



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO

UFRJ

Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica
Monitoração e Diagnóstico de Máquinas

Desalinhamento de Eixos

Professor: Fernando Augusto de Noronha Castro Pinto

Gabriel Lopes dos Santos Oliveira 117048353

Gabriela Torres Oliveira 118040918

Sumário

1	Introdução	3
2	Definição	4
3	Causas.....	5
4	Consequências.....	5
5	Identificação.....	6
5.1	Análise de vibrações.....	6
5.2	Termografia	8
6	Alinhamento	9
6.1	Relógio comparador	10
6.2	Régua e calibrador de folga	11
6.3	Alinhamento a laser	12
7	Conclusão.....	13
	Bibliografia.....	14

1 Introdução

Máquinas rotativas são aquelas que utilizam o eixo para transferir energia de uma parte que vai ser o conjunto motor para outra que vai ser o conjunto motriz. Uma de suas finalidades é a de, a partir do movimento, transformar um modo de energia em outro, por exemplo, transformar energia elétrica em mecânica. Sua presença na indústria e em outros meios é, à vista disso, extensiva, de forma que a compreensão a respeito delas e de seu funcionamento é imperiosa. Essa compreensão inclui o conhecimento de seus principais defeitos, sabendo como identificá-los e como evitá-los.

Segundo uma pesquisa realizada pela “International Maintenance Conference” (IMC-2012) sobre as falhas mais recorrentes em máquinas, é visto que o desalinhamento de eixos ocupa uma posição de destaque, sendo responsável por 32% dessas falhas. O desalinhamento ficou com o primeiro lugar da pesquisa, sendo considerado, portanto, como a principal fonte de problemas. Atrás dele, encontram-se a falha de rolamento (31%), o desbalanceamento (18%), folgas (16%) e outros (3%). Isso prova, por conseguinte, a importância de se compreender o fenômeno em questão, dado a sua frequência de ocorrência.

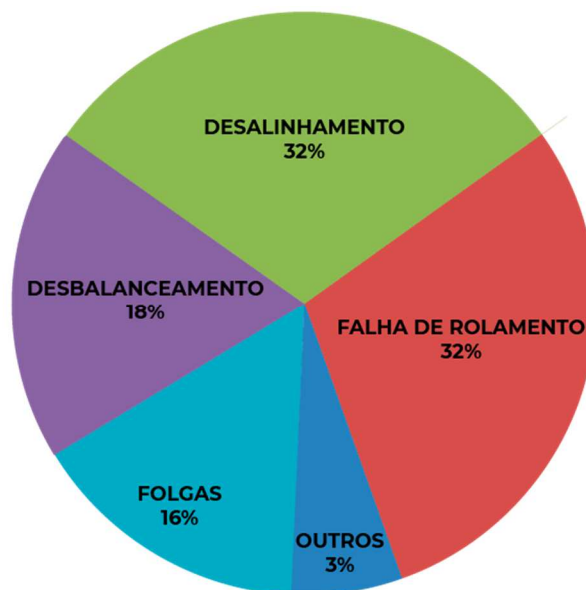


Figura 1. Gráfico com principais motivos para falhas em máquinas

Como exemplo de aplicação dos eixos em uma máquina rotativa, pode-se citar o exemplo da motobomba, em que um motor transfere energia gerada por indução eletromagnética para o componente que vai ser a própria bomba. Isso é feito através do acoplamento entre esses eixos. Para que isso seja feito da forma mais eficiente e precisa possível, os eixos precisam estar acoplados e alinhados. Caso contrário, vibrações serão geradas em excesso, ocasionando, como consequência, na falha da máquina ou antecipando falhas já previamente existentes.

À vista da alta frequência de ocorrência do defeito em questão e da importância dos eixos em máquinas de utilização extensiva tais como são as máquinas rotativas, decidiu-se, como finalidade deste trabalho, a discussão a respeito de tópicos concernentes ao desalinhamento de eixos.

Nele, daremos a definição do problema, causas, consequências e como realizar a identificação e a correção de tal irregularidade, ou seja, como realizar o processo de alinhamento dos eixos. É importante destacar, no entanto, que toda máquina possui um grau de tolerância de desalinhamento na montagem e que, mesmo com a tecnologia e os recursos que temos hoje, como as ferramentas a laser, ainda assim não haverá um alinhamento perfeito. Dessa forma, o que se objetiva alcançar em uma montagem é sempre o maior alinhamento possível ou, ao menos, evitar um desalinhamento que provoque efeitos danosos na máquina.

2 Definição

O desalinhamento de eixos é definido como a condição em que a linha central geométrica de dois eixos acoplados não coincide ao longo do eixo de rotação. Ele pode se apresentar em três formas, sendo elas: paralelo (ou radial), angular (ou axial) e combinado (ou misto). A primeira ocorre quando as linhas que passam pelo centro do eixo se apresentam de forma paralela e deslocadas do centro. Já a segunda ocorre quando as linhas centrais formam um ângulo entre si, não sendo, portanto, paralelas. Por fim, a última é uma mistura das duas formas anteriores, com desvios paralelos e angulares. O desalinhamento combinado (ou misto) é o tipo mais frequente de desalinhamento de eixos. Dado que cada tipo de desalinhamento pode ser encontrado tanto na vertical como na horizontal, existem, no total, seis tipos de desalinhamento. Abaixo, a imagem ilustra os três tipos mencionados.

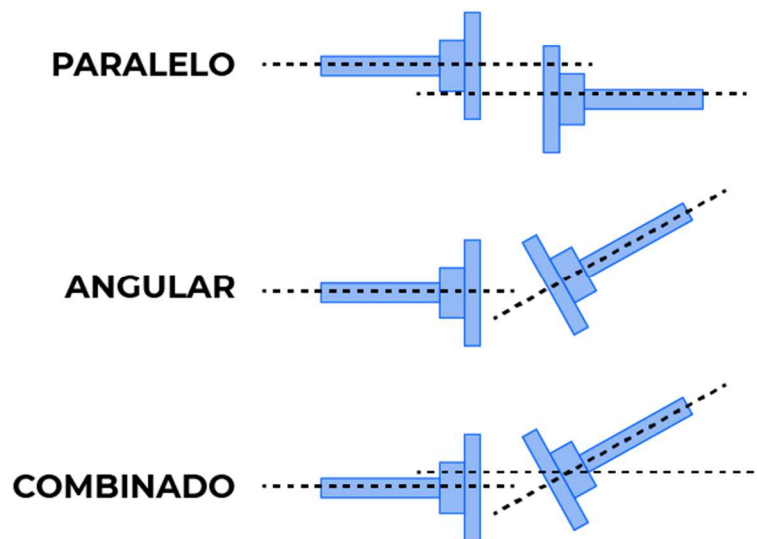


Figura 2. Tipos de desalinhamento de eixos de acordo com as posições das linhas centrais. O primeiro é o paralelo, o segundo é o angular e o terceiro, o combinado

3 Causas

Segundo Junior (2017), são as principais causas do desalinhamento em máquinas rotativas: montagens inadequadas, ou fora das especificações de projeto; execução de alinhamentos imprecisos; desgaste de mancais de rolamentos e folgas; variação abrupta de carga no maquinário; movimentação da fundação; dilatação térmica dos componentes mecânicos; pré-carga por eixo fletido; junção incorreta de acoplamentos; falta de perpendicularidade da face do acoplamento; “pé-manco”, ou seja, o contato inadequado entre os pontos de apoio do equipamento e a base que o sustenta.

4 Consequências

Com o desalinhamento, haverá esforços e momentos não aproveitados de um eixo para outro. Essa energia extra propagada vai gerar vibrações excessivas e aumento de temperatura no equipamento. Esse excesso gera desgastes nos equipamentos e falhas em acoplamentos, rotores, rolamentos, selos e base de fixação. Afetando o selo mecânico, por exemplo, haverá vazamento de óleo, um dos sinais mais clássicos do desalinhamento.

Como principais sinais e consequências do desalinhamento de eixos, citam-se: vibração excessiva; aumento da temperatura da carcaça próxima ao rolamento; vazamento do óleo; parafusos soltos e fixações frouxas; acoplamentos quebrados; consumo excessivo de lubrificante; desgastes prematuros e aceleração do potencial para falhas, o que resulta em irregularidade prematuras em rolamentos, vedações, eixos ou acoplamentos. Além disso, sabe-se que o aumento do consumo de energia em função do grau do desalinhamento pode chegar a quase 10%. É comum encontrar uma diferença de três a quatro amperes entre a potência despendida para acionar um equipamento corretamente alinhado e um desalinhado.

Rolamentos são os que mais sofrem, pois recebem um esforço muito acima do qual foram projetados. Há ainda o caso dos rolamentos de esferas, os quais normalmente não são projetados para receber cargas axiais. O vazamento observado em elementos vedantes se explica pelo fato de estes não conseguirem o contato ideal com o eixo. O superaquecimento nos acoplamentos causado pelo desalinhamento leva ao ressecamento das partes de borracha (comumente utilizadas nestes elementos).

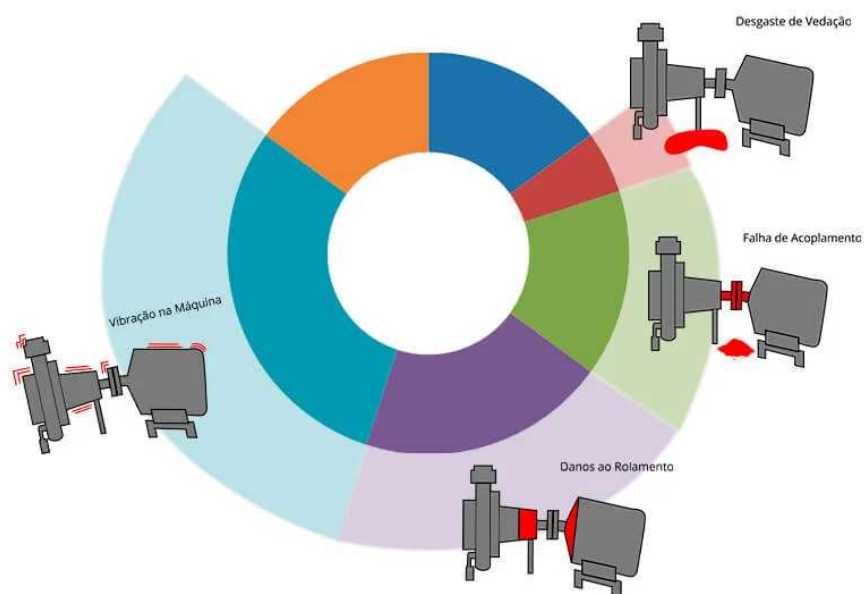


Figura 3. Componentes com falhas mais recorrentes em máquinas. Em lilás, danos ao rolamento. Em verde, falha de acoplamento. Em vermelho, desgaste na vedação.

5 Identificação

5.1 Análise de vibrações

Variações de amplitude, intensidade e frequência caracterizam a vibração de qualquer objeto em movimento. Em sua condição normal, o equipamento apresenta um padrão de vibração, ou seja, ele apresenta um comportamento característico esperado. À medida que as falhas surgem, esse padrão vai se alterando, pois os níveis de vibração do equipamento tendem a aumentar. A análise dos níveis de vibração tendo esse padrão como referência possibilita caracterizar a condição de falha no equipamento e a obtenção de informações sobre a saúde dos equipamentos. Trata-se, portanto, de uma técnica comparativa, de forma que parâmetros pré-estabelecidos pelo fabricante do equipamento ou por normas técnicas sejam indispensáveis para a realização do procedimento.

Pode-se dizer que a análise de vibrações é dividida em quatro etapas: medição de vibração do equipamento, levantamento de suas características, processamento do sinal e posterior confronto com um referencial. No processo de medição de vibração, utiliza-se um transdutor, capaz de converter parâmetros mecânicos em uma resposta elétrica. O mais comum para este fim é o uso do acelerômetro piezelétrico. O uso de acelerômetros permite a medição de sinais com uma faixa de frequência extensa, 5 Hz à 5 kHz ou de 20 Hz à 20 kHz, o que não pode ser alcançado com transdutores de velocidade, que chegam a no máximo 1 ou 2 kHz, o que explica a preferência pelos primeiros. Já para realizar a análise de vibrações, emprega-se um analisador de vibrações, que apresenta em sua tela os resultados obtidos. Geralmente, esses resultados costumam ser

mostrados na forma de gráficos de frequência x amplitude, conhecidos como espectro. A frequência, a fase e a amplitude são os principais dados a serem observados neste estudo.

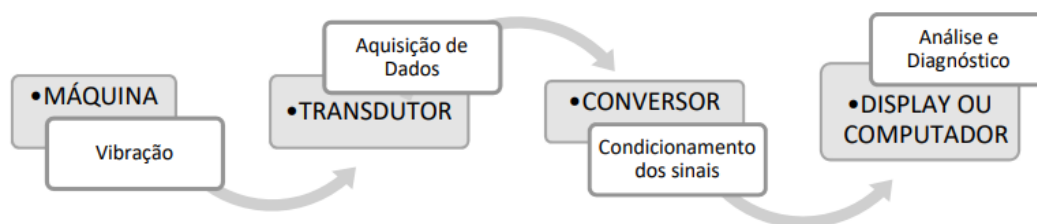
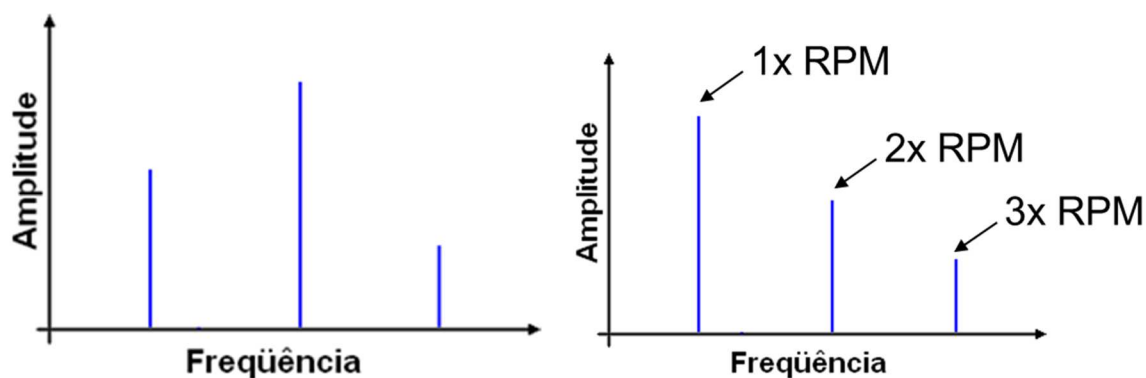
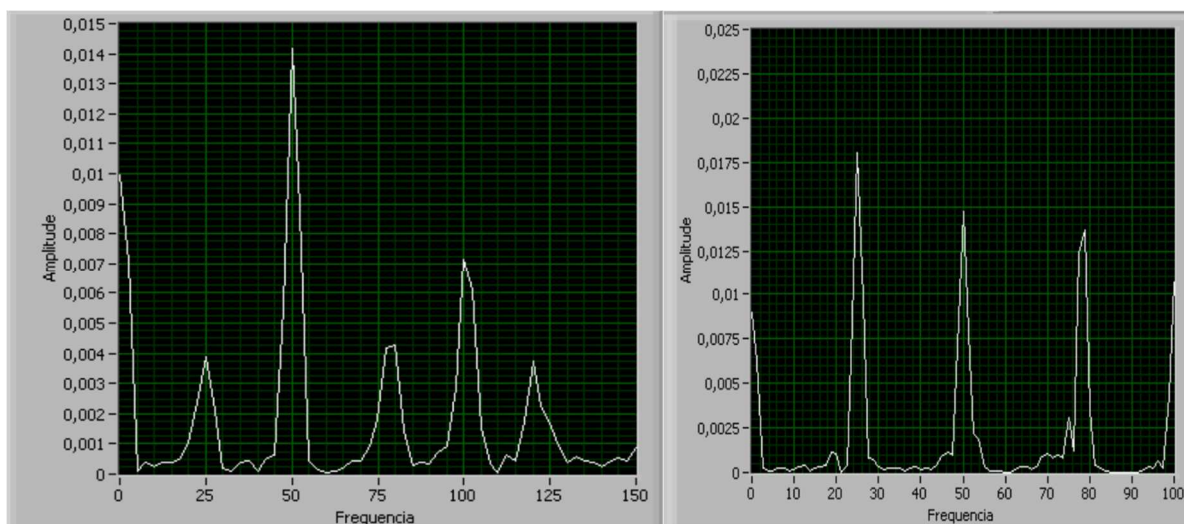


Figura 4. Fluxo básico de medição de vibração

As vibrações permitem não apenas identificar a existência ou a ausência de um desalinhamento, como também o seu tipo - paralelo ou angular. Isso ocorre através da observação dos harmônicos - em especial, o primeiro e o segundo - e das amplitudes das ondas nos gráficos gerados. Em geral, pode-se dizer que, no tipo angular, o maior harmônico é o 1X à rotação do eixo na direção axial, com defasagem de 180° . Enquanto isso, no tipo paralelo, o harmônico dominante é o 2X da rotação, na frequência de rotação. A amplitude máxima ocorre preferencialmente no plano radial, com defasagem de 180° . Observa-se que a notação 1X, 2X, 3X etc. representa múltiplos da velocidade de rotação da máquina. Nepomuceno (1989) afirma que, quando as amplitudes de vibrações axiais forem superiores em uma vez e meia às vibrações radiais, existe grande probabilidade de que esteja ocorrendo o desalinhamento do eixo em questão.



Figuras 5 e 6. Esquema representativo dos gráficos de frequência x amplitude. O primeiro é referente ao desalinhamento paralelo e o segundo, ao angular



Figuras 7 e 8. Gráficos de frequência x amplitude no analisador de vibrações. O primeiro é referente ao desalinhamento paralelo e o segundo, ao angular

Por fim, salientam-se alguns pontos relevantes. O primeiro deles é que, com apenas um único espectro de vibração em uma condição de operação, não é possível julgar rapidamente que a causa do mau funcionamento é o desalinhamento de eixos. O desalinhamento pode se disfarçar muito bem em uma máquina rotativa em funcionamento e, assim, seu diagnóstico não pode ser feito de maneira imediata ou com técnicas contenciosas. Em segundo lugar, não se considera a existência de uma relação entre a quantidade de desalinhamento e o nível/amplitude de vibração, apesar de Piotrowski (2006) relatar a possibilidade de os níveis de vibração diminuírem com o aumento da severidade de desalinhamento. Finalmente, diferentes designs de acoplamento flexível ou rígido influenciam no padrão vibracional da máquina, do mesmo modo que mancais deslizantes e mancais do tipo anti-atricção também produzem características de vibração discordantes.

5.2 Termografia

Embora o método principal e mais preciso de diagnóstico seja a análise de vibrações, a termografia pode ser vista como um método auxiliar na detecção, afinal, como visto anteriormente, o desalinhamento causa aumento da temperatura do equipamento, em especial, da carcaça próxima ao rolamento. Para diagnóstico de falhas, conceitua-se que parte da potência das máquinas com defeito se transforma em perdas e, portanto, é dissipada, gerando calor. Isso explica o porquê de que, quanto maior a temperatura, maior a radiação infravermelha emitida.

No entanto, a termografia é considerada um método de detecção limitado, pois, segundo Pacholok (2004), foi observada uma grande dificuldade de se estabelecer uma escala confiável entre a geração de calor no elemento flexível do acoplamento e a amplitude do desalinhamento. Pacholok (2004) também comenta que o acoplamento recebe mais calor do motor elétrico do que da geração de calor advinda do desalinhamento dos eixos, o que faz com que essa técnica perca, de certa forma, sua utilidade, considerando o propósito do ensaio. Apenas quando os valores do desalinhamento forem muito elevados comparados com as recomendações de

tolerâncias estipuladas para o acoplamento, resultados satisfatórios podem ser obtidos com esse procedimento.

A termografia consiste no uso de um termovisor para detectar a radiação (calor) proveniente de um objeto, convertendo-a em temperatura e exibindo uma imagem da distribuição de temperatura. Na inspeção termográfica de sistemas elétricos, o termovisor é o equipamento utilizado para realizar a medição da temperatura e da distribuição de calor. Os termovisores são conhecidos também como câmeras termográficas e são eles que captam a imagem e mostram as regiões quentes e frias. Após o processamento da imagem, uma determinada cor é atribuída a cada ponto de medição, de acordo com o valor da temperatura - em geral, a cor azulada está associada à menor emissão de calor, enquanto que o aspecto mais próximo do vermelho está associado à maior emissão.

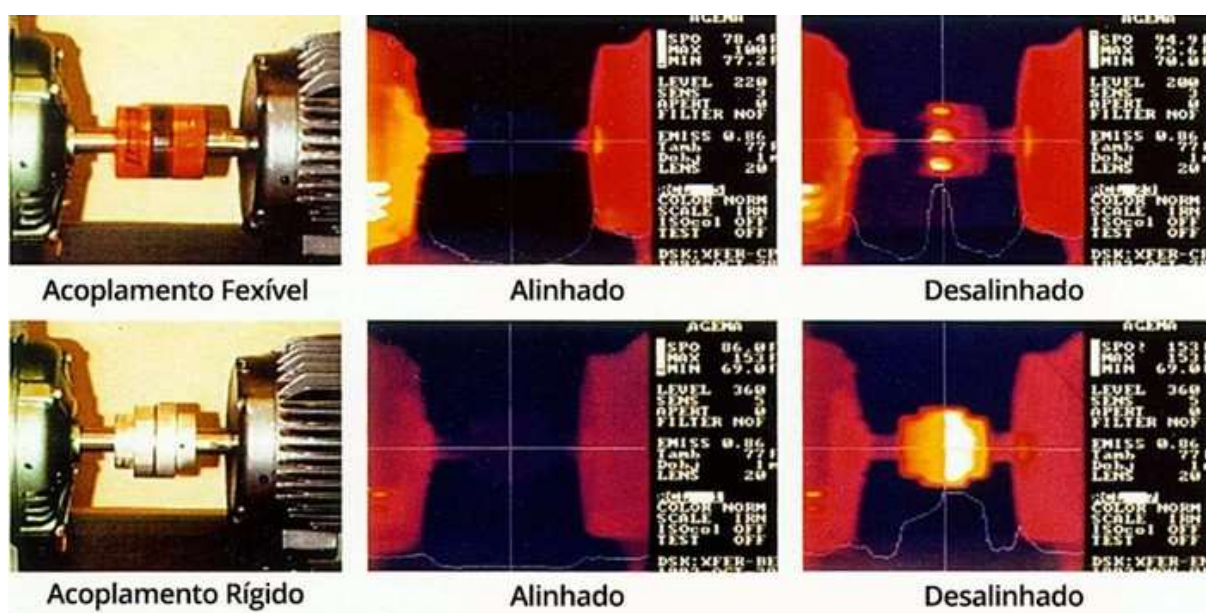


Figura 9. Aplicação da termografia em um acoplamento flexível (acima) e outro rígido (abaixo), com e sem desalinhamento

6 Alinhamento

Para solucionarmos a questão descrita ao longo deste trabalho, é necessário realizarmos o alinhamento da máquina. O alinhamento diminui a vibração da máquina e reduz o número de manutenções corretivas e o tempo que a máquina fica parada devido à quebra de componentes. O procedimento garante também a vida útil projetada de componentes em equipamentos rotativos e contribui para a economia no consumo de energia elétrica e na redução de custos em geral, o que inclui custos com manutenção e energia. Para mais, colabora na confiabilidade da máquina, ou seja, na probabilidade de que ela desempenhe sua função conforme o projeto e condições de operação, durante o período de tempo esperado.

As três principais técnicas de alinhamento são: relógio comparador; régua e calibrador de folga; alinhamento a laser. Usando três variáveis - velocidade, precisão e facilidade de uso - para

fazer uma comparação entre eles, tem-se que para o relógio comparador temos boa precisão, porém velocidade e facilidade de uso ruins. Para a régua, teremos uma má precisão, porém boas velocidades e facilidade de uso. O vencedor neste comparativo seria, portanto, o alinhamento a laser, que possui boa classificação nos três quesitos. Por último, atenta-se ao fato de que, nas palavras de Aguiar (2014), os métodos de alinhamento aqui descritos referem-se a máquinas frias, isto é, em que a temperatura de trabalho não exceda em 10°C à temperatura na qual o acoplamento foi alinhado. Em máquinas quentes, deve-se fazer uma verificação após atingir a temperatura de trabalho, para observar o comportamento da máquina e, se necessário, fazer-se a correção pelo mesmo método.

6.1 Relógio comparador

Tanto no alinhamento paralelo quanto no alinhamento angular, devemos sempre posicionar o relógio com a base magnética apoiada na parte do motor. A diferença está no fato de que, no primeiro, ele deve ser posicionado perpendicularmente ao acoplamento, enquanto que, no caso do segundo, o sensor deve estar posicionado axialmente em relação ao seu eixo. A medida obtida pelo relógio comparador é a diferença entre o comprimento da haste entre seu posicionamento sobre o objeto de referência e sobre o mensurando, ou seja, a medida direta obtida é justamente o defeito existente na máquina.

É, em geral, considerado um método muito preciso e confiável, contudo, os níveis de experiência e de competência técnica para executá-lo são altos. Isto posto, se a pessoa que estiver fazendo o uso desse método não for habilitada e experiente, a probabilidade de que erros de leitura ocorram aumenta, o que acarreta um maior tempo desta operação. No entanto, mesmo que o técnico seja habilidoso, incidências como folgas nas próprias peças dos relógios, por exemplo, podem ocorrer, prejudicando a medição e avaliação do problema.

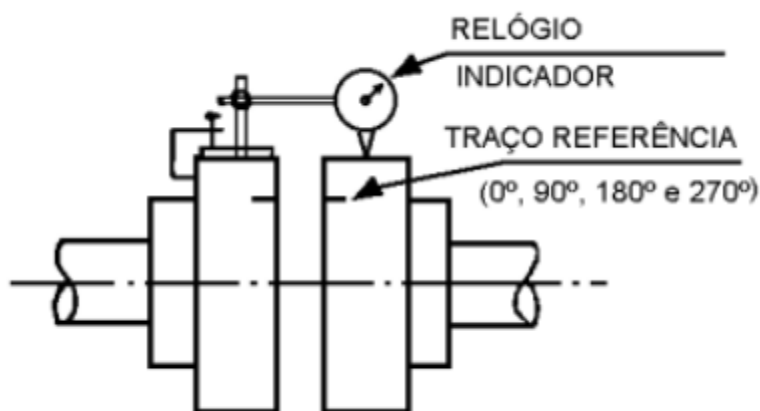


Figura 10. Alinhamento paralelo com relógio comparador

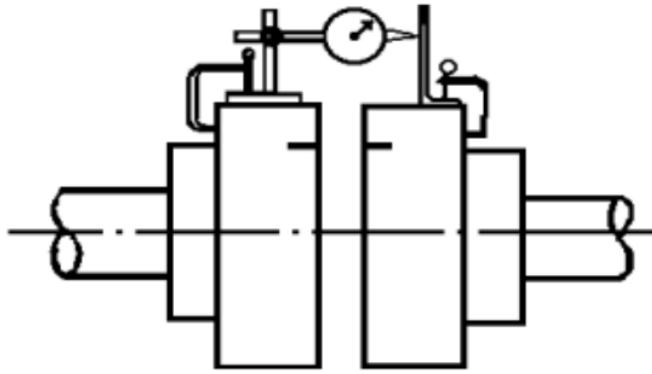


Figura 11. Alinhamento angular com relógio comparador

6.2 Régua e calibrador de folga

Sendo o método de menor precisão, pois depende do olho humano, o alinhamento com régua e calibrador de folga é apenas indicado em equipamentos de baixa rotação e com acoplamentos de grandes diâmetros ou em casos que exijam urgência de manutenção. Nele, utiliza-se uma régua com a função de nivelamento e emprega-se um calibrador (ou medidor) de folga com a função de medição.

Aguiar (2014) descreve que, para obter o alinhamento correto tomamos as leituras, observando sempre os mesmos traços referenciais em ambas as metades do acoplamento, em quatro posições defasadas de 90° . O alinhamento paralelo é obtido quando a régua se mantiver nivelada com as duas metades nas quatro posições (0° , 90° , 180° e 270°). Já o alinhamento angular é alcançado 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.

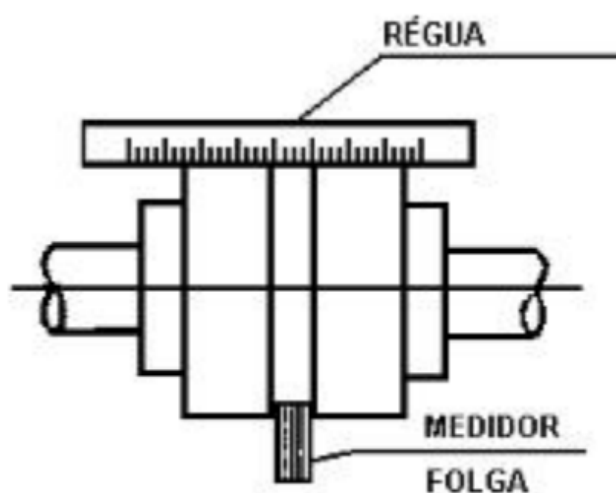


Figura 12. Alinhamento com régua e calibrador de folga

6.3 Alinhamento a laser

Considerado o melhor método dentre os três aqui presentes, no alinhamento a laser, a precisão chega a ser dez vezes maior face aos métodos tradicionais como o de relógios comparadores. Esse sistema de alinhamento consiste na utilização de duas unidades, sendo uma o transdutor emissor do laser, que é a parte fixa, e a outra é um prisma receptor do feixe laser, que é a parte móvel. Os dois elementos são ligados a um microcomputador portátil por meio de cabos ou por rádio frequência. O microcomputador interpreta os dados obtidos e, assim, consegue fornecer orientações para correção do problema. A técnica apresenta apenas limitação de uso em ambientes que possam provocar refração no feixe do laser, como lugares próximos a turbinas de vapor ou aqueles que possam interferir e ocasionar erros nas medições, como sob a luz solar.



Figura 13. Alinhamento a laser

7 Conclusão

Sendo o desalinhamento o problema mais frequente em máquinas rotativas, é de suma importância que este tema seja mais abordado, explorado e compreendido pela indústria. Neste trabalho, vimos a definição do problema, causas, consequências e como realizar a identificação e a correção de tal irregularidade, ou seja, como realizar o processo de alinhamento dos eixos. É fato que uma montagem bem realizada e medidas que preservem o bom estado e a boa performance do equipamento devem ser de conhecimento geral daqueles que possuem contato com máquinas rotativas. Saber identificar essa contrariedade e ter conhecimento de práticas de diagnóstico e de correção são também habilidades requeridas. Como visto, os métodos de detecção e os processos de alinhamento não são dificultosos ou financeiramente dispendiosos, muito pelo contrário, são relativamente simples e baratos, ainda mais se comparados a outras formas de revelação de defeitos maiores e mais complexos. Quando um problema de grande repercussão no equipamento possui uma solução acessível, como é o caso do desalinhamento, o conhecimento em tudo que concerne este problema torna-se um dos melhores investimentos para o indivíduo e para a indústria em geral, dada a notável relação de custo-benefício associada. São pequenas medidas e procedimentos que evitam o aumento de custos, o retrabalho e os efeitos destrutivos.

Bibliografia

NEPOMUCENO, L. X. Técnicas de Manutenção Preditiva. 1a ed. São Paulo, SP: E. Blucher, 1989.

PIOTROWSKI, J. Shaft alignment handbook. 3 ed ed. New York: Taylor & Francis Group, 2006.

PACHOLOK, M. Uso da termografia para avaliação do desalinhamento de eixos de máquinas rotativas: uma ferramenta auxiliar na análise de vibrações. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. 2004.

JUNIOR, Luís Carlos Biesek. Detecção de Desalinhamento por Análise de Vibração. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus de Pato Branco. 2017.

AGUIAR, Eudson de Sousa. Alinhamento em Máquinas Rotativas com Eixo. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. Rio de Janeiro. 2014.

SIEMANN, Gustavo Mello. Análise de vibração: estudo da técnica e aplicação prática em uma Indústria Siderúrgica. Universidade Estadual Paulista. Campus de Guaratinguetá. 2021.

BRAGA, Danilo. Como o desalinhamento de eixos ocorre e quais os perigos para o seu equipamento. CIMM. 27 de maio de 2020. Artigos. Disponível em <<https://www.cimm.com.br/portal/artigos/19954-como-o-desalinhamento-de-eixos-ocorre-e-quais-os-perigos-para-o-seu-equipamento>>. Acesso em 24 de junho de 2023.

Alinhamento de Eixos. Abecom. Disponível em <<https://www.abecom.com.br/alinhamento-de-eixos>>. Acesso em 24 de junho de 2023.

MARINELLI, Igor. Os perigos do desalinhamento de eixos. TRACTIAN. Disponível em <<https://traction.com/blog/desalinhamento-de-eixos-e-os-perigos-para-seu-equipamento>>. Acesso em 24 de junho de 2023.

MATHIAS, Mauro Hugo. Ferramentas de Diagnóstico de Máquinas. Universidade Estadual Paulista. Campus de Guaratinguetá. 2018.

Desalinhamento de Eixos e sua contribuição nas Falhas Mecânicas. Dynamox. 19 de agosto de 2020. Disponível em <<https://dynamox.net/blog/como-o-desalinhamento-de-eixos-ocorre-e-quais-os-perigos-para-o-seu-equipamento>>. Acesso em 24 de junho de 2023.