, dinâmica e energia elétrica; tornando este processo mais complexo. Os parâmetros utilizados pelo equipamento são a variação da energia captada, o método de indicadores reversos e os cálculos computacionais referentes. O conjunto é formado de duas unidades de medição e uma central, que processa os dados enviados (WOWK, 2000 p. 315).

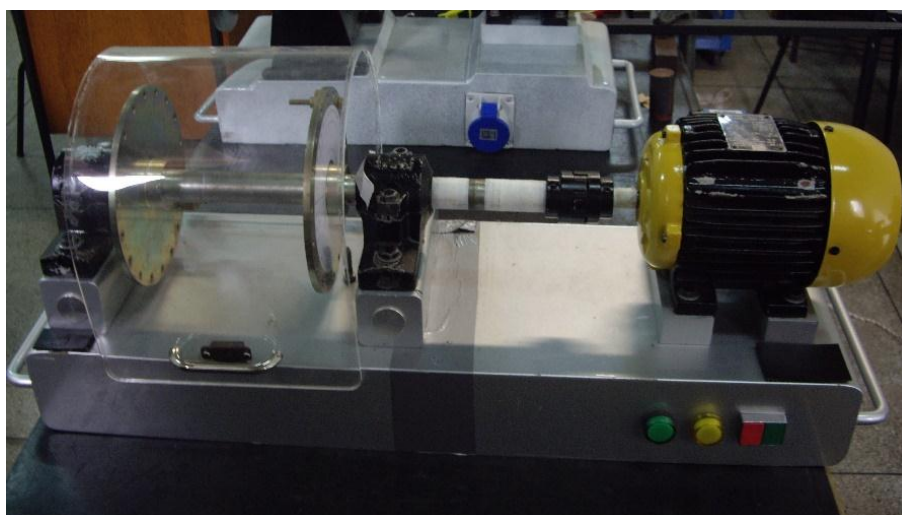
As unidades de medição são constituídas de um laser e um sensor, utilizando duas unidades montadas frontalmente, em cada eixo. Os dados são enviados a central que calcula os ajustes necessários para o alinhamento. Primeiramente é configurado a posição dos sensores. Depois o equipamento indica o movimento a ser realizado, no sentido horário ou anti-horário. Com isso, a central realiza os cálculos de desalinhamento no acoplamento da máquina. Em seguida é requisitado as distâncias entre os pés da máquina e os sensores. Por fim, o equipamento de alinhamento indica os ajustes que devem ser realizados. Este equipamento substitui os métodos mecânicos, eliminando erros de deflexão das hastes utilizadas no relógio comparador.

### 3. INTRODUÇÃO TEÓRICA – PROCEDIMENTOS PARA APLICAR UM ALINHAMENTO

A presente seção tem a finalidade de evidenciar os procedimentos realizados no decorrer de alinhamentos de máquinas rotativas. Desta forma, deseja-se: Determinar e ajustar a posição relativa de duas máquinas acopladas, de modo que o centro rotacional dos eixos seja colinear, quando a máquina está em perfeitas condições de funcionamento e corrigir o desalinhamento através de ajustes dos pés frontal e traseiro da máquina móvel, nos planos vertical e horizontal.

#### 3.1 ALINHAMENTO POR RELÓGIO COMPARADOR

A fim de evidenciar os procedimentos necessários para realizar o alinhamento, utilizou-se a bancada experimental mostrada na fotografia 5. A bancada utilizada é simples, sendo composta por: um motor elétrico trifásico, um acoplamento e dois mancais. Destaca-se que, a bancada é utilizada com o intuito didático, para formar conceitos de aplicações práticas na manutenção em laboratório, entretanto, simula os efeitos encontrados nas mais diversas indústrias.

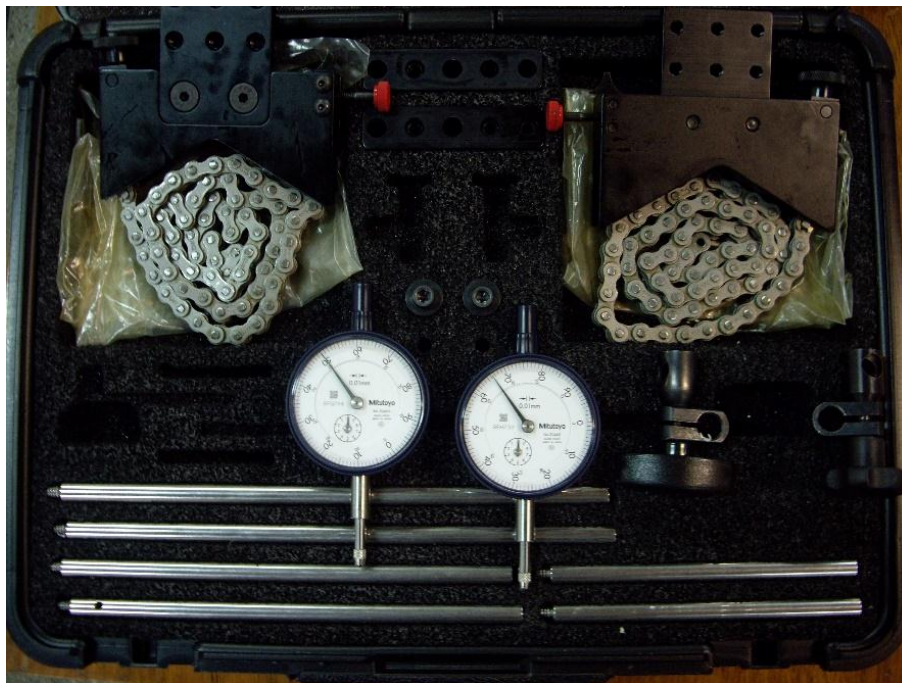


**Fotografia 5 - Bancada didática utilizada**  
**Fonte: Autoria própria**

Já na Fotografia 6 são mostrados o conjunto de equipamentos utilizados para efetuar o alinhamento utilizando relógios comparadores. O conjunto é formado



por duas braçadeiras ajustáveis, seis hastes de fixação e dois relógios comparadores.



**Fotografia 6 - Equipamento de alinhamento por relógio comparador**  
Fonte: Autoria própria

### 3.1.1 Preparando para a medição

Os processos de manutenção devem ser realizados seguindo um cronograma que auxilia na melhor execução do serviço. As instruções a seguir remetem esses fatores, indicando pontos essenciais para a obtenção do alinhamento almejado. A avaliação das condições do equipamento de medição, deve ser levada em consideração para a execução da manutenção. Para avaliar os resultados, o operador deve adotar o ponto de vista atrás da máquina móvel, efetuando a coleta de dados referencialmente a máquina móvel.

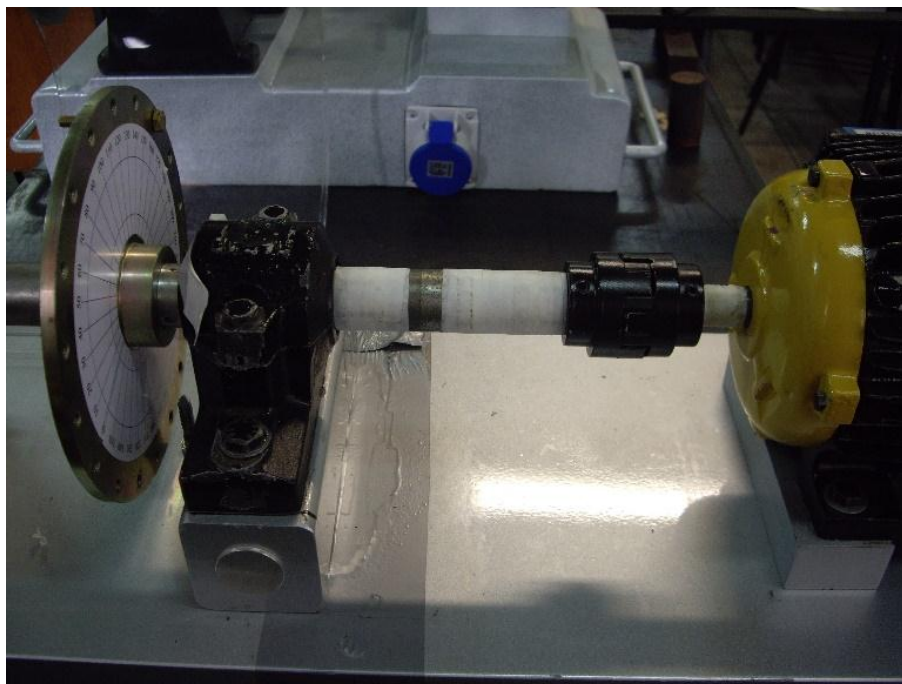
### 3.1.2 Cronograma de desenvolvimento

Na presente seção será mostrada, de forma detalhada, os principais procedimentos envolvidos no alinhamento de máquinas rotativas utilizando relógio comparador. Na Fotografia 7 é mostrado a região onde serão acopladas as

braçadeiras. Para efetuar este procedimento é necessário observar os seguintes itens:

1 - Garantir que a máquina esteja e permaneça desligada;

2 - Proteger a região do eixo onde o equipamento for fixado para evitar corrosão conforme a Fotografia;



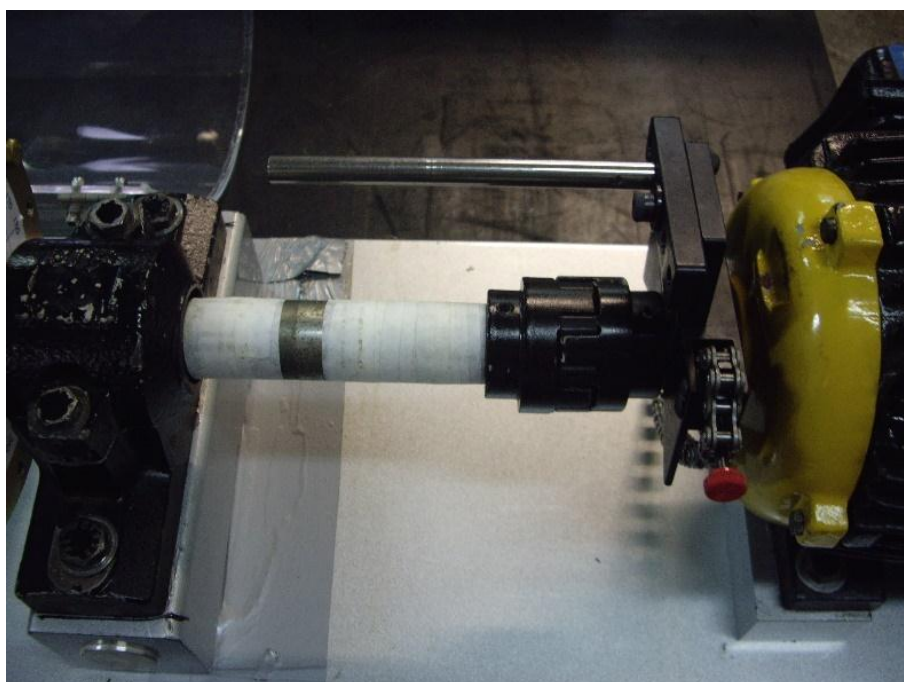
**Fotografia 7 - Proteção do eixo com fita**  
**Fonte: Autoria própria**

3 - Fixar a primeira braçadeira do equipamento de medição ao eixo da máquina estacionária, ao realizar este passo inicial, o operador já planeja a disposição do equipamento de medição a máquina. Na Fotografia 8, o eixo no qual a braçadeira é fixada, é de curta extensão. Assim, esta disposição deverá ser avaliada, tendo em vista a possibilidade de o corpo da máquina interferir no desenvolvimento do processo;



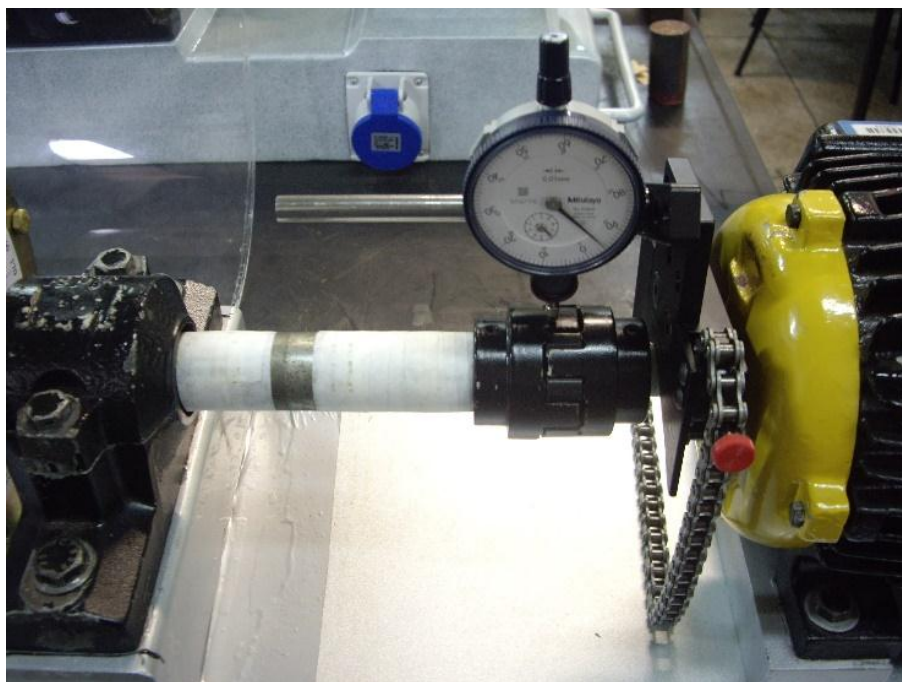
**Fotografia 8 - Fixação da primeira braçadeira**  
Fonte: Autoria própria

4 - Inserir haste (suporte de extensão), Fotografia 9. A escolha do tamanho da haste deve ser referente a disposição que o equipamento pode ser montado. O aperto da mesma deve ser realizado, de maneira a garantir a sustentação do relógio comparador;



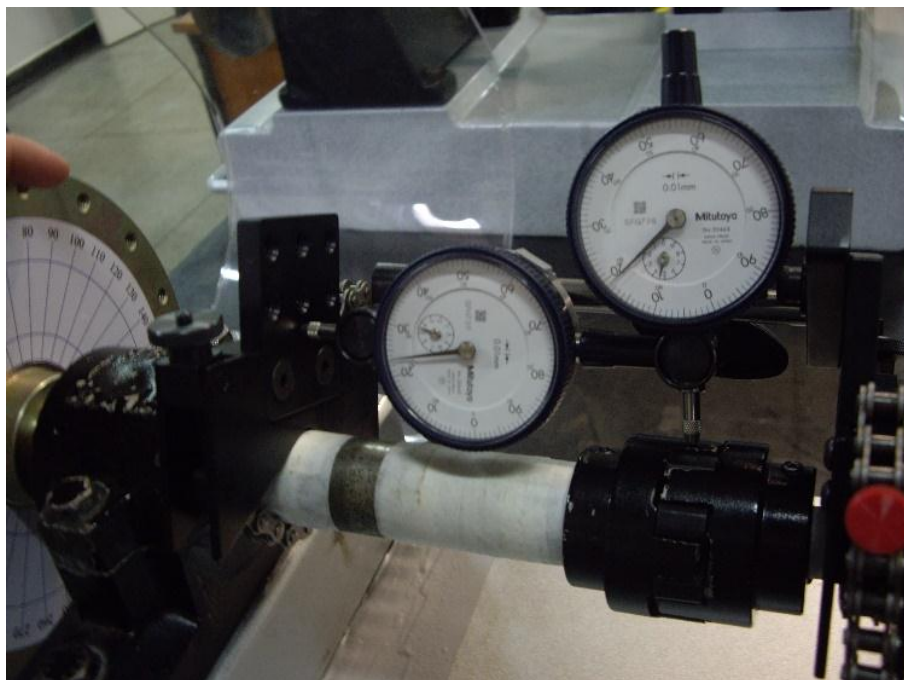
**Fotografia 9 - Haste adicionada ao conjunto**  
Fonte: Autoria própria

5 – Dispor o primeiro relógio aferindo o eixo, ou o acoplamento, da máquina móvel. A Figura 10 mostra que no processo o relógio aferi a ponta do acoplamento, é possível de se obter o movimento em que o eixo desenvolve. Na prática, essa situação deve ser evitada;



**Fotografia 10 - Primeiro relógio comparador montado**  
Fonte: Autoria própria

6 – Inserir a segunda braçadeira, e o outro relógio, de modo que a braçadeira transmita o movimento do plano transversal ao relógio. Esta forma de aplicação, remete ao conceito de a braçadeira fixada no eixo da máquina móvel (a esquerda da Fotografia 11) efetuará o giro com o mesmo centro rotacional do eixo de interesse. Transferindo assim o movimento relativo proveniente;



Fotografia 11 - Relógio comparador e braçadeira do plano transversal  
Fonte: Autoria própria

7 - Verificar se as braçadeiras e as hastes estão rigidamente ligadas ao eixo e desenvolvem o giro com ele;

8 - Medir distâncias entre a fixação do equipamento conforme a Figura 9;

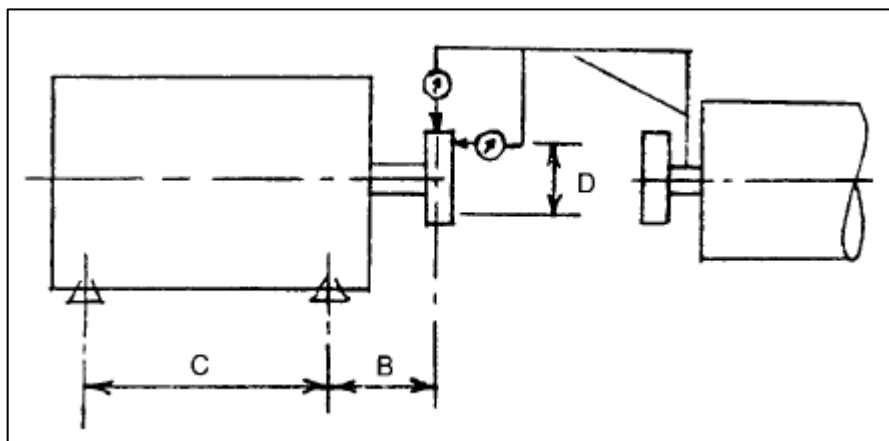
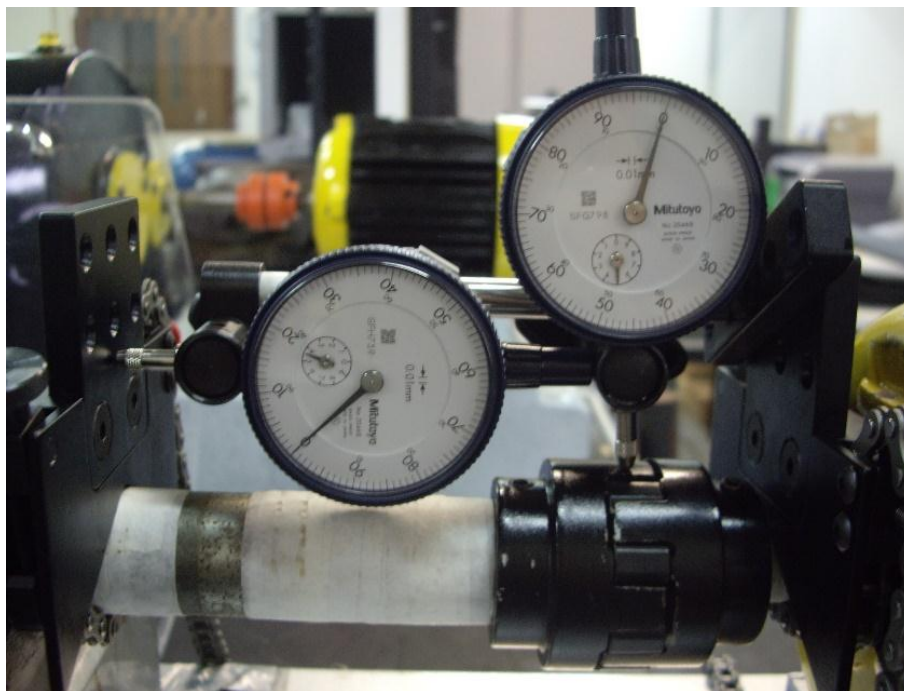


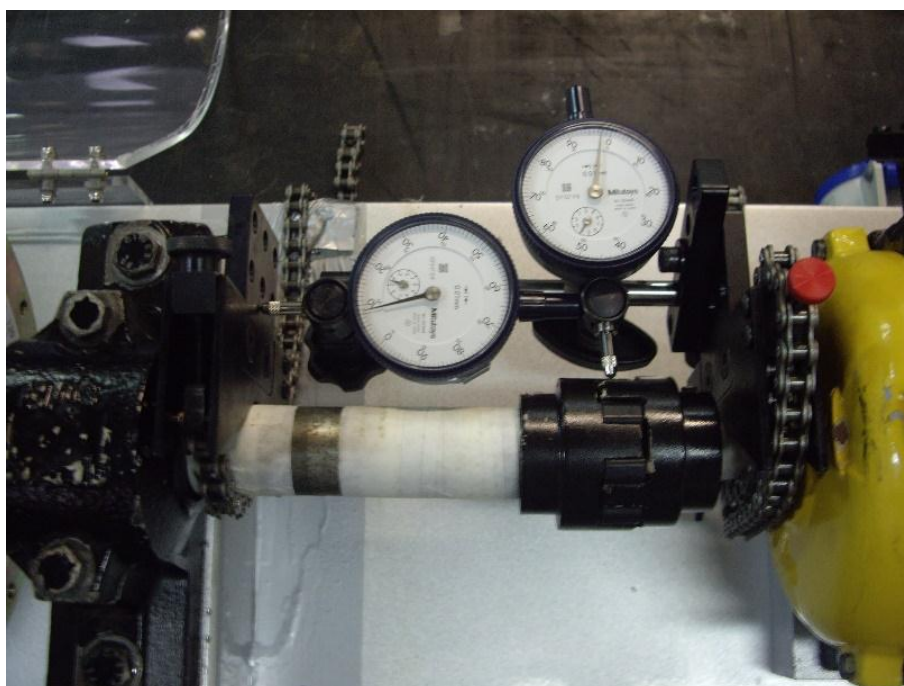
Figura 9 - Método face e topo.  
Fonte: Adaptado de Heinemann (2005, p. 227).

9 - Partindo do topo, posição de doze horas, o relógio deve ser zerado, ajustando sua escala para realizar o início do processo de medição;



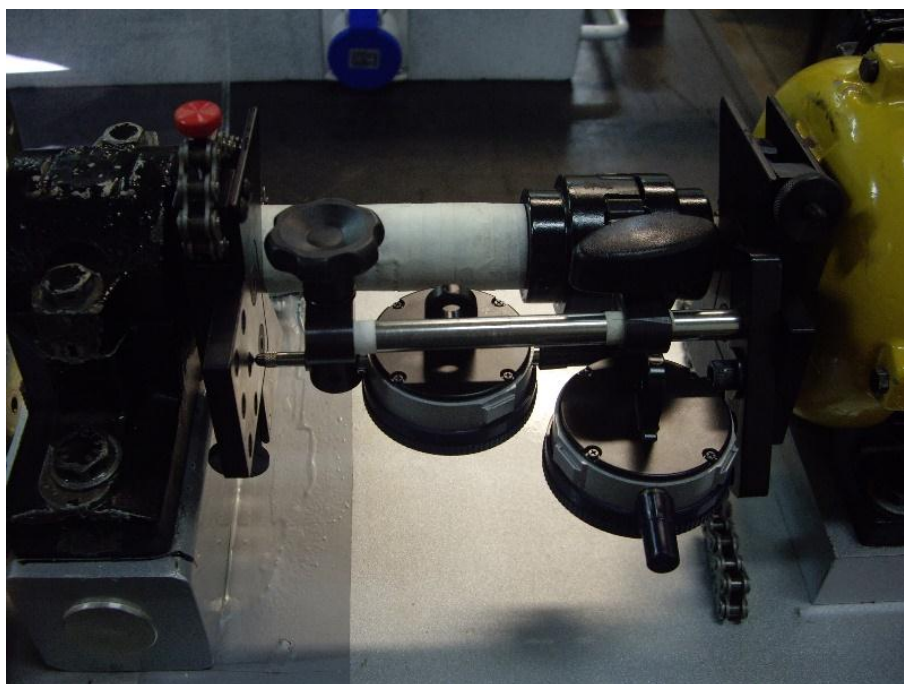
**Fotografia 12 - Início da medição**  
**Fonte: Autoria própria**

10 - Efetuar o giro até a posição de três horas, conforme a Fotografia 13, e anotar os valores que os relógios apresentam. Ao realizar a coleta de dados, devesse observar o sentido em que o relógio realizou o giro, podendo apresentar valores negativos e positivos;



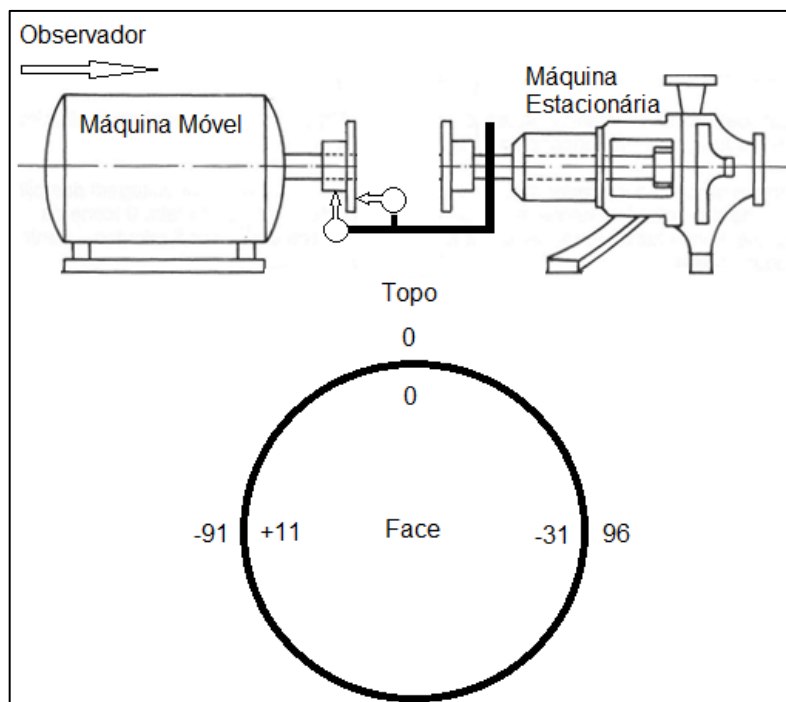
**Fotografia 13 - Segundo ponto da medição**  
**Fonte: Autoria própria**

11 - Efetuar o giro até a posição de nove horas e coletar os valores do relógio, mostrada na Fotografia 14. Uma curiosidade nessa etapa é que para coletar os dados, os profissionais da área utilizam espelhos que refletem o relógio comparador, auxiliando no processo de obtenção dos valores;



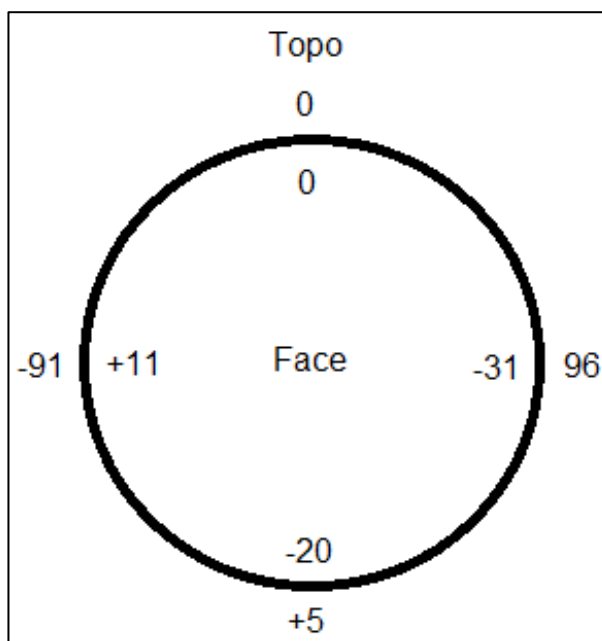
**Fotografia 14 - Segundo ponto da medição**  
**Fonte: Autoria própria**

12 –Os resultados da medição, são indicados em um círculo contendo os valores da face na parte de dentro, e os valores do topo ao redor, conforme a Figura 10.



**Figura 10 - Análise de resultados**  
 Fonte: Adaptado de Wowk (2000, p. 129).

13 – Para obter os valores no ponto inferior do eixo, as diferenças nas medidas laterais, constituem os valores da posição de seis horas do alinhamento. São formadas por uma variação contínua durante o giro, dessa forma, sendo possível, obter o valor que faltava para a análise, conforme a Figura 11.



**Figura 11 - Todos os pontos necessários.**  
 Fonte: Adaptado de Wowk (2000, p. 129).



14 - Aplicar os resultados no cálculo dos ajustes. Sendo F os ajustes necessários no pé da frente, mais próximo do acoplamento, e R os ajustes no pé de trás.

$$F = b_F \frac{B}{D} - \frac{b_R}{2} \quad (7)$$

$$R = b_F \frac{A}{D} - \frac{b_R}{2} \quad (8)$$

As fórmulas de F e R, são utilizadas para calcular o desalinhamento horizontal e vertical do sistema. A diferença é a utilização dos resultados relacionados ao plano. No plano vertical, onde o topo tem valor zero, a parte de baixo indica a variação total da posição do eixo. No plano horizontal, para a aplicação da fórmula, é necessário encontrar a variação total dos valores de desalinhamento no plano

15 – Calcular a variação total no plano horizontal. Os valores são referentes ao exemplo citado, e com isso, ao aplicar a fórmula de desalinhamento para o método, os valores de ajustes no plano horizontal são alcançados conforme a Figura 12.

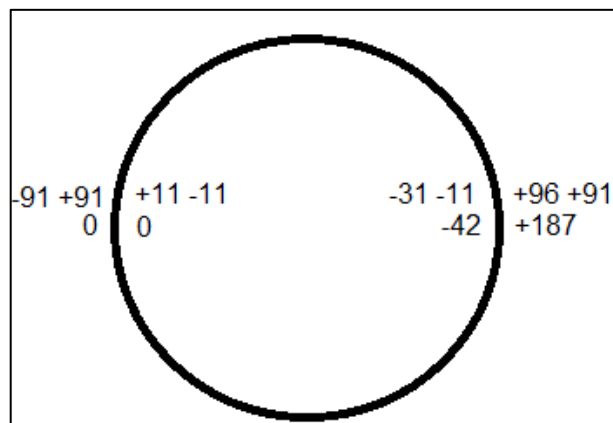


Figura 12 - Método face e topo.  
Fonte: Adaptado de Wowk (2000, p. 129).

## 4.1 ALINHAMENTO A LASER

O equipamento a laser utilizado é o Fixturlaser XA. Composto por duas unidades de medição colocadas uma em cada eixo, frontalmente, por um mecanismo de fixação. Depois da coleta de dados, a central do sistema calcula a distância relativa entre os eixos nos dois planos. As distâncias entre as duas unidades, acoplamento e entre os pés da máquina, devem ser inseridas no sistema. Todos os processos são indicados pelo equipamento com conceitos simples. Ajustes da máquina podem ser feitos diretamente, de acordo com os valores calculados.

### 4.1.1 Lista de componentes

O equipamento é disposto em uma maleta, que organiza e protege todos os acessórios. Tendo em vista que o equipamento é frágil, seu manuseio deve ser cauteloso. Os componentes são apresentados nas Fotografias 15 e 16:

- Dois conjuntos de sensores a laser;



**Fotografia 15 – Unidades de medição.  
Fonte: Autoria própria.**

- Central de processamento do equipamento;



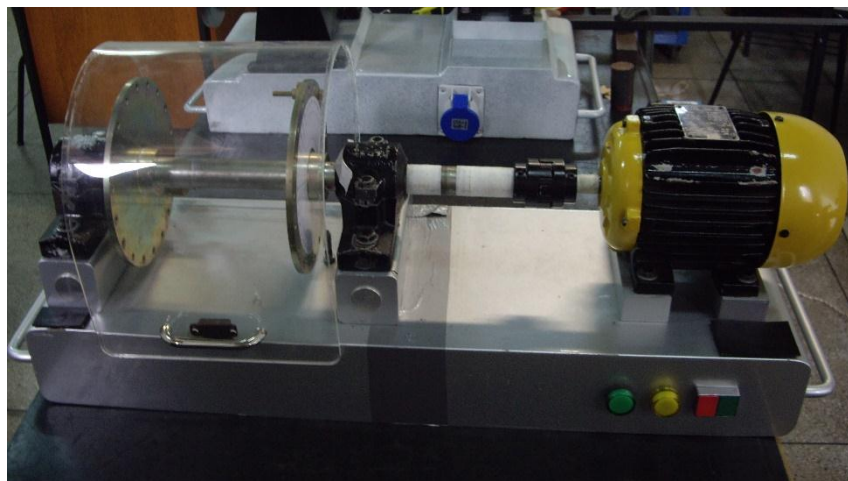
**Fotografia 16 - Central**  
**Fonte: Autoria própria**

- Hastes extensoras;
- Correntes extensoras;
- Cabos de conexão direta dos sensores;
- Fonte de alimentação da central;
- Manual do equipamento em cartilha;
- Manual do equipamento em cd;
- Trena;
- 6 pilhas AA;
- Haste de aperto do tensor;

#### 4.1.2 Montagem

Ao iniciar a montagem, o processo deve ser realizado com cautela e em condições que garantam a segurança e cuidados na execução. Os passos para realizar o alinhamento são:

1 – Conferir se a bancada (Fotografia 17) aplicada está desligada da alimentação, para que não seja iniciada;



**Fotografia 17 – Bancada didática.  
Fonte: Autoria própria**

2 - Proteger o eixo para que o equipamento de alinhamento não avarie suas condições, com riscos e marcas que poderiam oxidar o eixo, fita adesiva na região em que o sensor será fixado, é suficiente como proteção;

3 - O sensor marcado com M, deve ser montado no eixo da máquina móvel, máquina que será ajustada, o sensor marcado com S, na máquina fixa e devem ser dispostos com sua base de fixação apoiados ao eixo;

4 - Os sensores possuem duas formas de alimentação, por três pilhas AA cada ou por cabos independentes ligados à central. A Fotografia 18 mostra o detalhe da utilização de pilhas como alimentação das unidades de medição;



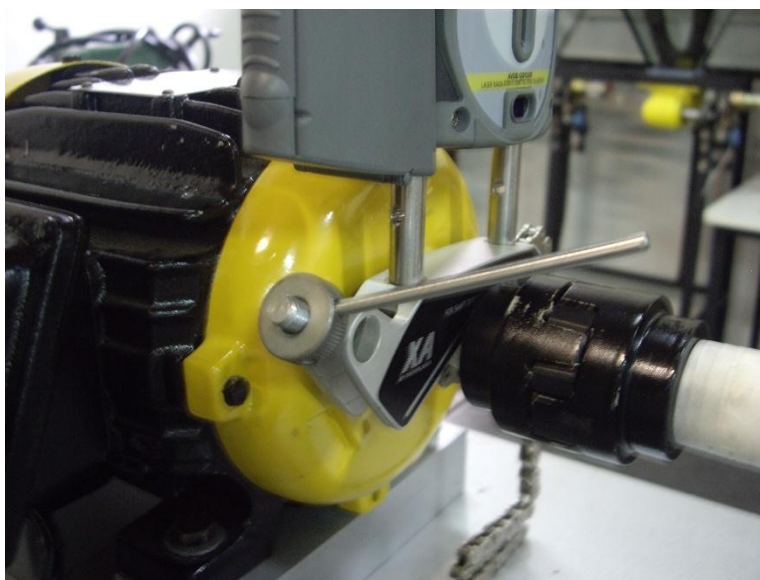
**Fotografia 18 – Detalhe do  
compartimento das pilhas  
Fonte: Autoria própria**

5 - O lado da corrente aberto envolve o eixo e é presa a um gancho do lado posterior. Detalhado na Fotografia 19;



**Fotografia 19 – Detalhe do gancho para a corrente.  
Fonte: Autoria própria**

6 - O tensor da corrente é acionado por meio de uma haste, que auxilia no aperto, mostrado na Fotografia 20. Este procedimento deve ser efetuado com cuidado e bom senso, o tensionamento deve ser suficiente para que os sensores realizem o movimento, juntamente com o eixo;



**Fotografia 20 – Haste do tensor  
Fonte: Autoria própria**

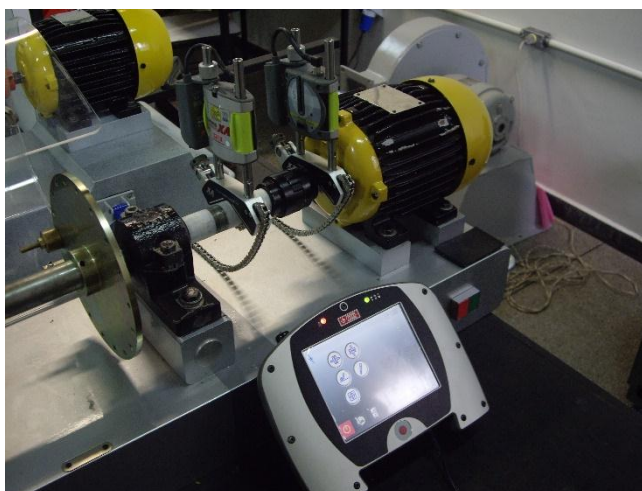
Já o excesso de tensão pode danificar a ferramenta. Se o perímetro do eixo for maior que a corrente do sensor, uma corrente extra pode ser inserida no contexto, prolongando assim a unidade de fixação.

7 - O ajuste da altura do sensor, pode ser feito pelo deslizamento nas hastes laterais, as presilhas mantêm a posição fixa e devem ser abertas para o movimento de ajuste da altura. A central indica o melhor alinhamento de altura para os sensores.



**Fotografia 21-** Detalhe do laser atingindo o sensor nos dois componentes

**Fonte:** Autoria própria



**Fotografia 22 -** Equipamento pronto para a medição.

**Fonte:** Autoria própria

#### 4.1.3 Funções de pré-alinhamento

Para obter êxito e as melhores condições de alinhamento. É necessário conferir alguns fatores que podem influenciar no processo.

- Qual é a tolerância necessária para o alinhamento? Isso pode ser configurado com o conhecimento da rotação de operação da máquina e a tolerância, pode ser configurada no sistema.

- Existe algum calço na máquina?

- Existe alguma restrição para a montagem do sistema de medição?

- É possível realizar a rotação do eixo?

- Quais serão os possíveis calços que devem ser inseridos?

- Quais são as condições da base da máquina?

- Quais são as condições do acoplamento e do elastômero?

- Quais as condições dos parafusos de fixação e da carcaça do equipamento?

Após verificado esses itens, poderemos assim iniciar o processo de medição do desalinhamento.

#### 4.1.4 Iniciando o programa

O alinhador a laser Fixturlaser XA pode exercer diversos tipos de medições, para máquinas horizontais e verticais, medições de posição, entre outros. O presente manual irá demonstrar apenas o alinhamento de máquinas horizontais. Assim iniciamos o processo, escolhendo no menu inicial (Fotografia 23), a opção de alinhamento de eixos horizontais.



**Fotografia 23 – Tema inicial**  
**Fonte: Autoria própria**

#### 4.1.4.1 Métodos de medição

Existem três modos de medição no equipamento, *Express mode method*, *tripoint method* e *clock method*.

No *Express mode method*, a coleta de dados se faz a partir de três pontos, quando o eixo é rotacionado em  $60^\circ$ . O primeiro ponto é no topo e os subsequentes são indicados por regiões pelo equipamento. As informações são coletadas automaticamente quando os eixos são rotacionados para a nova posição e mantido por dois segundos. O equipamento indica a melhor posição na tela e o sentido do giro.

O *Tripoint method* as condições desalinhamento podem ser calculadas adquirindo três pontos quando os eixos são rotacionados em  $60^\circ$ . Neste método, todos os pontos são escolhidos pelo técnico e coletados manualmente.

*Clock method*, as posições da máquina podem ser calculadas coletando três pontos com uma rotação de  $180^\circ$ . O *clock method* é comparado com os métodos tradicionais de alinhamento por relógio comparador. Indicado para máquinas verticais ou para eixos não acoplados.

8 - O presente manual tomará por base o *Express mode method*. A escolha do método é mostrada pela Fotografia 24. Os eixos devem ser mantidos acoplados durante a medição;





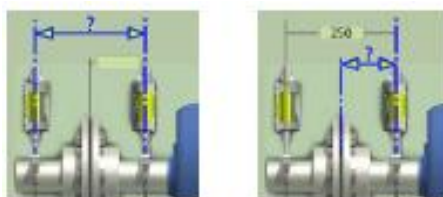
**Fotografia 24 – Escolha do modo de medição**  
 Fonte: Autoria própria

9 – Inicialmente, devesse posicionar os sensores a laser, para que a altura seja suficiente a leitura, e a luz verde indica quando a posição se torna satisfatória (Fotografia 25). Então é inserido as distancias entre os sensores. A tela do equipamento indica a máquina móvel, e indica qual dimensão deve ser inserida;



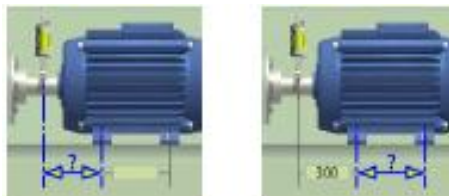
**Fotografia 25 – Sensores alinhados.**  
 Fonte: Fixturlaser user's manual

10 - Inserir as distâncias entre as unidades de medição e, posteriormente, a distância entre o centro do acoplamento para o sensor M. Conforme o exemplo da Fotografia 26;



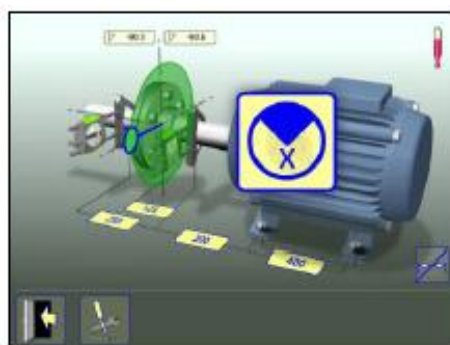
**Fotografia 26 – Distâncias iniciais.**  
 Fonte: Fixturlaser user's manual

11 - Inserir a distância entre o sensor M até o pé de fixação da máquina móvel frontal mais próximo, depois a distância entre os pés frontal e traseiro da máquina, conforme a Fotografia 27.



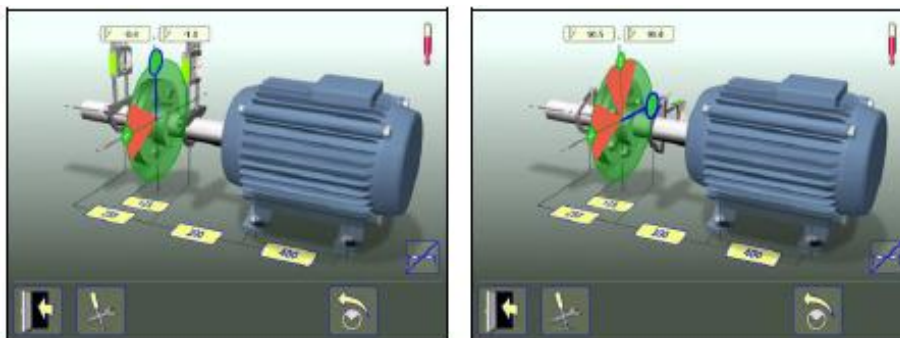
**Fotografia 27 – Distâncias iniciais.**  
Fonte: Fixturlaser user's manual

12 - Configurado os sensores e inserido as distâncias, é indicado uma região de rotação para o primeiro ponto de medição. Pressionar o ícone na região escolhida para que seja registrado a posição e o alinhamento (Fotografia 28);



**Fotografia 28 – Primeira posição.**  
Fonte: Autoria própria

13 - Girando o eixo para a segunda posição com no mínimo 30°. A região que pode ser aferida na rotação é mostrada com a cor verde. A cor vermelha indica a região que não é interessante. A leitura é realizada automaticamente quando o sensor é mantido estático durante dois segundos. Em seguida, o terceiro ponto pode ser coletado.



Fotografia 29 – Segundo e terceiro ponto de medição.  
Fonte: Autoria própria

14 - Inserido a terceira posição, a central pode calcular o desalinhamento presente na máquina. O resultado da medição é apresentado na tela, com os valores do desalinhamento nos planos vertical e horizontal. Também é indicado, se os desalinhamentos estão dentro da tolerância.



Fotografia 30 – Segundo e terceiro ponto de medição.  
Fonte: Autoria própria

Os resultados da medição são mostrados na tela, os valores a esquerda, indicam o desalinhamento angular e paralelo no plano vertical a cima, e no plano horizontal, a baixo. Os símbolos a esquerda dos valores, indicam se os desalinhamentos estão dentro da tolerância desejada.






Dentro da tolerância;



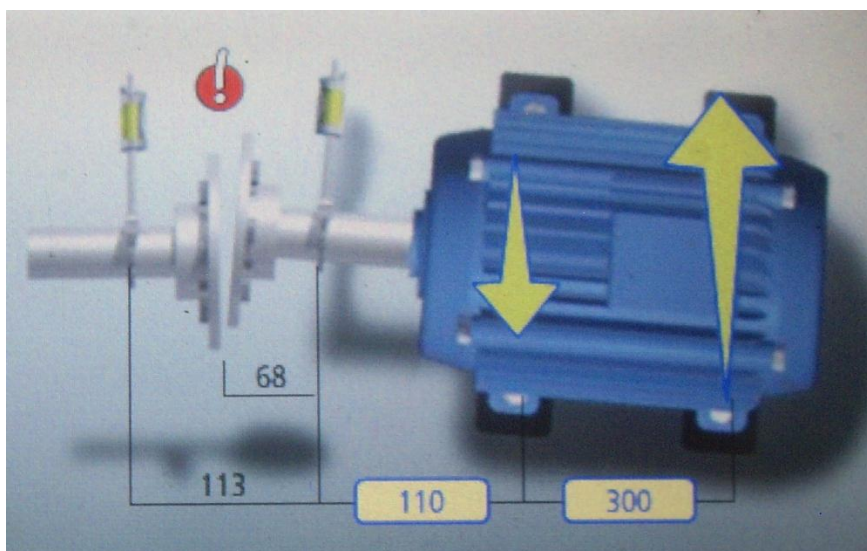
Dentro da dupla tolerância, valor que pode ser considerado satisfatório;

 Fora da tolerância de alinhamento.

Os símbolos que estão acima do acoplamento da máquina indicam:

-  Dentro da tolerância;
-  Dentro da dupla tolerância;
-  Fora da dupla tolerância.

Na Fotografia 30, as setas da máquina, indicam os sentidos de ajustes que devem ser aplicados para o alinhamento.



**Fotografia 31 – Sentidos de ajuste nos eixos.**  
Fonte: Autoria própria

#### 4.1.5 Avaliando os resultados

Os valores do desalinhamento angular e paralelo são usados para determinar a tolerância do desalinhamento. Estes valores são comparados com tabelas que associam o desalinhamento dos eixos com a rotação de operação da máquina.

Os valores indicados nos pés da máquina móvel são as correções que devem ser realizadas para o alinhamento.

#### 4.1.5.1 Calços

O primeiro alinhamento que deve ser realizado é no plano vertical. Para isso utilizasse de calços padronizados que elevam a posição da máquina ajustando assim sua posição vertical. As setas mostradas na Fotografia 31 indicam se os calços devem ser adicionados ou removidos, para o ajuste da máquina na direção vertical.



**Fotografia 32 – Distâncias iniciais.**  
Fonte: Fixturlaser user's manual

Quando o processo é finalizado, inicia o alinhamento horizontal. Os valores dos ajustes são apresentados na tela, e as setas indicam o sentido do ajuste (Fotografia 32).



**Fotografia 33– Valores indicados para o alinhamento horizontal.**  
Fonte: Fixturlaser user's manual

Após realizado os ajustes o processo de alinhamento está completo e para confirmar os resultados é reaplicando processo de medição.

## 4. PRÁTICAS APLICADAS AOS MÉTODOS DE ALINHAMENTO

Os métodos foram aplicados a bancada de alinhamento e balanceamento já citada no presente trabalho, e as premissas de desalinhamento analisadas em ambos os métodos. A bancada compreende a um modelo didático com dimensões reduzidas, apresentando assim menores parâmetros para a avaliação do alinhamento, tornando a medição mais susceptível ao acúmulo de erros decorrentes do processo. Além disso, na indústria, o ajuste horizontal do pé da máquina é realizado através de um mecanismo que auxilia na execução e na precisão do deslocamento.

### 4.1 MÉTODO FACE E TOPO

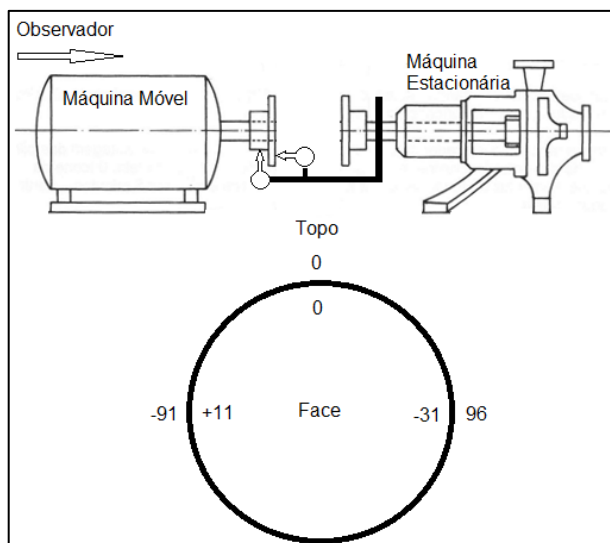
A montagem do método é descrita na seção de procedimentos (seção 4) no presente do trabalho. Inicialmente o equipamento é montado e as distancias medidas, com:

$$C = 300\text{mm}$$

$$B = 178\text{mm}$$

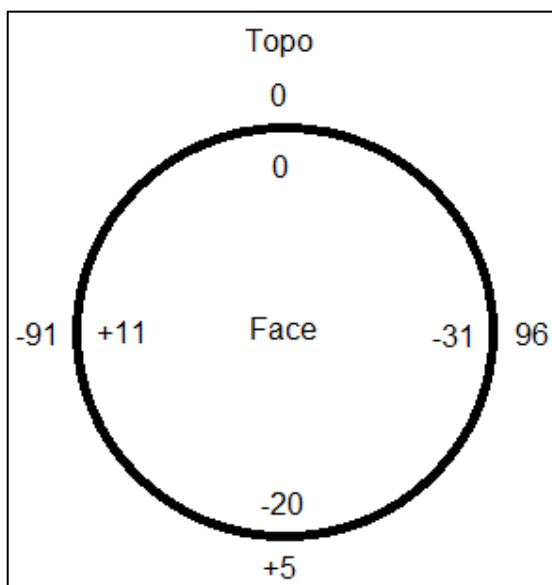
$$D = 102\text{mm}$$

Efetuada as medições em três pontos, encontramos os seguintes resultados conforme a Figura 13.



**Figura 13- Resultados do desalinhamento por Face e topo.**  
**Fonte: Autoria própria.**

A coleta de dados deve ser efetuada em quatro pontos, tendo em vista que o equipamento de alinhamento montado na bancada, impede o giro completo, faltando assim os valores da posição de seis horas. A variação que é percebida no plano horizontal é também presente no plano vertical, dessa forma é válido o conceito que completa o processo com os valores indicados na Figura 14.



**Figura 14- Resultados completos de desalinhamento**  
**Fonte: Autoria própria.**

#### 4.1.1 Análise vertical

As fórmulas que estimam os ajustes, utilizam dos valores de variação da posição do relógio comparador. Como o processo é iniciado no topo, ajusta-se o relógio comparador na posição zero em sua escala. A partir dos valores da posição de seis horas, a variação de interesse dos cálculos será dessa forma:

$$b_F = -20$$

$$b_R = +5$$

$$F = b_F \frac{B}{D} - \frac{b_R}{2}$$

$$R = b_F \frac{C + B}{D} - \frac{b_R}{2}$$

$$F = -0,374mm$$

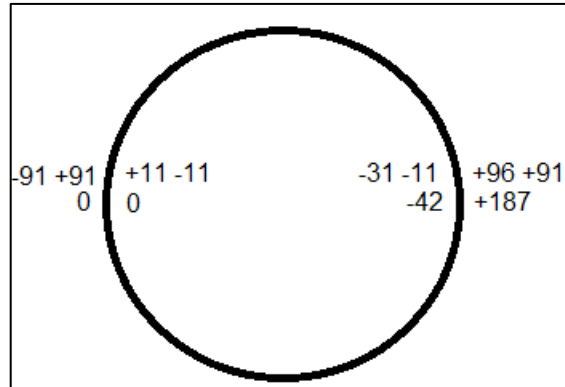
$$R = -0,9622mm$$

A variável F é o ajuste do pé frontal, mais próximo do acoplamento e R é o ajuste no pé traseiro. Valores negativos para o desalinhamento vertical indicam que é necessário baixar o ponto em que a máquina está fixada.

#### 4.1.2 Análise Horizontal

As mesmas equações são empregadas para a análise horizontal, porém com os valores encontrados em três e nove horas. O conceito se aplica da mesma forma, adquirindo a variação de posição do relógio comparador entre as duas posições. Por convenção o lado esquerdo, posição de nove horas, é zerado. Os valores são encontrados adicionando a variação do lado esquerdo nas duas posições, conforme indicado na Figura 15:





**Figura 15- Valores referentes ao desalinhamento horizontal.**  
**Fonte: Autoria própria.**

$$b_F = -42$$

$$b_R = +187$$

$$F = b_F \frac{B}{D} - \frac{b_R}{2}$$

$$R = b_F \frac{A}{D} - \frac{b_R}{2}$$

$$F = -1,6529 \text{ mm}$$

$$R = -2,8882 \text{ mm}$$

As variáveis F e R são análogas ao plano vertical. Os valores dos ajustes horizontais negativos, indicam que o ajuste para o alinhamento deve ser realizado para a direita. Assim é concluída a medição de alinhamento por relógio comparador

#### 4.2 MÉTODO DE ALINHAMENTO A LASER

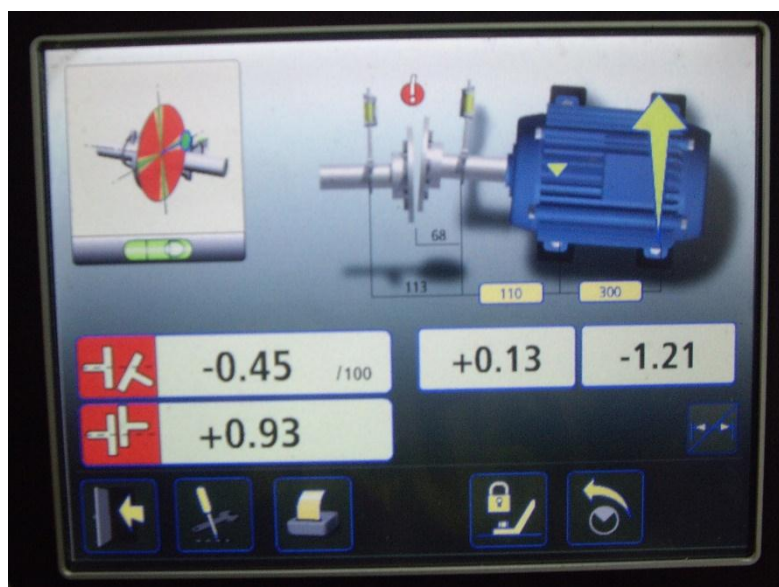
A montagem e realização do método, é descrito na seção de procedimento de alinhamento (seção 4) do presente no trabalho. Os valores adquiridos na medição, conforme Fotografia 33, foram:



Fotografia 34– Valores de desalinhamento no plano do acoplamento.

Fonte: Fixturlaser user's manual

O desalinhamento apresentado na última imagem é referente ao plano do acoplamento. Os valores de desalinhamento no pé da máquina são calculados após inserir as distâncias entre os pés da máquina móvel e o sensor M. Conforme a Fotografia 34, 35 e 36:



Fotografia 35 – Valores de desalinhamento no plano horizontal  
Fotografia Fonte: Autoria própria.



Fotografia 36 – Valores de desalinhamento no plano horizontal.

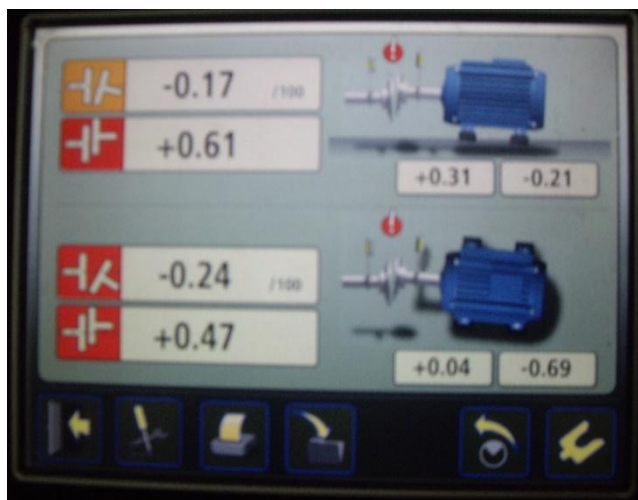
Fonte: Autoria própria.



Fotografia 37 – Valores de desalinhamento no plano vertical.

Fonte: Autoria própria.

Depois de avaliadas as informações necessárias para o ajuste, são retirados os sensores dos eixos e realizado o alinhamento. Foi realizado somente o alinhamento horizontal, visto que, as características da bancada não possibilitam o alinhamento vertical. Os ajustes no plano vertical da máquina móvel, necessitam que a posição fosse inferior de sua posição inicial, ou seja, mais baixa. Para que seja possível o alinhamento vertical nessas condições, deve-se inverter os sensores e considerar a máquina estacionária, como móvel. Assim o alinhamento indicará que a máquina seja movida para cima com a inserção de calços.



Fotografia 38 – Alinhamento horizontal final  
Fonte: Autoria própria.



Fotografia 39 – Alinhamento horizontal final  
Fonte: Autoria própria.

No ambiente industrial, as fixações da máquina motriz possuem um mecanismo para realizar os ajustes horizontais com mais eficiência, conhecido como “macaquinho”. Composto por um parafuso transversal que apoia o pé da máquina, ao ser apertado, ajusta a posição do equipamento. A bancada utilizada no estudo não possui esse mecanismo, dificultando a realização do alinhamento horizontal dentro dos limites de tolerância. Após algumas tentativas, foi alcançado um ajuste considerado plausível em meio às adversidades para o alinhamento da bancada

## 5. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

No presente trabalho foram demonstrados dois diferentes métodos de alinhamento em máquinas rotativas, entretanto, não foi possível realizar o alinhamento e a comparação efetiva. Desta forma, o autor sugere como trabalhos futuros:

- Melhorias na bancada e no equipamento de medição por relógio comparador, de modo que se efetue por completo o alinhamento, satisfazendo os requisitos necessários para procedimentos como esse na prática;
- Inserção de um mecanismo para alinhamento horizontal pode aumentar a precisão no alinhamento e promover melhoras significativas no processo.
- A substituição das presilhas do relógio comparador, para que desempenhe no processo, uma fixação rígida e sem interferências.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, o estudo demonstra na prática, como o alinhamento de máquinas rotativas é fundamental. Os métodos aplicados no processo se fazem essenciais para o cotidiano da empresa. Com as duas formas apresentadas, as escolhas de sua aplicação e as características a serem consideradas, denotam ao responsável técnico, meios que auxiliam na tomada de decisão por qual método empregar.

Ao longo do trabalho, várias dificuldades vistas em campo foram encontradas. Onde o processo de manutenção deve ser realizado de forma eficiente e rápida. Os objetivos do trabalho foram alcançados, tendo em vista que, a forma exemplificada de todos os procedimentos necessários para realizar o alinhamento de máquinas rotativas. Destaca-se que, o método por relógio comparador exige mais experiência do especialista, mais tempo de máquina parada, porém o equipamento possui um custo menor. Em contrapartida o método a laser simplifica o processo, diminui o tempo de manutenção, aumenta a precisão do alinhamento, porém o equipamento tem um custo maior.

## REFERÊNCIAS

BLOCH, Heinz P; GEITNER, Fred. **Machinery Component Maintenance and Repair**. 3. ed. Oxford, England: Elsevier Butterworth, 2005.

BLOCH, Heinz P; **Update Your - Shaft Alignment Knowledge**. Pumps e Systems, Alabama, 2005, Peerless Pump Company.

Disponível

em:<[http://www.peerlesspump.com/shared\\_docs/Update%20Your%20Shaft%20Alignment%20Knowledge.pdf](http://www.peerlesspump.com/shared_docs/Update%20Your%20Shaft%20Alignment%20Knowledge.pdf)>. Acesso em: mar. 2015.

ELOS F. A. **Fixturlaser user's manual**. Mölndal, Sweden: Elos, 238p.

MOBLEY, R. K. **Maintenance Fundamentals**. 2. Ed. Oxford, England: Elsevier Butterworth, 2004.

RAMOS, Joaquim C. **Alinhamento de Máquinas Acopladas**. BRITOGRAFICA, LDA,. Lisboa Portugal, 1ª ed. 2003.

SEKHART, A. S.; PRABHU, B. S.; Effects of Coupling Misalignment on Vibrations of Rotating Machinery. *Jornal of Sound and Vibration*, India, 10 abr. 1995. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X85704075>>. Acesso em: set. 2014.

SIMÃO, José E. L.; **Manual de Procedimentos para Alinhamento de Máquinas Rotativas**: Relógio Comparador e a Laser. 2013. 51 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior em Tecnologia em Manutenção Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2013.

WOWK, Victor. **Machinery Vibration: Alignment**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 2000.