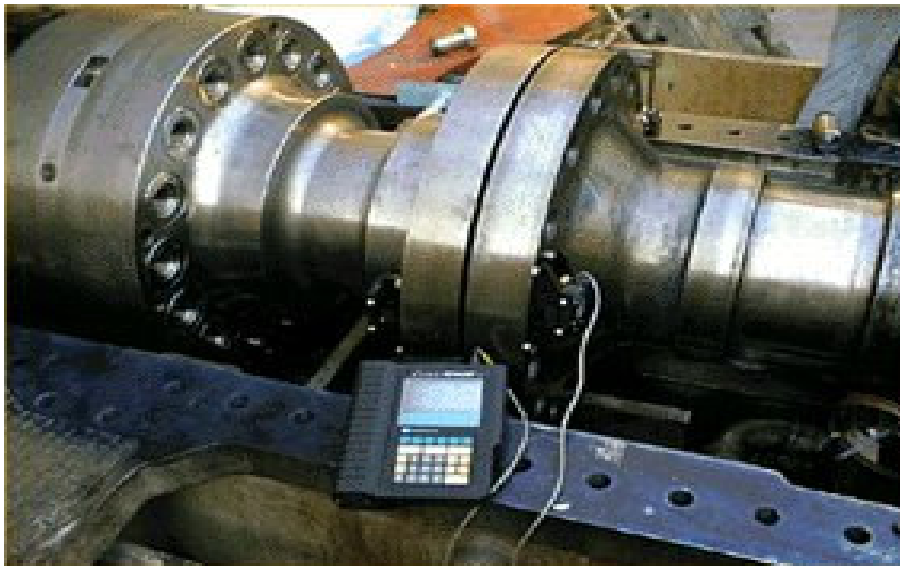


ALINHAMENTO DE ACOPLAMENTOS



Secção I Introdução ao Alinhamento

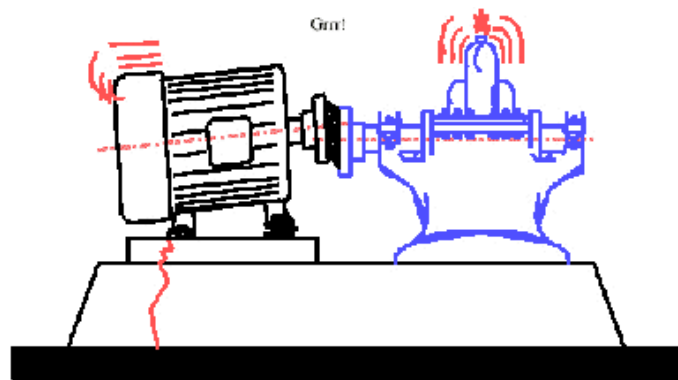
Objectivos

- Identificar os principais benefícios do alinhamento
- Identificar os diferentes tipos de desalinhamento
- A utilização do comparador

O QUE É O ALINHAMENTO?

O alinhamento de veios em máquinas acopladas é um dos aspectos mais importantes na instalação de máquinas. Ao contrario do que algumas pessoas pensam, os acoplamentos flexíveis não compensam desalinhamentos severos.

O desalinhamento pode ser definido como sendo a não coincidência entre o eixo de simetria de dois veios colineares. Existem, no entanto, determinados casos em que é necessário existir um pequeno desalinhamento para lubrificação de dentes num acoplamento de engrenagem. No entanto, é importante ter os veios de máquinas acopladas a funcionar muito perto das condições de serviço da temperatura e carga.



ANTES

PORQUÊ ALINHAR?

Um alinhamento apropriado irá eliminar forças nos componentes na máquina desalinhada.

Eliminando estas forças teremos:

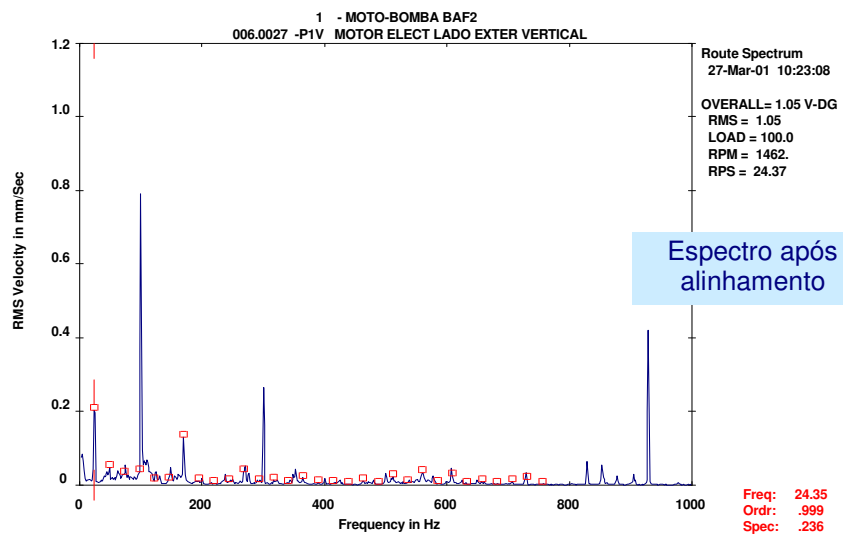
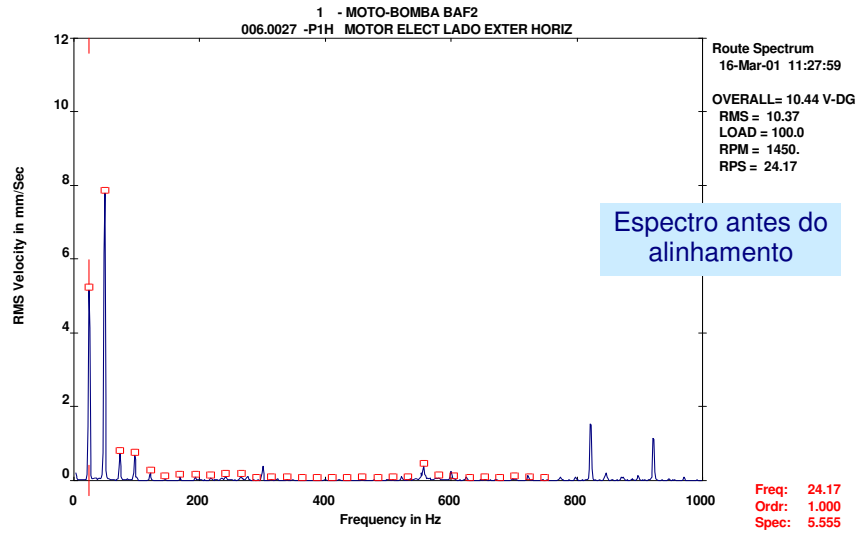
- Redução do nível de vibração e ruído
- Minimizar folgas no acoplamento
- Eliminar a possibilidade de falha no veio devido a fadiga

Sintomas vibratórios do desalinhamento:

- Componentes 1x e 2x RPM na direcção radial (horizontal e vertical)
- Componente 1xRPM na direcção axial
- Medições de fase com 180° de diferença entre apoios da máquina

VIBRAÇÕES

No caso prático apresentado de seguida foram recolhidos espectros de vibração antes e após o alinhamento da máquina.



REDUÇÃO DE CUSTOS

A redução do consumo de energia eléctrica pode ser medida antes do alinhamento e após o alinhamento. É aconselhável que se proceda ao cálculo do factor de potência.

Este caso histórico foi recolhido de um artigo intitulado “Desalinhamento: Alterando as regras”, escrito por Dan Nower, em Maio de 1994 para a revista Reliability magazine.

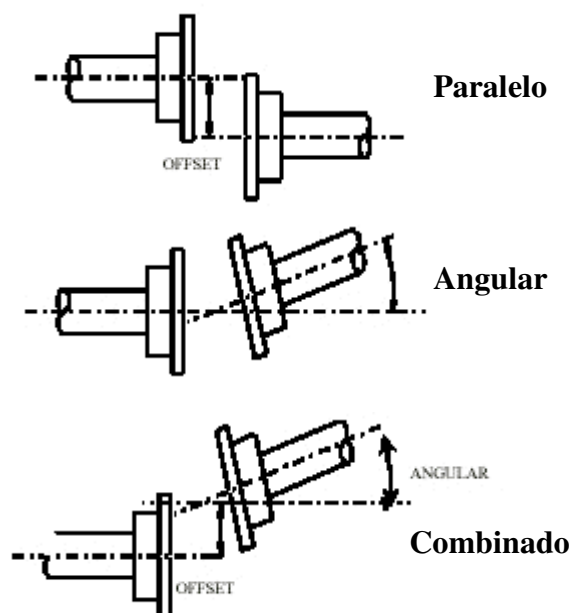
O motor tem 125 cv, acoplado por um acoplamento de engrenagem com uma pressão de descarga de 8.5 psig.

Parâmetro	Desalinhado	Alinhado	Conclusões
Fase	3/7	0/7	Bom indicador
Temperatura acoplamento	127	120	Pouca diferença
Temperatura veio	160	149	Alguma diferença
Corrente motor (A)	145	139	Cerca de 4%

O factor de potência foi estimado como sendo de 0.9

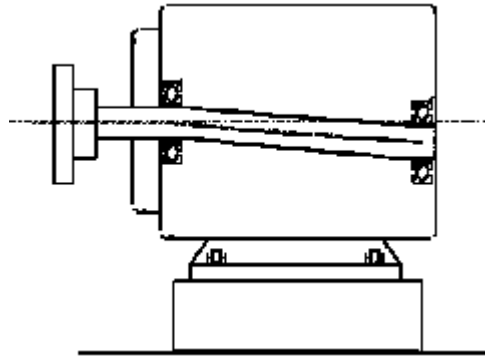
TIPOS DE DESALINHAMENTO

O desalinhamento pode ser classificado como sendo angular ou paralelo. A figura seguinte mostra exemplos dos dois tipos de desalinhamento. O desalinhamento angular ocorre quando o eixo de rotação de dois veios forma um ângulo. O desalinhamento paralelo ocorre quando o eixo de rotação entre os dois veios é paralelo. Na grande maioria dos casos o desalinhamento é uma combinação do desalinhamento angular e paralelo.



FLEXÃO DO VEIO DEVIDO A DESALINHAMENTO

Já vimos que existem 3 tipos de desalinhamento: angular, paralelo e combinado. Para além destes pode existir um desalinhamento nas chumaceiras. O eixo de rotação de dois veios pode estar alinhado, no entanto, as chumaceiras podem estar desalinhadas. As chumaceiras podem estar desalinhadas se não estiverem centradas no mesmo eixo, devido a problemas de pata coxa, bases empenadas ou devido à expansão térmica.



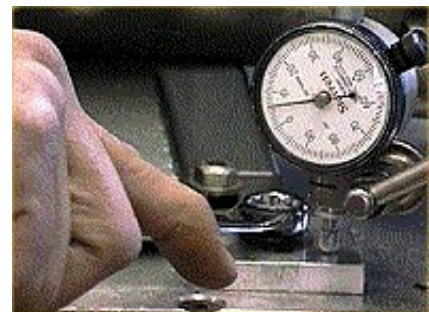
Tudo o que é necessário é um acoplamento flexível?

NÃO!!!

Alguns acoplamentos podem suportar por longos períodos de funcionamento desalinhamentos severos, no entanto, alguns componentes mecânicos não suportam esse mesmo desalinhamento. A função principal de um acoplamento é transmitir potência entre uma máquina e outra, enquanto compensa pequenos desalinhamentos, deflexão do veio ou variações de temperatura. As forças criadas pelo desalinhamento são passadas para os componentes mecânicos, originando falhas prematuras.

A UTILIZAÇÃO DO COMPARADOR

O comparador é um instrumento mecânico de precisão que mede a posição relativa do veio. 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 direcções (figura 1), ou ler na direcção dos ponteiros do relógio a partir do zero (figura 2).



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

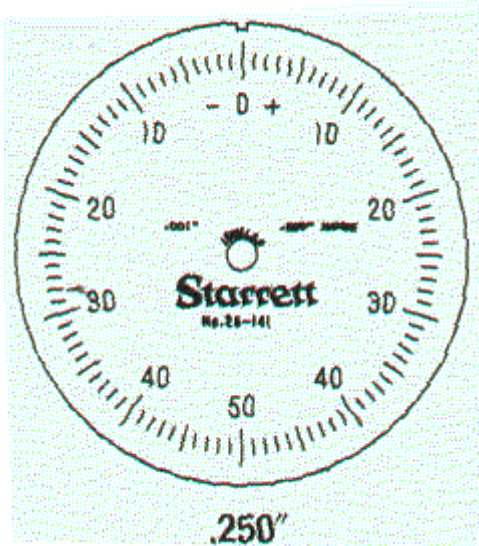


Figura 1. Indicador do Tipo Equilibrado

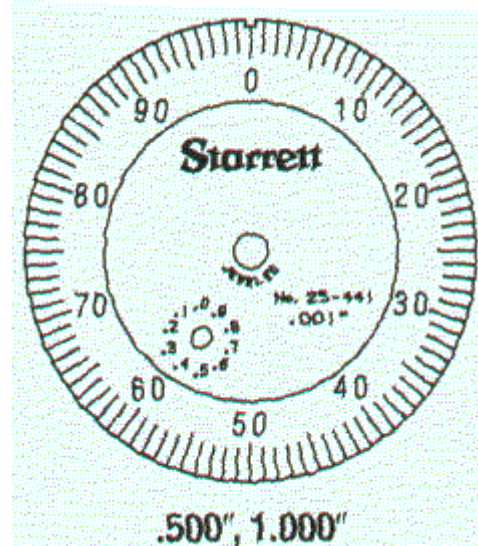


Figure 2. Indicador do Tipo Contínuo

No alinhamento, os comparadores são utilizados para medirem a posição da linha de eixos de um veio. Tipicamente, os comparadores mais comuns possuem uma escala de 0.01mm e o êmbolo é colocado por baixo do indicador.

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 contacto com o veio ou acoplamento da outra máquina.

Secção II Métodos de Alinhamento

Objectivos

- Distinguir os erros mais comuns durante o processo de alinhamento
- Identificar os 4 métodos de alinhamento e listar as vantagens e desvantagens de cada um deles
- Cálculo das correcções a efectuar no método de medida inversa das periferias

MÉTODOS DE ALINHAMENTO

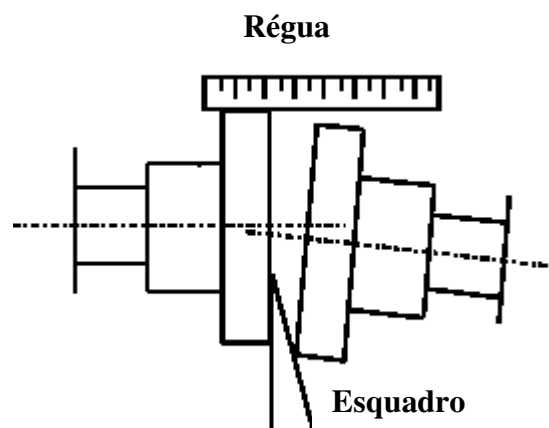
O método de alinhamento mais antigo era executado recorrendo a uma régua e esquadro. Este método era aceitável se a máquina funcionasse a baixas rotações. Este método é um bom procedimento quando se inicia o processo de alinhamento.

Depois de executar este primeiro procedimento, algo mais era necessário ser feito para continuar o processo de alinhamento. A utilização de apalpa folgas e comparadores é agora utilizado para se conseguir alinhamento de precisão. Quando usados de forma apropriada, estas ferramentas podem dar bons resultados.

Os erros mais comuns no alinhamento são:

- Erros na preparação do trabalho
- Travões dos indicadores danificados
- Omissão da “deflexão” das barras de suporte dos comparadores nos cálculos
- Erros na leitura dos comparadores e na interpretação dos dados
- Incorrecta movimentação da máquina

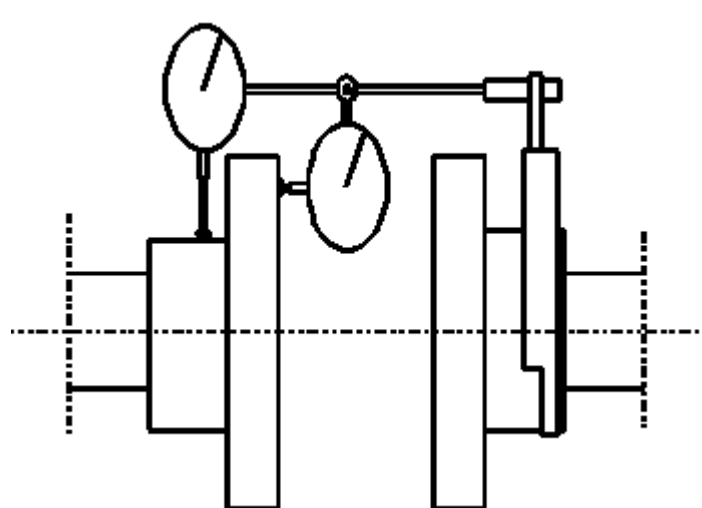
MÉTODO DA RÉGUA E ESQUADRO



Este método utiliza uma régua para determinar a posição paralela e um esquadro para obter a posição angular do veio.

Vantagens	Desvantagens
1. Bom método para um alinhamento rápido	1. Erros de alinhamento frequentes
2. Ferramentas simples e baratas	2. Apenas para ser utilizado como alinhamento rápido
	3. Utilizar apenas para veios com o mesmo diâmetro
	4. Método pouco preciso

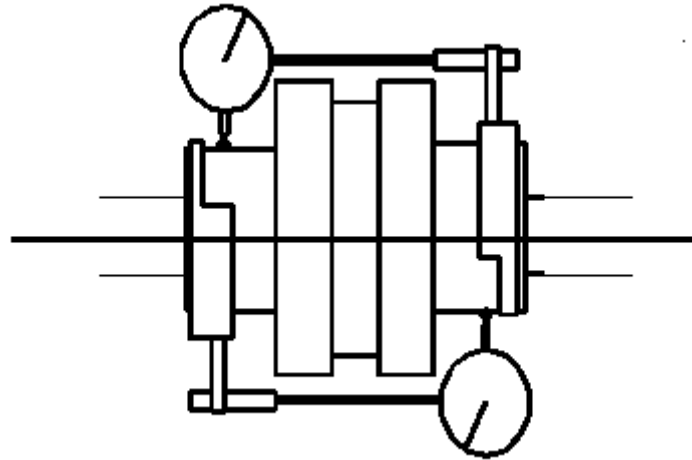
MÉTODO CARA E PERIFERIA



Com este método a posição paralela é obtida tirando medidas no diâmetro exterior (periferia) enquanto que a posição angular é feita na face. Estas leituras são projectadas matematicamente e graficamente nas sapatas do motor (máquina móvel) para determinação das correções necessárias.

Vantagens	Desvantagens
1. Pode ser utilizado quando apenas um dos veios pode ser rodado	1. Erros de alinhamento frequentes
2. Bom método para distâncias curtas	2. Escorregamento do comparador axial pode introduzir erros de leitura
3. Fácil visualização das medidas	3. Deve ser calculado a “deflexão” das barras de suporte dos comparadores
	4. “Run out” no acoplamento afetará as leituras

MÉTODO POR MEDIDA INVERSA DAS PERIFERIAS



As posições angular e paralela são obtidas tirando duas medidas radiais no acoplamento. Estas leituras são projectadas matematicamente e graficamente nas sapatas do motor (máquina móvel) para determinação das correções necessárias.

Vantagens	Desvantagens
1. Para ser utilizado quando os dois veios podem rodar	1. Ambos os veios têm de rodar solidários
2. Pode ser utilizado para distâncias mais longas que o método da face e periferia	2. Suscetível de erros de leitura
3. Maior precisão geométrica	3. Deve ser calculado a “deflexão” das barras de suporte dos comparadores
4. A existência de “runout” no acoplamento não afectará as leituras	

Cálculo das correcções

EXEMPLO

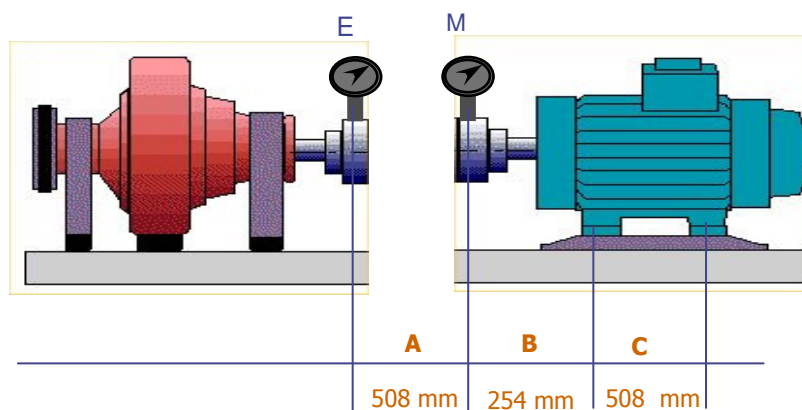
Consideremos o seguinte exemplo:

Leitura dos comparadores: Máquina Estacionária (E) = +0.032

(Posição Vertical)

Máquina Móvel (M) = +0.005

Deflexão (D) = 0.004 (para cálculo da deflexão ver página 15)

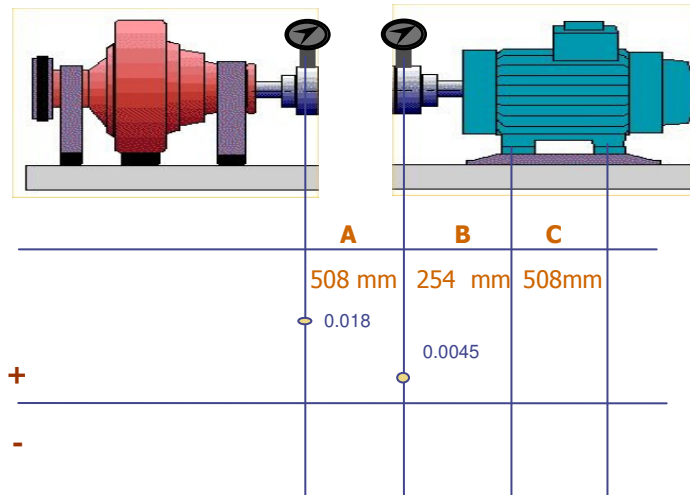


- Determinar a posição paralela: $P_p = (Leitura + Deflexão) / 2$

$$E = (0.032 + 0.004) / 2 = 0.018$$

$$M = (0.005 + 0.004) / 2 = 0.0045$$

Em papel geométrico marcam-se estas duas posições nos dois acoplamentos.

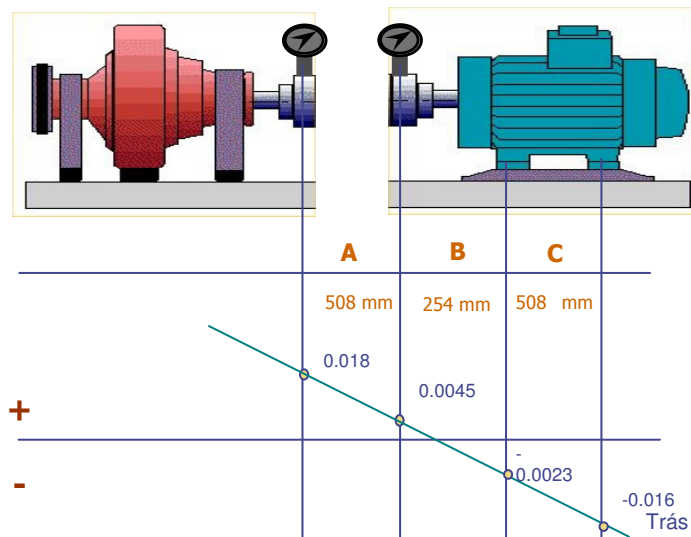


- Calcular a posição da sapata dianteira

$$\frac{(M-E) \times B}{A} + M = -0.0023$$

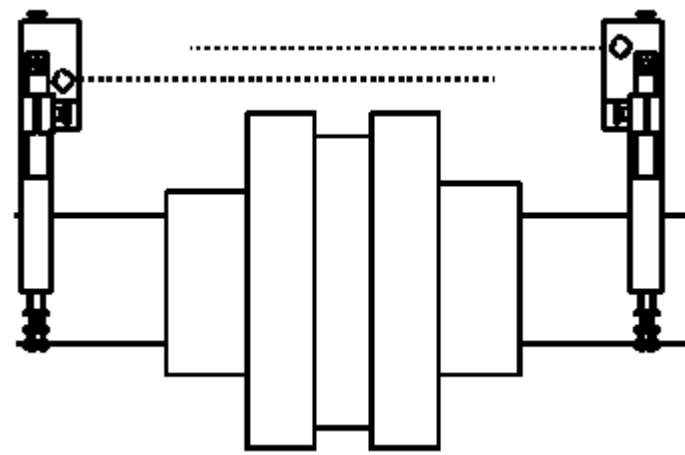
- Calcular a posição da sapata traseira

$$\frac{(M-E) \times (B+C)}{A} + M = -0.016$$



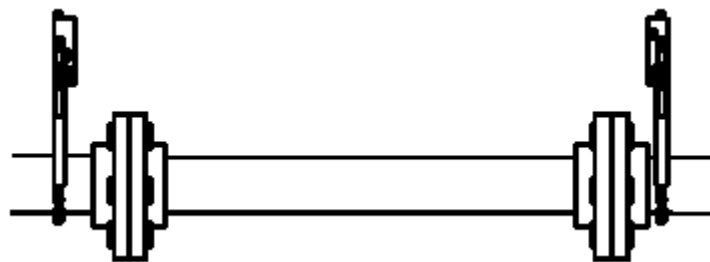
Do desenho geométrico obtido, facilmente visualizamos que o motor se encontra 0.0023 mm baixo à frente e 0.016 mm baixo atrás.

MÉTODO DE ALINHAMENTO POR LASER



O sistema laser executa medidas da posição angular e paralela do veio através da emissão de um laser pelo transdutor (parte fixa) para o prisma (parte móvel).

Vantagens	Desvantagens
1. Aumenta significativamente a precisão do alinhamento	1. A precisão do alinhamento é afectada pela luz ambiente e pelas partículas suspensas no ar
2. Ideal para distâncias longas	
3. Tempo para alinhamento é reduzido	
4. A existência de “runout” no acoplamento não afectará as leituras	
5. Não é necessário calcular a “deflexão”	
6. O equipamento calcula o desalinhamento e as correcções a efectuar	



Secção III O Processo de Alinhamento

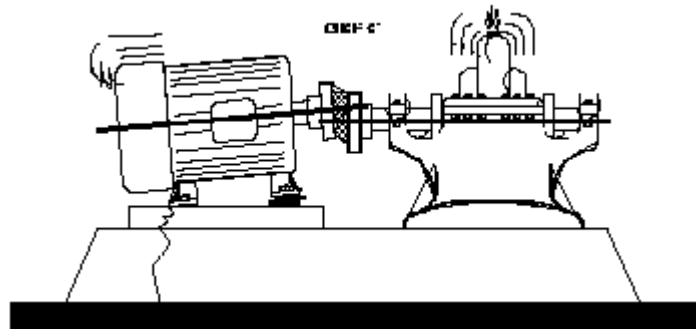
Objectivos

- Listar três métodos de alinhamento e indicar uma aplicação para cada um deles
- Identificar a importância das tolerâncias de alinhamento combinando os valores angulares e paralelos

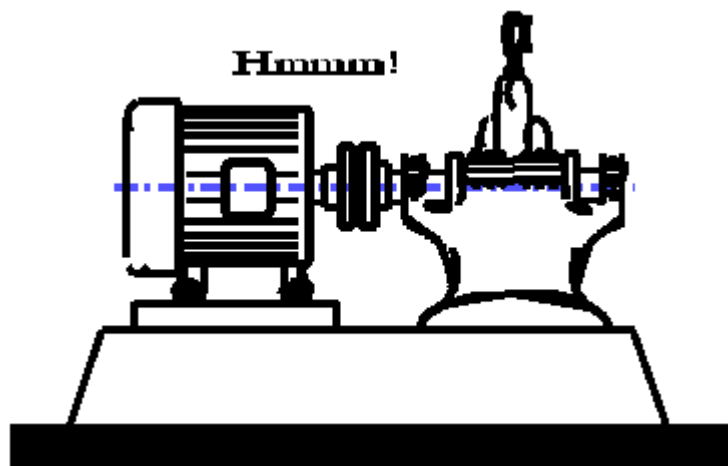
PROCEDIMENTOS NO PROCESSO DE ALINHAMENTO

1. Preparação antes da paragem da máquina
 - Obter ferramentas necessárias ao alinhamento (calços e kit de alinhamento)
 - Preparar o pessoal
 - Inspeccionar a máquina (fundações e sapatas, parafusos etc)
 - Recolher informação para cálculo da expansão térmica
2. Preparação antes de iniciar a medição do desalinhamento
 - Limpar sapatas da máquina e chassis
 - Inspeccionar o acoplamento e verificar folgas
 - Inspeccionar irregularidades nos veios
 - Verificar o estado dos calços já instalados na máquina
 - Determinar a deflexão (quando se utiliza comparadores)
3. Medir o desalinhamento
 - Executar o alinhamento inicial (por exemplo com régua e esquadro)
 - Medir o desalinhamento inicial
4. Colocar os calços de correcção adequados
5. Repetir os passos 3 e 4 até a máquina estar dentro das tolerâncias
6. Colocar a máquina em funcionamento
7. Quando a máquina atingir as condições normais de funcionamento, recalcular a expansão térmica

Como é que queremos que a nossa máquina funcione?



Gaste dinheiro mais tarde ou então ...



Pague pouco dinheiro para o bom funcionamento da máquina.

TESTES ANTES DA PARAGEM DA MÁQUINA

Uma inspeção detalhada deve ser executada antes da ordem para paragem da máquina. Esta inspeção deve incluir o seguinte:

- Inspeção visual completa da máquina
- Medições de vibrações e de fase devem ser executadas
- Consumos do motor (medição da voltagem, corrente e factor de potência) para posterior cálculo da eficiência

VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Um dos aspectos mais importantes na execução de alinhamento válidos é a existência de vibração proveniente de outras máquinas. Os equipamentos de alinhamento medem movimentos de grandeza extremamente pequena. Se as máquinas colocadas em redor da máquina a alinhar induzirem grandes vibrações podem tornar impossível conseguir leituras correctas com os métodos tradicionais.

A boa notícia é que os sistemas de alinhamento a laser recente estão equipados com modos de leitura que permitem executar médias até se estabilizar o valor correcto.

Outra técnica bastante eficaz que pode ser aplicada e que valida as leituras do alinhamento no início dos trabalhos denomina-se por *regra da validação*. Esta regra compara as leituras obtidas em posições cardinais:

$$\text{Superior} + \text{Inferior} = \text{Esquerda} + \text{Direita}$$

Fornece a possibilidade de se determinar a validação das leituras efectuadas antes de se iniciar o processo de movimento da máquina.



Exemplos de valores correctos e incorrectos

Algumas origens de valores incorrectos podem ser:

- Leitura incorrecta dos comparadores (incluindo troca de sinais)
- Comparadores colocados muito altos ou muito baixos
- Folgas nos rolamentos
- Irregularidades na superfície
- Sapatas soltas

No entanto, são de esperar pequenos desvios da regra da validação. Se esta diferença for maior que 10 % é possível que o veio esteja com folga excessiva.

Se o erro for superior a 20% então a causa deve ser determinada. Se a regra da validação não for verificada pode complicar ou impossibilitar o processo de alinhamento.

DEFLEXÃO

Muitos dos técnicos que executam alinhamentos com comparadores desconhecem a existência de deflexão dos comparadores. Outros acreditam que a sua montagem não provoca qualquer deflexão, logo, não é necessário calculá-la. A verdade é que no alinhamento executado com comparadores existe sempre a deflexão destes. Neste contexto, para se obterem valores de alinhamento correctos a deflexão deve ser sempre determinada e calculada.

A deflexão é originada pela gravidade existente nas barras que seguram os comparadores. A deflexão deve ser o menor possível, de preferência na ordem dos 0.0254mm. No entanto, se não a medirmos como saberemos a sua grandeza?

Os sistemas de alinhamento a laser não possuem qualquer deflexão.

Os passos apropriados para medição da deflexão são os seguintes:

1. Instalar normalmente os comparadores para recolha de leituras nos veios
2. Colocar o comparador a zero na posição do topo
3. Rodar o veio e registar os valores a 90, 180 e 270°
4. Rodar de novo o veio até á posição de topo (inicial) e verificar se o comparador ficou a indicar zero. Se não, pode haver um problema com o comparador.
5. Repetir os passos 3 e 4 e efectuar a média das duas leituras. Se as leituras forem muito diferentes pode haver outros problemas

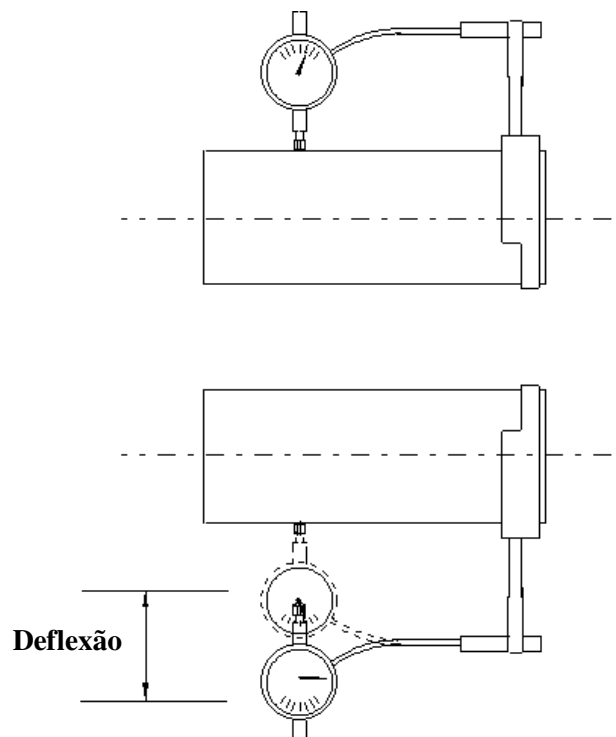
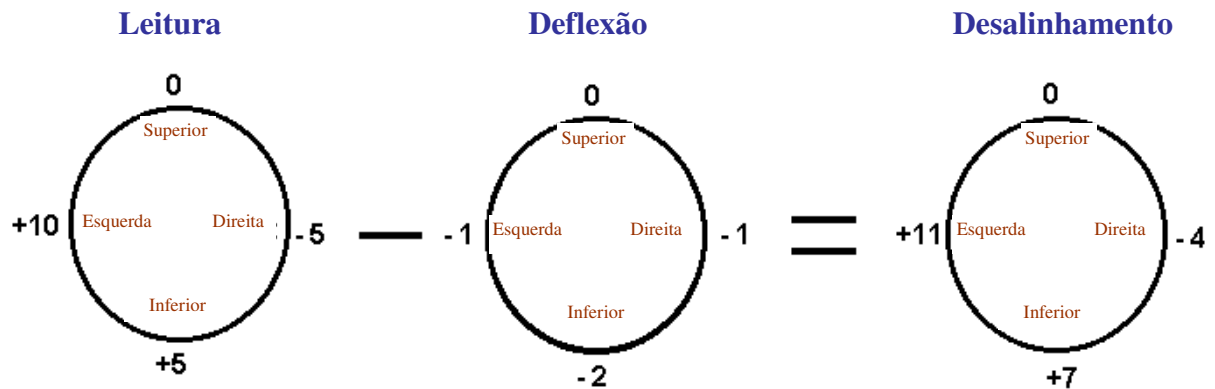


Figura - Deflexão do comparador

Tipicamente, todas as leituras vão dar valores negativos e as leituras horizontais serão iguais.

Depois da determinação da deflexão do veio temos de subtrair esta leitura às leituras obtidas para determinação do desalinhamento.

$$\text{Leitura} - \text{Deflexão} = \text{Desalinhamento}$$



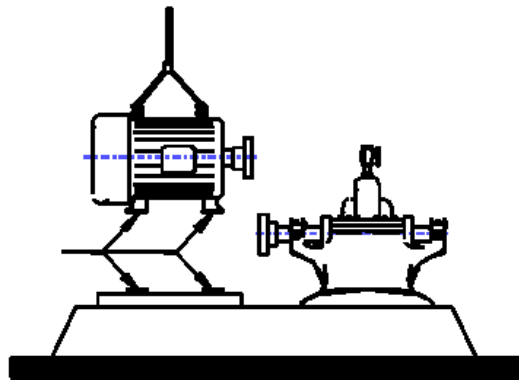
Na grande maioria das aplicações a determinação da deflexão apenas irá alterar os valores de desalinhamento na vertical, pelo que é comum apenas medirmos a deflexão nesta direcção.

PREPARAÇÃO DA BASE

As fundações da máquina devem ser “tratadas” e as sapatas propriamente maquinadas, limpas e preparadas para a instalação da máquina a ser alinhada. A área circundante às sapatas deve estar limpa, incluindo o topo das sapatas.

Se a base de apoio não estiver plana, pode acontecer o caso em que tenham de ser modificadas antes do alinhamento. Verificar as fundações, parafusos, sapatas etc, para fissuras ou outros defeitos. É preferível executar a limpeza da base e das sapatas antes da máquina ser colocada na base.

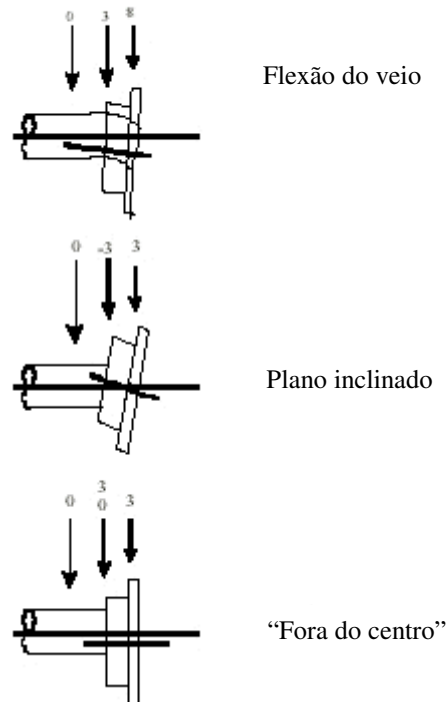
Garantir que as superfícies indicadas com as setas estejam limpas e livres de corrosão e rebarba.



IRREGULARIDADES NO VEIO

O técnico encarregue de executar o alinhamento deve em primeiro lugar inspeccionar todos os componentes rotativos e verificar a existência de folgas. Inspeccionar o acoplamento para folgas, fissuras e lubrificação. Medir com o comparador irregularidades no acoplamento e em ambos os veios.

Preocupações com as irregularidades

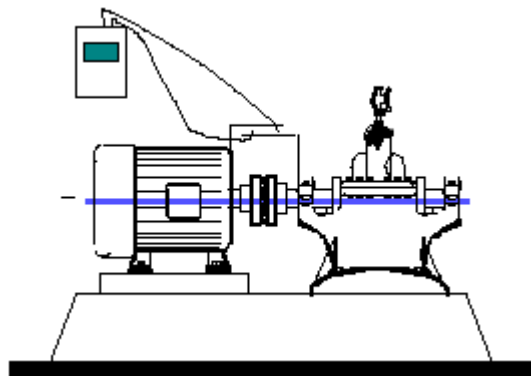


EXPANSÃO TÉRMICA

Muitas máquinas que estão alinhadas quando se encontram fora de serviço ficam desalinhadas quando entram em funcionamento. Em algumas máquinas esta variação no alinhamento, ou expansão térmica, é insignificante. No entanto, outras máquinas requerem compensações durante o processo de alinhamento para as variações de posição do veio causadas pela expansão térmica.

Existem algumas técnicas usadas na indústria para compensar a expansão térmica:

Sensores de Deslocamento



Um método para determinação da expansão térmica de uma máquina será a utilização de sensores de deslocamento como indica a ilustração anterior. Estes proximíter's (sensores de deslocamento) medem a alteração da posição relativa de duas máquinas. O analisador mede a

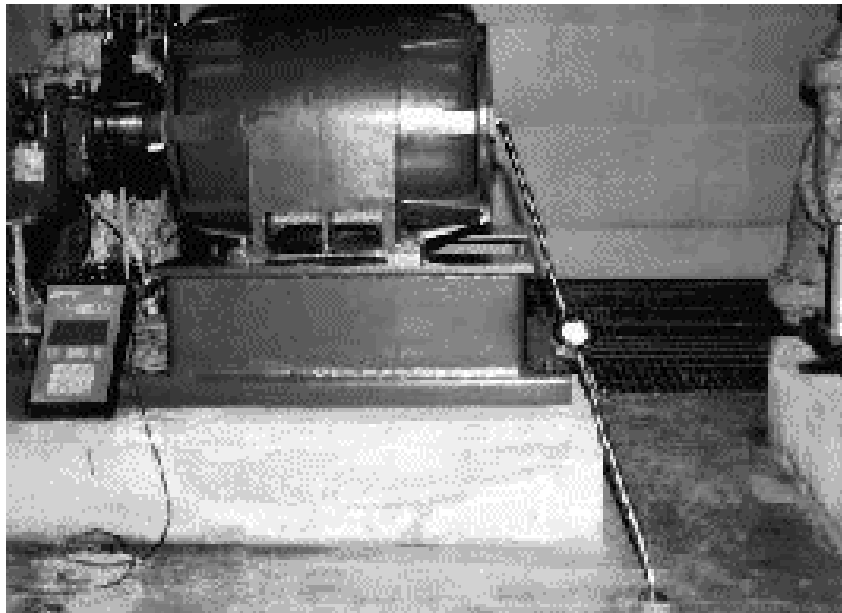
voltagem nos sensores com a máquina fria e posteriormente quando a máquina estabiliza na sua condição de funcionamento normal. A diferença entre as duas medidas é proporcional ao movimento relativo da máquina. Através desta diferença podemos calcular o movimento nas sapatas da máquina.

Barras com comparadores

Este método permite calcular a expansão térmica horizontal e vertical e consiste na colocação de um par de longos micrometros em cada um dos lados dos rolamentos estendidos até à base da máquina. Os comparadores são colocados a zero, com a máquina a frio, registando-se o ângulo entre cada barra e o chão. A máquina é então inicializada até estabilizar na sua condição de funcionamento normal.

O novo comprimento de cada barra é registada assim como o ângulo entre a barra e o chão. Estas figuras são utilizadas para calcular a expansão térmica horizontal e vertical.

A fotografia seguinte mostra um par de barras montadas numa bomba.



Temperatura

A técnica do perfil de temperatura calcula a variação da posição vertical da linha de eixos devido a variações de temperatura. Este método apenas determina a expansão térmica vertical. A elevação colocada por de baixo das sapatas serve de referência para as medições verticais. Como a direcção horizontal não é calculada, logo, não existe referencia horizontal. Esta técnica é adequada para máquinas de potência menor que 500 CV.

Esta técnica utiliza a fórmula de **expansão linear**:

$$E = \text{Altura} \times \text{Variação Temperatura} \times \text{Coeficiente Expansão Térmica}$$

Recomenda-se que se execute um mínimo de quatro leituras em cada perfil. As leituras de temperatura a frio são executadas ao mesmo tempo que as leituras de alinhamento, enquanto que as leituras da temperatura a quente são executadas quando a máquina estabiliza na sua condição de funcionamento normal.

Material	Coefic. dilatação
Aço	0.000011
Ferro fund.	0.000009
Alumínio	0.000023
Bronze	0.000018

Temperatura - Exemplo

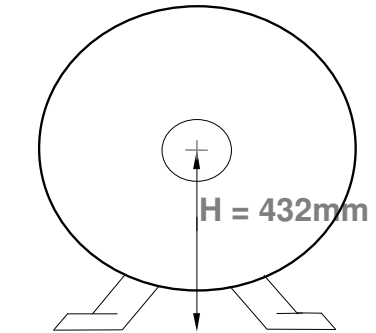
EXEMPLO

Material = Alumínio
Comprimento, H = 432 mm
C = 0.000023

Temperatura em funcionamento = 42.2 °C
Temperatura parada = 21.8 °C

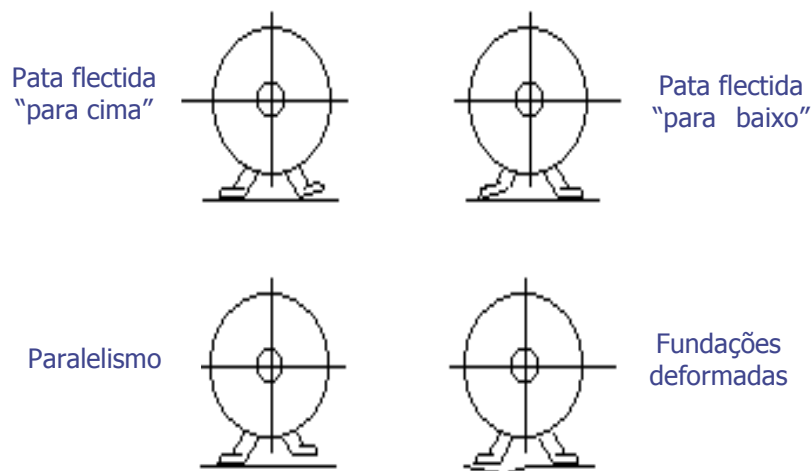
$E = \text{Altura} \times \text{Variação Temperatura} \times \text{Coeficiente Expansão Térmica}$

$$E = 432 \times (42.2 - 21.8) \times 0.000023 = 0.20 \text{ mm}$$



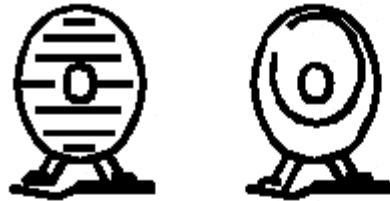
PATA COXA

Pata coxa ocorre quando uma ou mais sapatas da máquina não se encontram no mesmo plano das outras. Esta condição terá como consequência a distorção da base. Esta distorção pode provocar uma falha nos rolamentos. Outra consequência muito vulgar da pata coxa é a dificuldade acrescida na execução de um alinhamento de precisão.

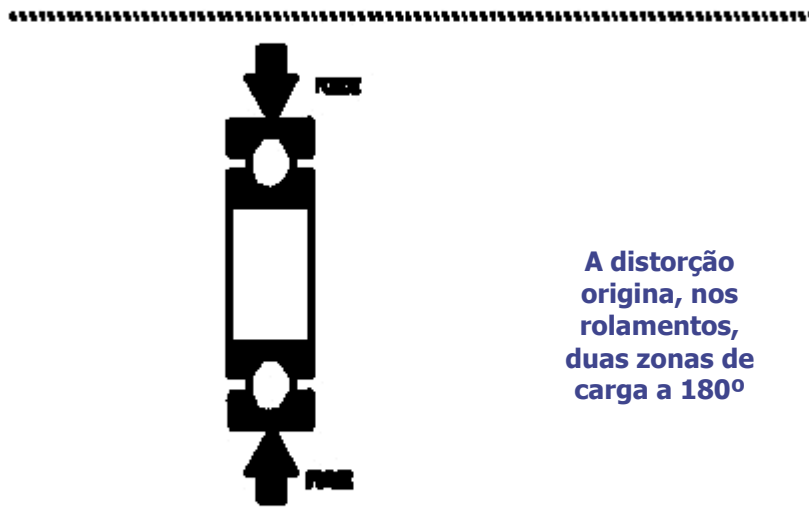


Consequências da Pata Coxa

Infelizmente, os problemas de pata coxa são mais difíceis de corrigir do que de localizar. A correção depende do tipo de pata coxa. Algumas consequências deste fenômeno são indicadas na figura seguinte.



**Distorção da
carcaça**



**A distorção
origina, nos
rolamentos,
duas zonas de
carga a 180°**



**Origina
desalinhamento
interno**

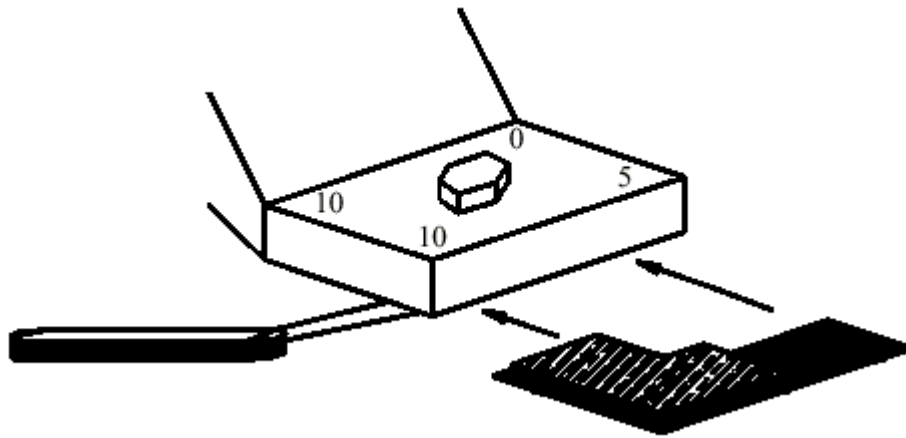
A pata coxa paralela pode ser corrigida medindo a folga das sapatas com um comparador enquanto a sapata é desapertada. Para corrigir este tipo de pata coxa basta colocar calços apropriados na sapata a corrigir.



Infelizmente a pata coxa paralela é muito rara. Muitos tipos de pata coxa irão exigir do técnico a verificação das folgas (usando um apalpa folgas) em cada sapata e muita paciência.

Os passos seguintes devem ser seguidos para correção de problemas de pata coxa:

- Depois de localizar a pata coxa em cada uma das sapatas, começar a desapertar os parafusos de cada uma delas;
- *A este ponto, a ciência torna-se arte.* Numa sapata de cada vez, começar com um apalpa folgas de e registrar a folga a cada canto da sapata. Repetir este procedimento com diferentes espessuras até encontrarmos o perfil de cada sapata. Construir um calço como indicado na figura para corrigir a pata coxa.

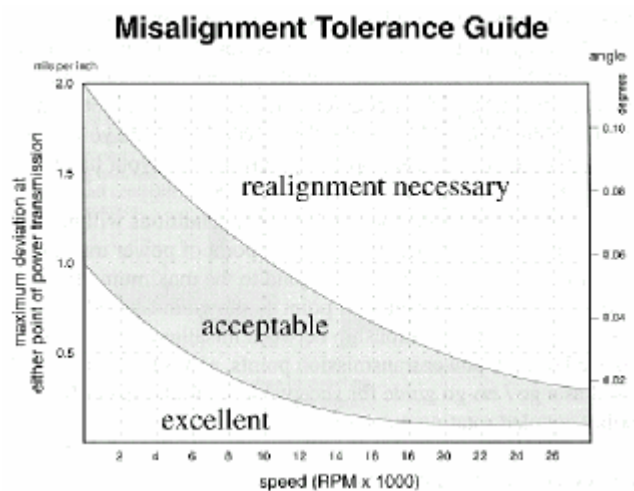


- Apertar todos os parafusos
- Voltar a verificar o fenômeno da pata coxa

TOLERÂNCIAS DE ALINHAMENTO

RPM	Paralelo (1/100 mm)	Angular (1/100 mm)
750	9	9
1500	6	5
3000	3	2,5
6000	2	1,5

Optalign



	Excelente		Aceitável	
	Paralelo	Angular	Paralelo	Angular
0 < RPM < 500	0,13 mm	1,50 mrad	0,15 mm	2,00 mrad
500 < RPM < 1250	0,10 mm	1,00 mrad	0,13 mm	1,50 mrad
1250 < RPM < 2000	0,08 mm	0,50 mrad	0,10 mm	1,00 mrad
2000 < RPM < 3500	0,05 mm	0,30 mrad	0,08 mm	0,50 mm
3500 < RPM < 7000	0,03 mm	0,25 mrad	0,05 mm	0,30 mrad
7000 < RPM	0,01 mm	0,20 mrad	0,03 mm	0,25 mrad

CSI