

MONITORAÇÃO E DIAGNÓSTICO
DE MÁQUINAS

Problemas de vibração em bombas

Grupo 7: Ana Luiza Leal, Maycon Bittencourt e Pedro Cardoso.

Agenda

O que esta apresentação abrange

01 Introdução

02 Medição de problemas em bombas

03 Identificação de defeitos em
bombas

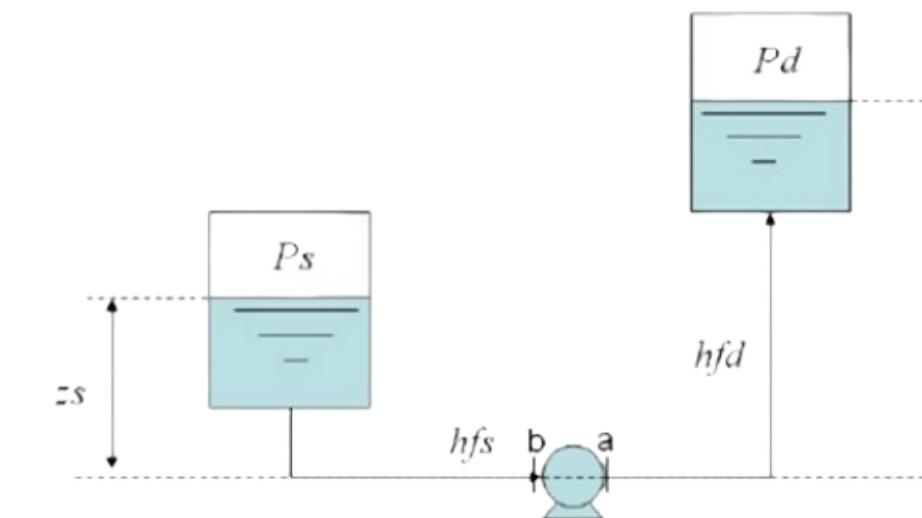
04 Resolução de problemas de vibração

1. Introdução

Sobre Bombas

Bombas

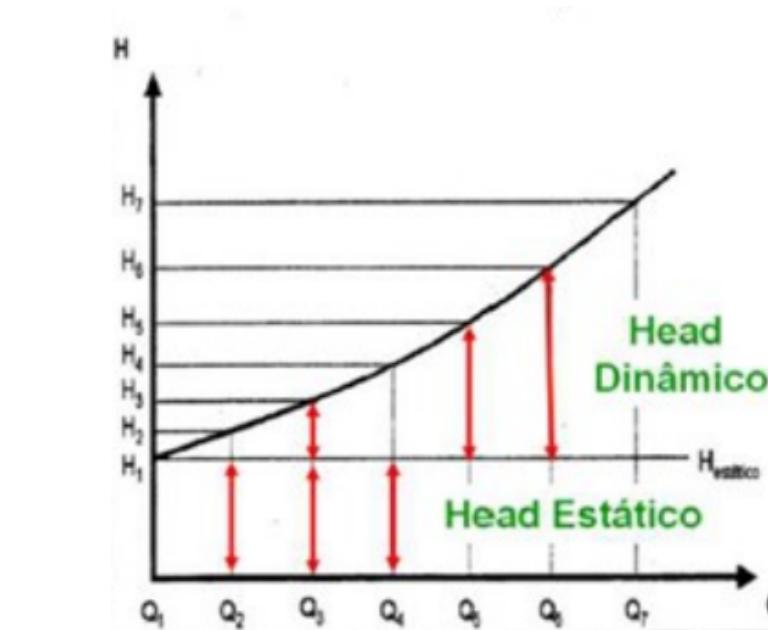
São máquinas operatrizes hidráulicas responsáveis por fornecer energia a um líquido para transportá-lo de um ponto a outro. Tais máquinas recebem energia de uma fonte motora e transferem parte para o fluido, principalmente em forma de energia de pressão e cinética.



$$H = \underbrace{(z_d - z_s)}_{\text{Estática}} + \underbrace{\frac{(P_d - P_s)}{\gamma}}_{\text{Dinâmica}} + \underbrace{(h_{fd} + h_{fs})}_{\text{Dinâmica}}$$

- Head (H): energia por unidade de peso do fluido que a bomba deve fornecer para que o escoamento ocorra nesse sistema, considerando na diferença entre a energia necessária na descarga (a) e a existente de sucção (b)

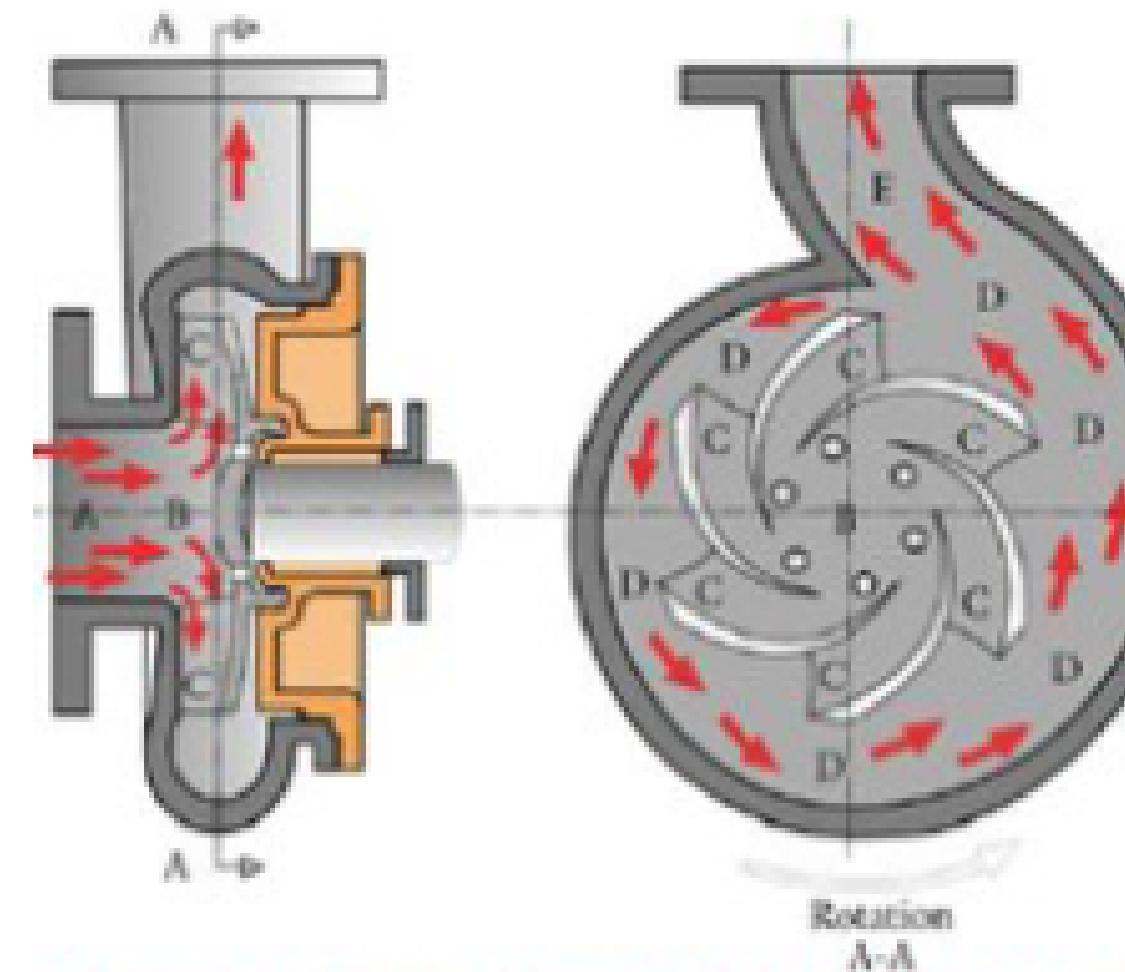
Curva Head X Vazão do Sistema



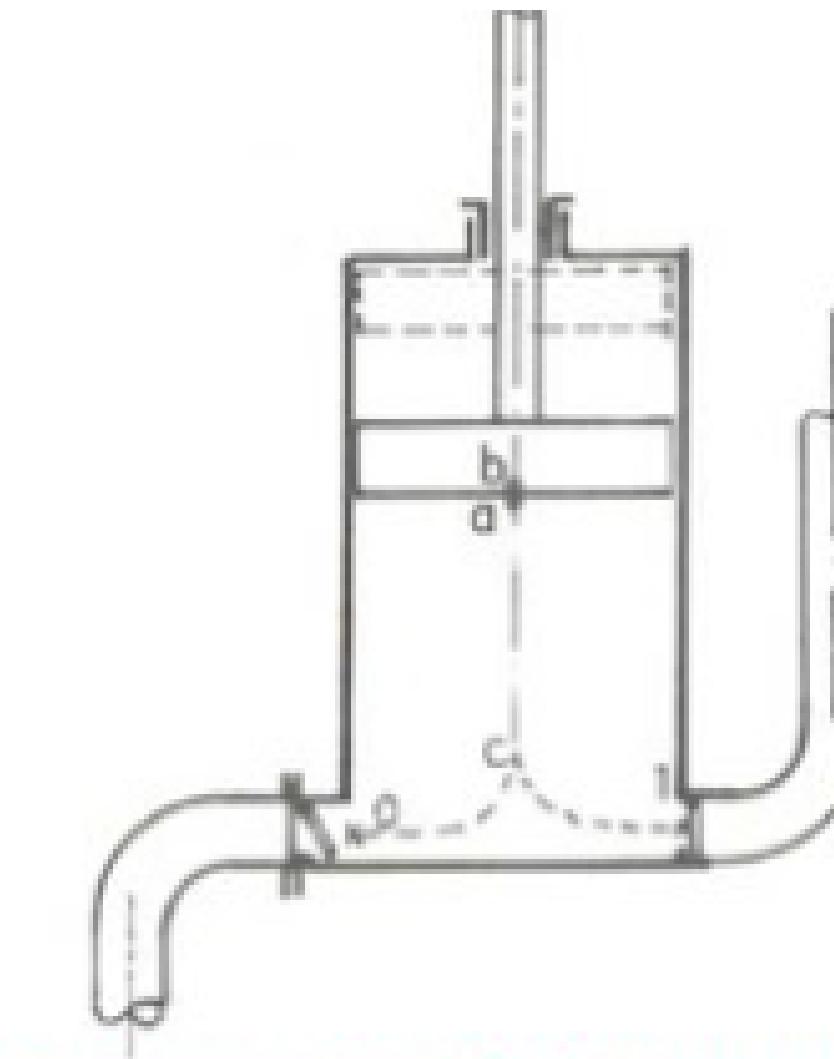
Sobre Bombas

Tipos de bombas

- Turbobombas/dinâmicas: as mais largamente utilizadas, realizam a transferência de energia ao fluido por movimento rotativo do impelidor, e são aplicadas desde baixas vazões e pressões até altas.
- Volumétricas/de deslocamento positivo: executam a transferência por pressão, de modo que a bomba “empurra” o fluido contra uma maior pressão imposta pelo sistema, sendo mais adequadas para altas pressões e baixas vazões.



Esquema de bomba centrífuga (turbobomba)



Esquema de bomba de pistão (deslocamento positivo)

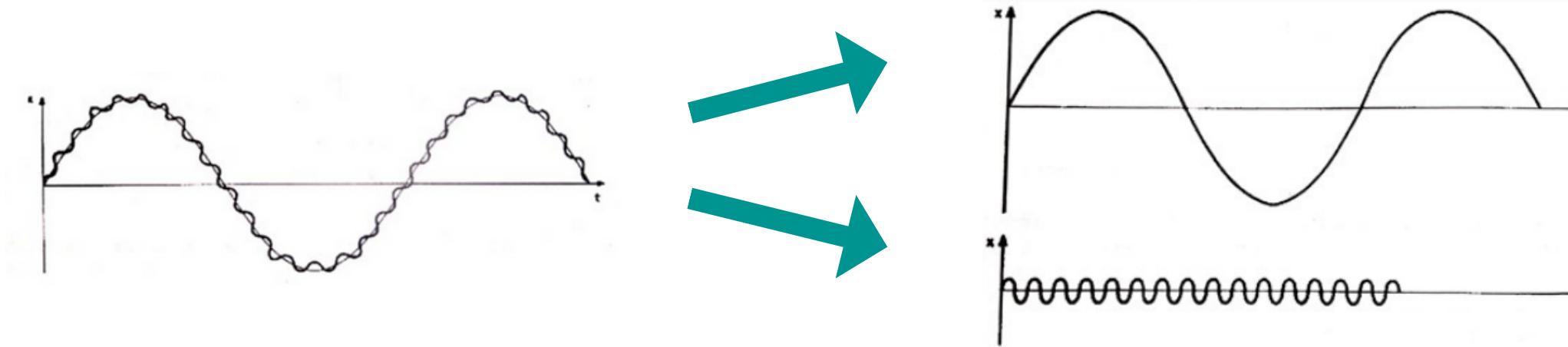
Vibração

Definição:

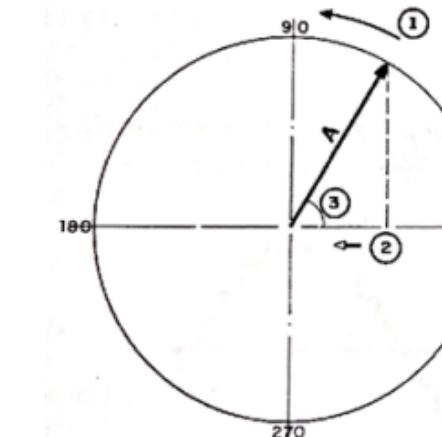
Corresponde a um movimento repetitivo a cada certo intervalo de tempo, denominado período (T).

Vibração em bombas:

Nomalmente monitorada pela: [Amplitude](#) e [Velocidade](#). É comum que a vibração seja composta oriunda de diferentes pertubações.



Fase da vibração:



1. Ponto (massa) em consideração
2. Projeção
3. Ângulo de fase

Tipos de Manutenção

Corretiva:

- Correção, restauração e recuperação da capacidade de produção de um equipamento ou instalação, tendo sido reduzido ou parado seu funcionamento.
- Primeira reação ao se esperar detectar a falha, antes de executar alguma ação de manutenção.
- Mais custosa: estocagem de peças de reposição, trabalho extra, tempo de parada e redução na disponibilidade do maquinário
- Causa a redução de vida útil e aleatoriedade nas paradas, o que pode levar à geração de grandes prejuízos financeiros

Preventiva:

- Segue um padrão com base no fabricante, verificações periódicas para troca de peças de modo a garantir o correto funcionamento em certo intervalo de tempo.
- Equilibrando as atividades de manutenção, por conta do controle preciso de peças para reposição e da programação antecipada de vistorias.

Preditiva:

- Determinação da condição de um equipamento durante sua operação,visto que a maioria das máquinas produzem algum sinal quando na iminência da falha
- Verificação por meio de técnicas de ensaio, como medição de vibrações, temperatura e ruído
- A principal vantagem deste tipo consiste em monitorar possíveis anomalias antes de se tornarem propriamente defeitos, minimizando riscos e aumentando a confiabilidade nas operações.

2. Medição de problemas em bombas



Parâmetros de Vibração

Parâmetros e seleção de sensores

- Deslocamento
- Aceleração
- Frequência
- Amortecimento
- Tensão mecânica
- Entre outros



- Sensores de deslocamento
- Acelerômetro
- Sensores de velocidade
- Sensores de fase e de frequência

1. Faixa de frequência:

- Baixas frequências: geralmente os sensores de deslocamento são mais indicados, desde que a amplitude do deslocamento não ultrapasse os limites de medição do sensor
- Altas frequências: as amplitudes do deslocamento geralmente são baixas, como consequência, a amplitude da aceleração é alta, o que torna os acelerômetros mais indicados.

2. Condições da máquina:

- a construção da máquina, os tipos de falhas que podem ocorrer e os parâmetros que caracterizam essas falhas, as condições ambientais no interior e no exterior da máquina, a faixa de rotação e o comportamento esperado para a dinâmica e vibração da máquina.

3. Estrutura da máquina

4. Tipo de análise nos dados obtidos

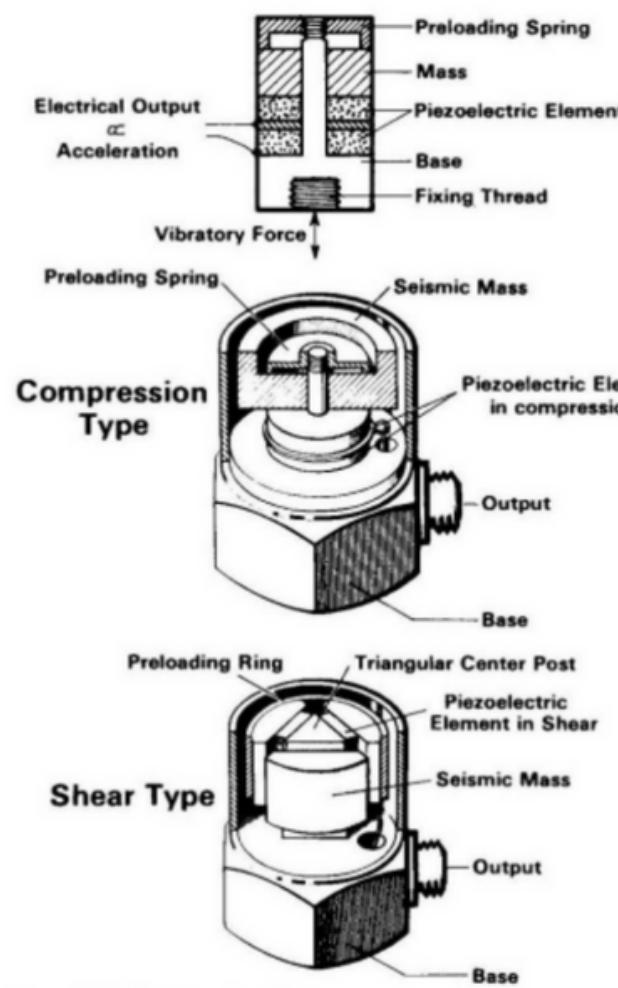
2. Medição de problemas em bombas



Sobre acelerômetros

- Operam em uma larga faixa de frequências e de temperaturas
- Não necessitam de fonte de alimentação e são instalados externamente
- Geralmente, acelerômetros piezoelétricos, relativamente grandes, apresentam valores mais elevados de sensibilidade. São sensíveis a ruídos, vibrações espúrias, aos métodos de instalação (ou fixação) e à condição da superfície.
- A massa do acelerômetro não deve exceder um décimo da massa dinâmica da peça sobre o qual o mesmo é posicionado ou fixado

Acelerômetro piezoelétrico



- O acelerômetro mais comum e com custo mais reduzido utiliza a massa inercial acoplada a um transdutor piezoelétrico.
- Materiais piezoelétricos são capazes de produzir diferença de potencial entre suas extremidades quando submetidos à uma força ou pressão.
- Funcionamento: Quando a máquina no qual o acelerômetro está montado vibra, a massa inercial exerce uma força sobre o cristal piezoelétrico, gerando uma diferença de potencial nas suas extremidades. A carga elétrica gerada é proporcional à força de excitação que age sobre o cristal.

Sensores de Proximidade

Sensores de Proximidade

- Medem o deslocamento em relação a partes estacionárias
- Consistem de uma sonda ou dispositivo físico que gera um campo eletromagnético e um circuito condicionador que gera uma tensão elétrica proporcional à distância entre a ponta da sonda e o elemento alvo.

Sensores de proximidade capacitivos

- Geralmente utilizados para medir distâncias entre $10\mu\text{m}$ e 10mm
- São sensíveis ao material encontrado no gap entre o sensor e o elemento medido, por isso não são indicados para ambientes que possam conter fluido ou partículas dispersas.
- Se comparados aos sensores indutivos, conseguem medir faixas de deslocamento duas vezes maiores, e detectam não somente objetos metálicos.

Sensores de proximidade indutivo

- Podem ser imersos em líquido, e não são afetados por partículas em suspensão ou algum fluido existente entre a sonda e o objeto medido.
- São sensíveis entretanto ao material do objeto medido, uma vez que diferentes metais reagem diferentemente com o campo eletromagnético produzido pelo sensor.
- Como é necessário a penetração deste campo eletromagnético no objeto medido, é ideal que este tenha uma área três vezes maior do que o diâmetro da sonda.

Sensores de Proximidade

Capacitivo

- Mede a distância entre o objeto e o sensor através da variação da capacitância que existirá entre os mesmos, com a criação de um campo elétrico alternado entre os dois.
- A sonda funciona como uma das placas do capacitor e o objeto funciona como a outra placa. A capacitância é afetada pela dimensão da sonda, pela superfície do objeto, pelo gap e pelo material que forma o gap

Indutivo

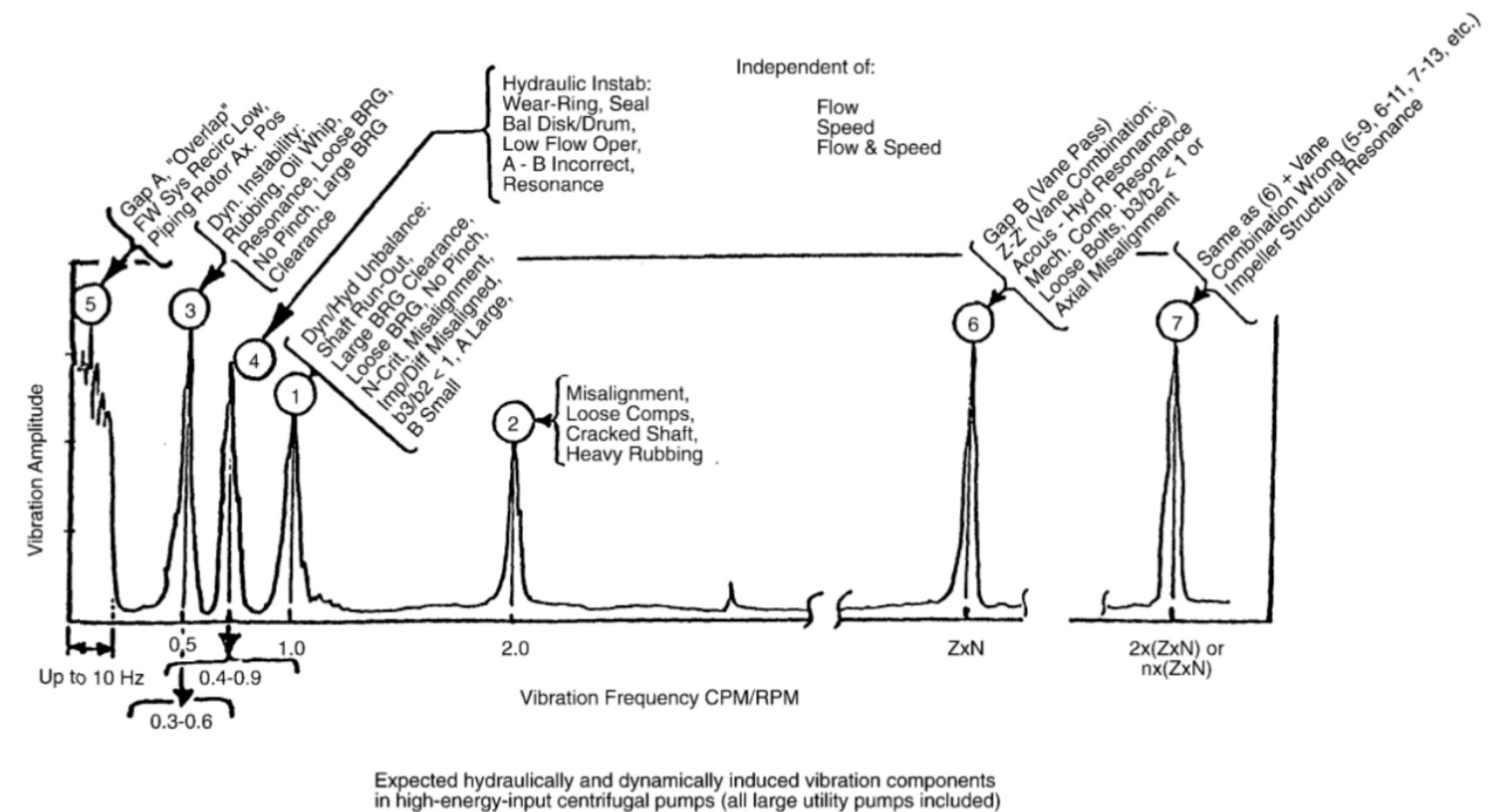
- Funciona baseado nas alterações do campo magnético entre o sensor e o objeto, que ocorrem devido ao surgimento de correntes de Foucault induzidas.
- Necessitam de fonte de alimentação externa, usualmente entre 18 e 24 Vcc.
- Montados diretamente na estrutura dos mancais dentro de furos rosqueados ou utilizando suportes rígidos adjacentes, fixados na carcaça do mancal
- É considerado o melhor tipo de sensor para se medir a vibração lateral e também axial do rotor em máquinas elétricas rotativas.
- Quando consideramos as condições ambientais das empresas e locais de funcionamento das bombas, ao princípio de funcionamento do sensor, o sensor de proximidade utilizado nos sistemas de monitoramento é o sensor indutivo

3. Identificação de defeitos em bombas

Introdução

Diagnóstico bem sucedido

Necessário que haja o conhecimento prévio das frequências de vibração do equipamento em suas condições de operação normal.



Tipos de Vibração

Instabilidades Hidráulicas

Cavitação

- Ocorre quando o ponto de operação da bomba está à direita do ponto de operação do sistema, ou seja, o líquido chega com menor pressão e maior vazão

Recirculação

- Quando o ponto de operação está à esquerda do ideal, com menor vazão e maior pressão.
- Provoca no fluxo um movimento de vortex na entrada do impelidor, causando choques similares aos de cavitação
- Ele pode ser observado pelas fortes vibrações em baixas frequências, tanto na bomba quanto nas tubulações.

Causa	Frequência	Amplitude	Observações
Desbalanceamento	1 x rpm	Maior na direção radial	É a causa mais comum de vibrações
Desalinhamento	1 x rpm	Axial 50% da radial	Vibração axial relativamente alta
Mancais não alinhados	1 x rpm	Não muito grande	-
Máquina frouxa na base	2 x rpm	-	Em geral acompanhada por desalinhamento e desbalanceamento
Correia de acionamento em mau estado	1, 2, 3 ou 4 x rpm das correias	Muito inconstante, velocidade alta	-
Rolamento defeituoso	Muito alta	Oscilante	Frequência = n° de esferas x rpm
Engrenagem defeituosa	Muito alta	Amplitude baixa, velocidade alta	Frequência = n° de dentes x rpm
Elétrica	1 ou 2 x a frequência síncrona	-	Desaparecimento imediato da vibração no corte da corrente

Critérios de avaliação de vibração

Normas ISO 7919 e ISO10816

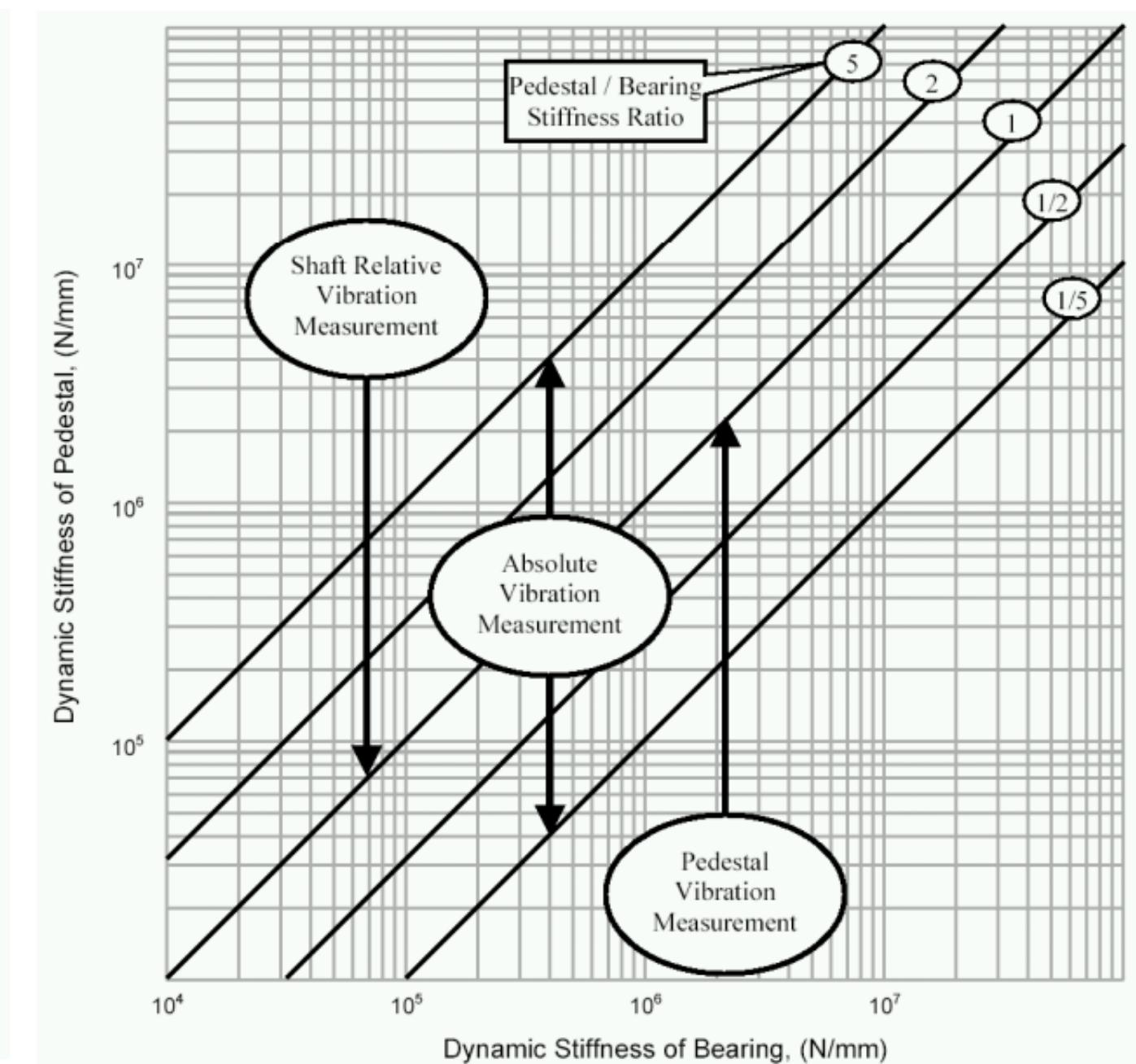
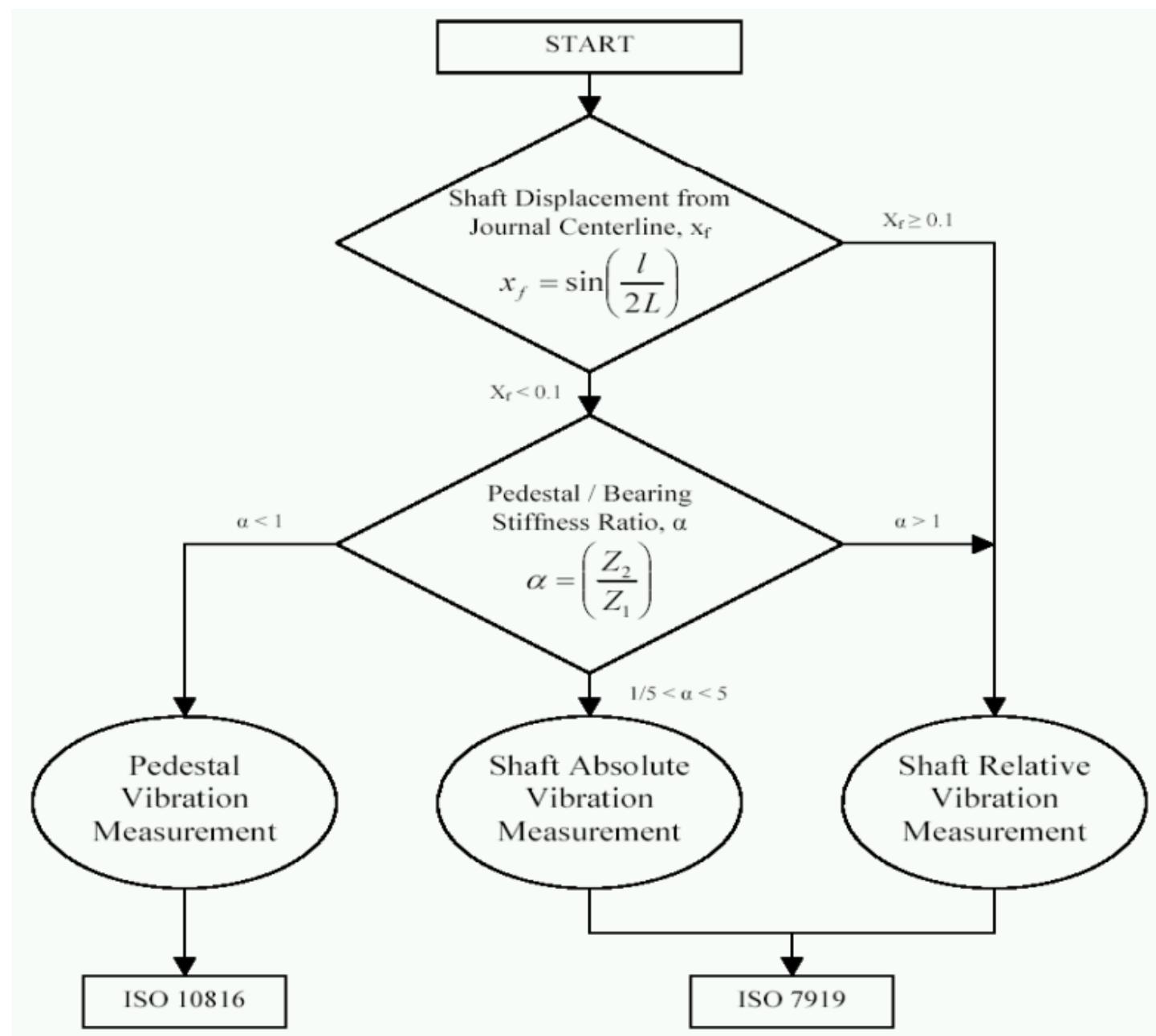
Comitê Técnico de Impacto e Vibração Mecânica do International Organization for Standardization



O critério de deslocamento de eixo em relação à linha de centro do mancal e o critério de taxa de rigidez da carcaça em relação ao mancal.

ISO 7919 Series		Mechanical vibration of non-reciprocating machines - Measurement on rotating shafts and evaluation criteria
7919-1:1996		Part 1: General Guidelines
7919-2: 2001		Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1500 r/min, 1800 r/min, 3000 r/min and 3600 r/min
7919-3: 1996		Part 3: Coupled industrial machines
7919-4: 1996		Part 4: Gas turbine sets
7919-5: 1997		Part 5: Machines set in hydraulic power generating and pumping plants
ISO 10816 Series		Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts
10816-1: 1995		Part 1: General Guidelines
10816-2: 2001		Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1500 r/min, 1800 r/min, 3000 r/min and 3600 r/min
10816-3: 1998		Part 3: Industrial machines with normal power above 15kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ
10816-4: 1998		Part 4: Gas turbine sets excluding aircraft derivatives
10816-5: 2000		Part 5: Machines set in hydraulic power generating and pumping plants
10816-6: 1995		Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW
10816-7 [*]		Part 7: Rotodynamic pumps for industrial application

Critérios de avaliação de vibração



Critérios de avaliação de vibração

A partir das medições do deslocamento do eixo em relação a sua linha central e da rigidez da base/mancais é possível determinar a taxa de rigidez dinâmica que indicará a melhor norma a ser utilizada de acordo com o tipo de máquina a ser avaliado e a partir dos critérios estabelecidos pelas normas, será possível identificar se há alguma não conformidade no funcionamento do equipamento.

Machine	Dynamic Stiffness Ratio, α	ISO 10816 (pedestal)	ISO 7919 (shaft)
High Pressure Turbine	5	Moderate	Good
Low Pressure Turbine	1.5	Moderate	Good
Large Generator	1.5	Moderate	Good
High Pressure Centrifugal Compressor	5	Not Good	Good
Large Fan	2/3	Good	Moderate
Small Fan & Pump	1/3	Good	Moderate
Vertical Pump	1/10	Good	Not Good
Large Steam Turbine Generator Set	1.5 to 3	Moderate	Good

Avaliação por valor de referência

Tratamento Estatístico

- Outra forma de identificar problemas no funcionamento de bombas é a partir de um tratamento estatístico das medidas do nível de vibração de cada ponto medido, estipulando assim um valor padrão do equipamento em cada ponto de medição e utilizando-o como referência.
- A determinação dos valores padrão de vibração deve ser feita utilizando uma bomba em boas condições de funcionamento e nas diversas configurações de operação às quais ela será submetida

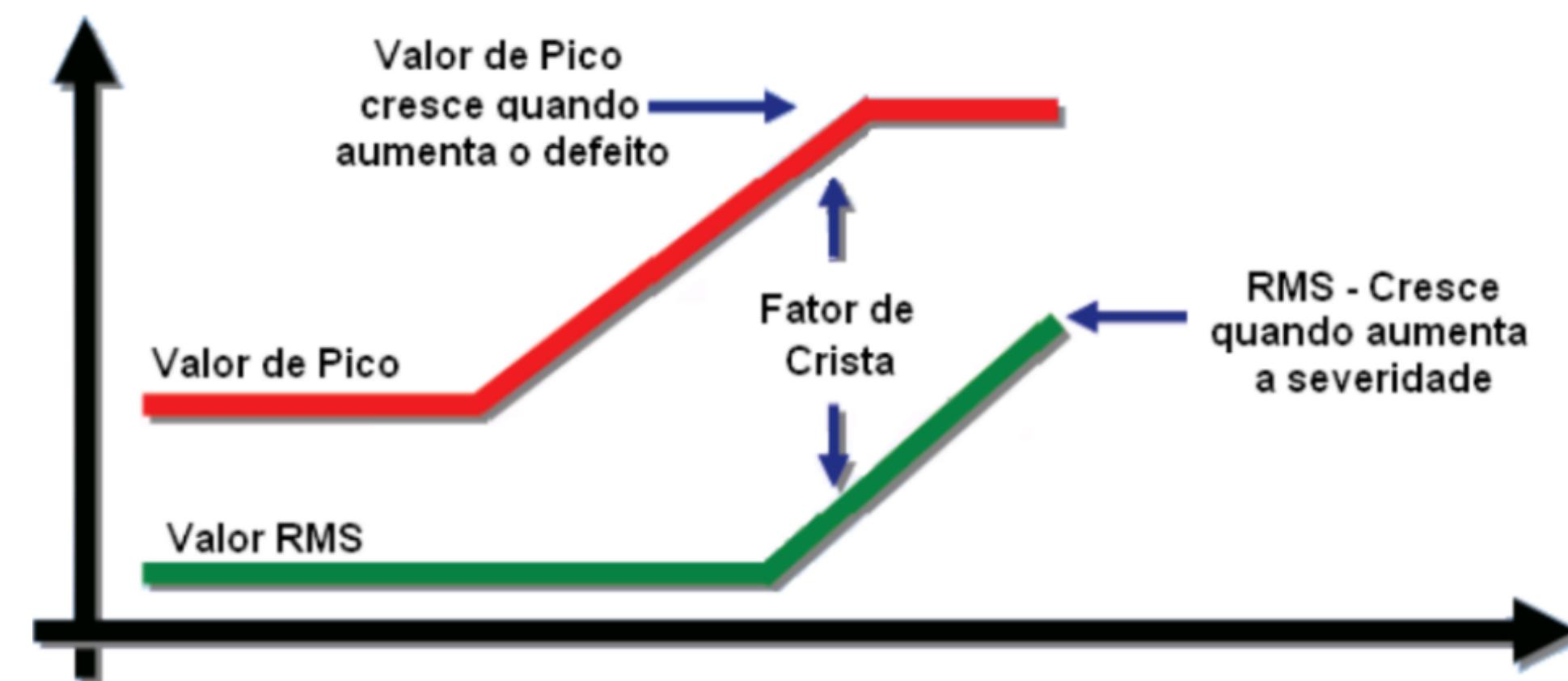
Intervalo de condições	ISO 2372	ISO 7919-5
$v \leq vp$	Bom	Bom
$vp < v \leq 2,5 vp$	Permissível	Aceitável
$2,5 vp < v \leq 10 vp$	Tolerável	Alarme
$10 vp < v$	Não permissível	Não permissível

Parâmetros complementares de avaliação

3. Identificação de defeitos em bombas

- Valor RMS (Root Mean Square)
- Valor de pico (Peak-Value)
 - Picos de vibração síncronos
 - Picos de vibração assíncronos
 - Picos sub-síncronos
- Fator de Crista (Crest-Factor)

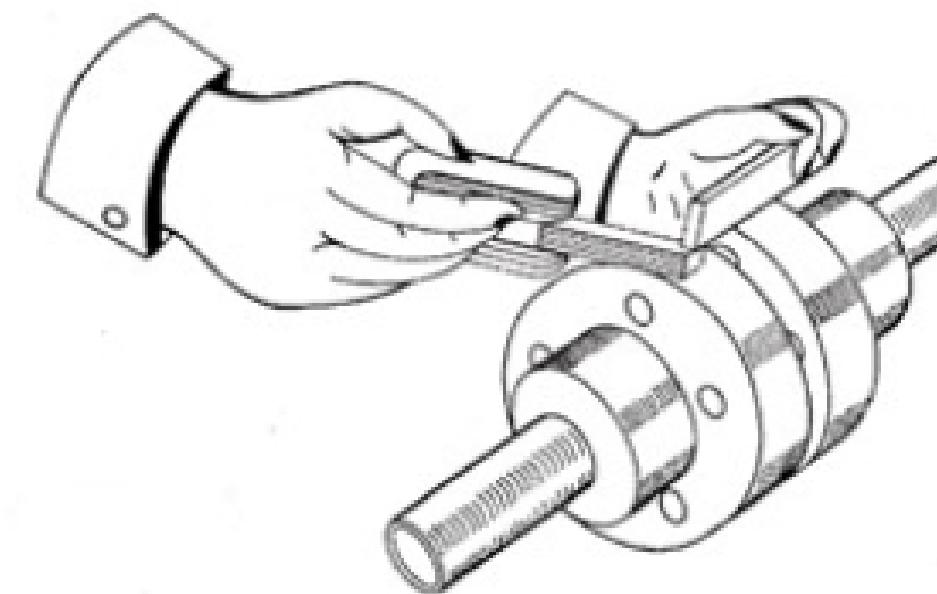
Relação entre Valor RMS, Fator de Crista e valor de Pico:



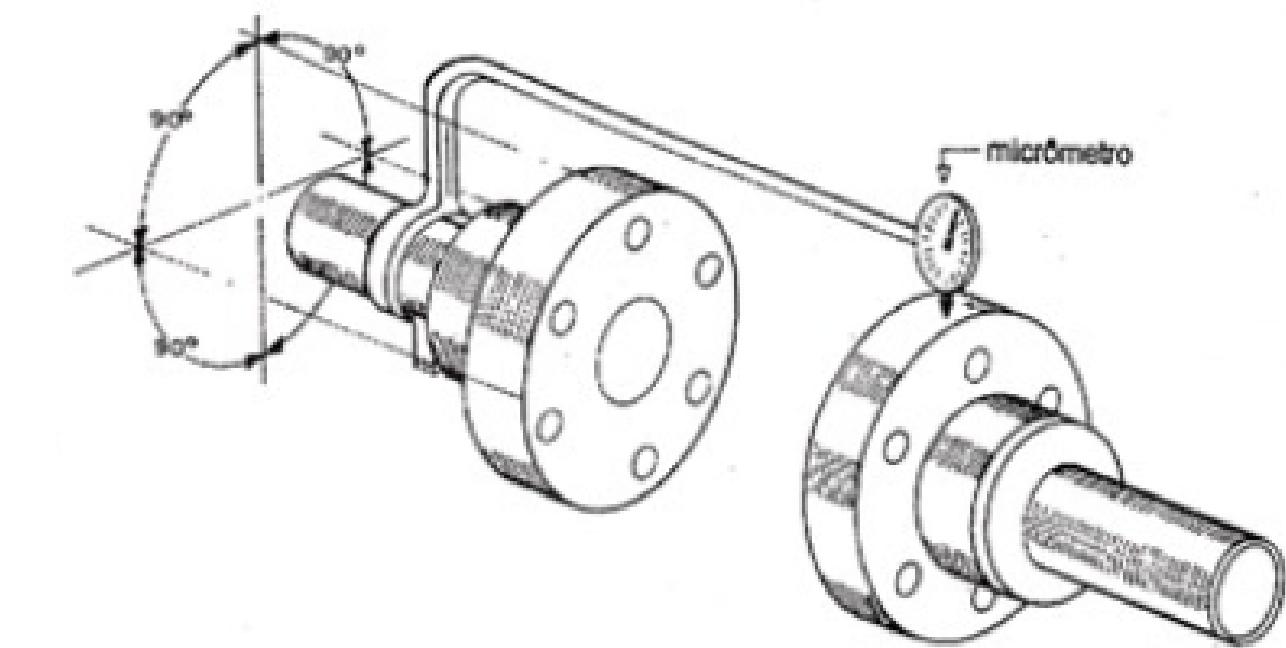
4. Resolução de problemas de vibração

Correção do
desalinham.
radial

Régua e calibrador de lâminas

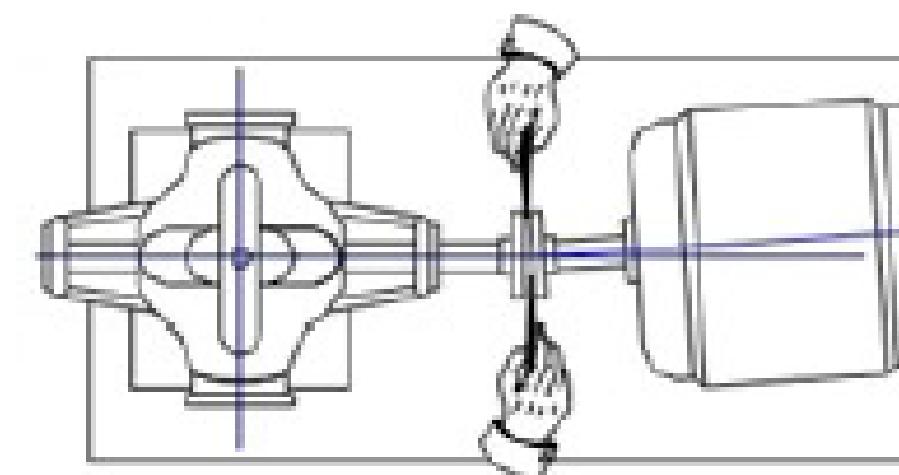
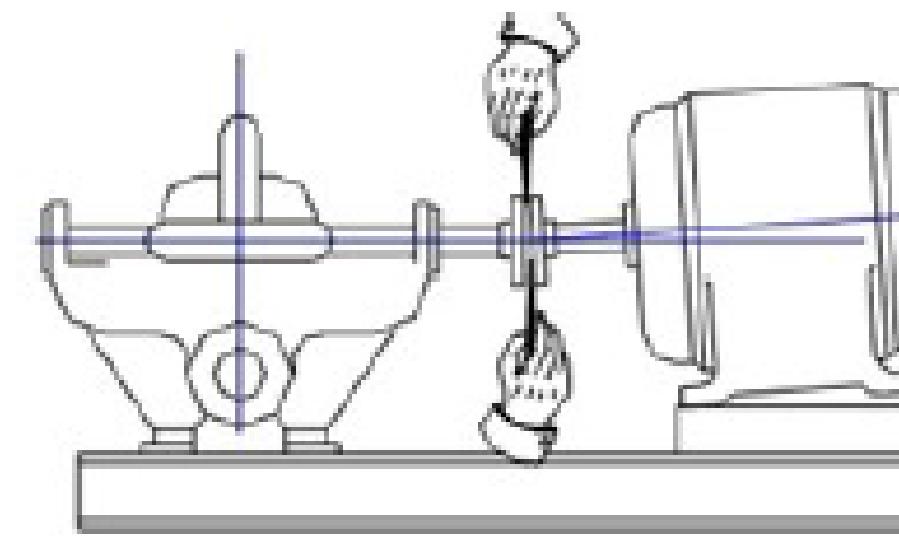


Relógio comparador

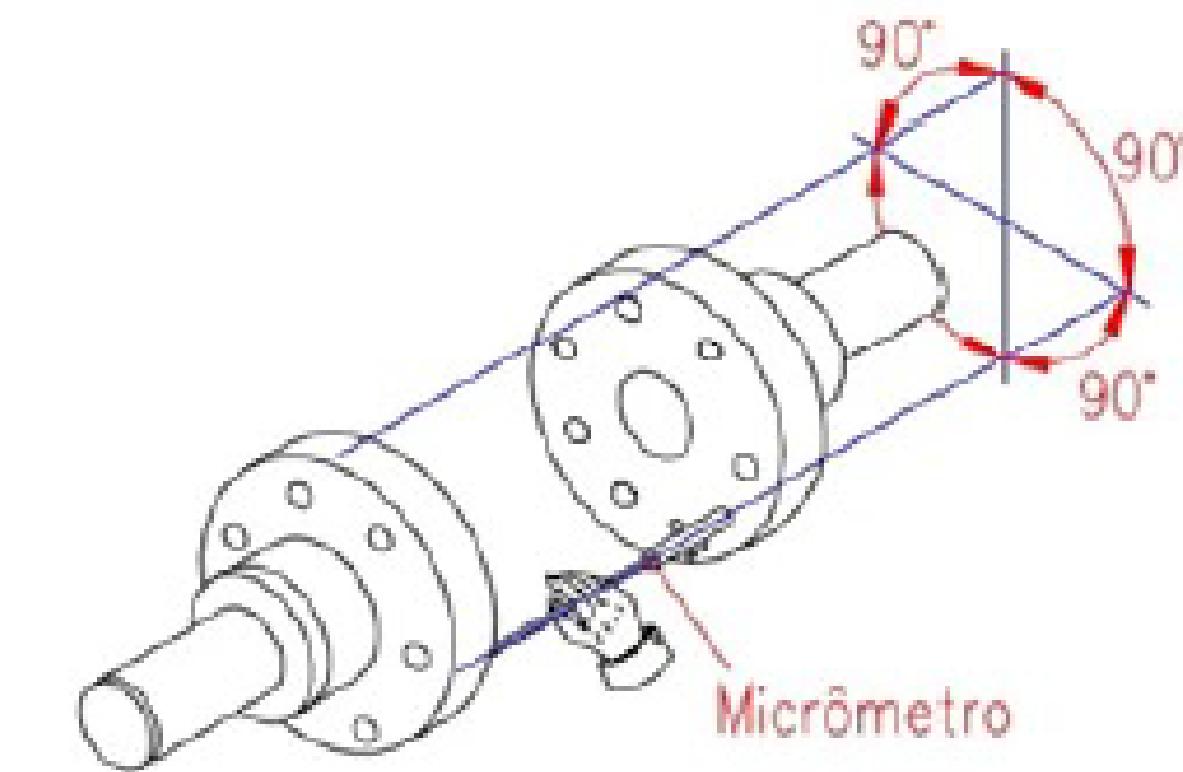


Correção do
desalinham.
axial

Calibres cônicos

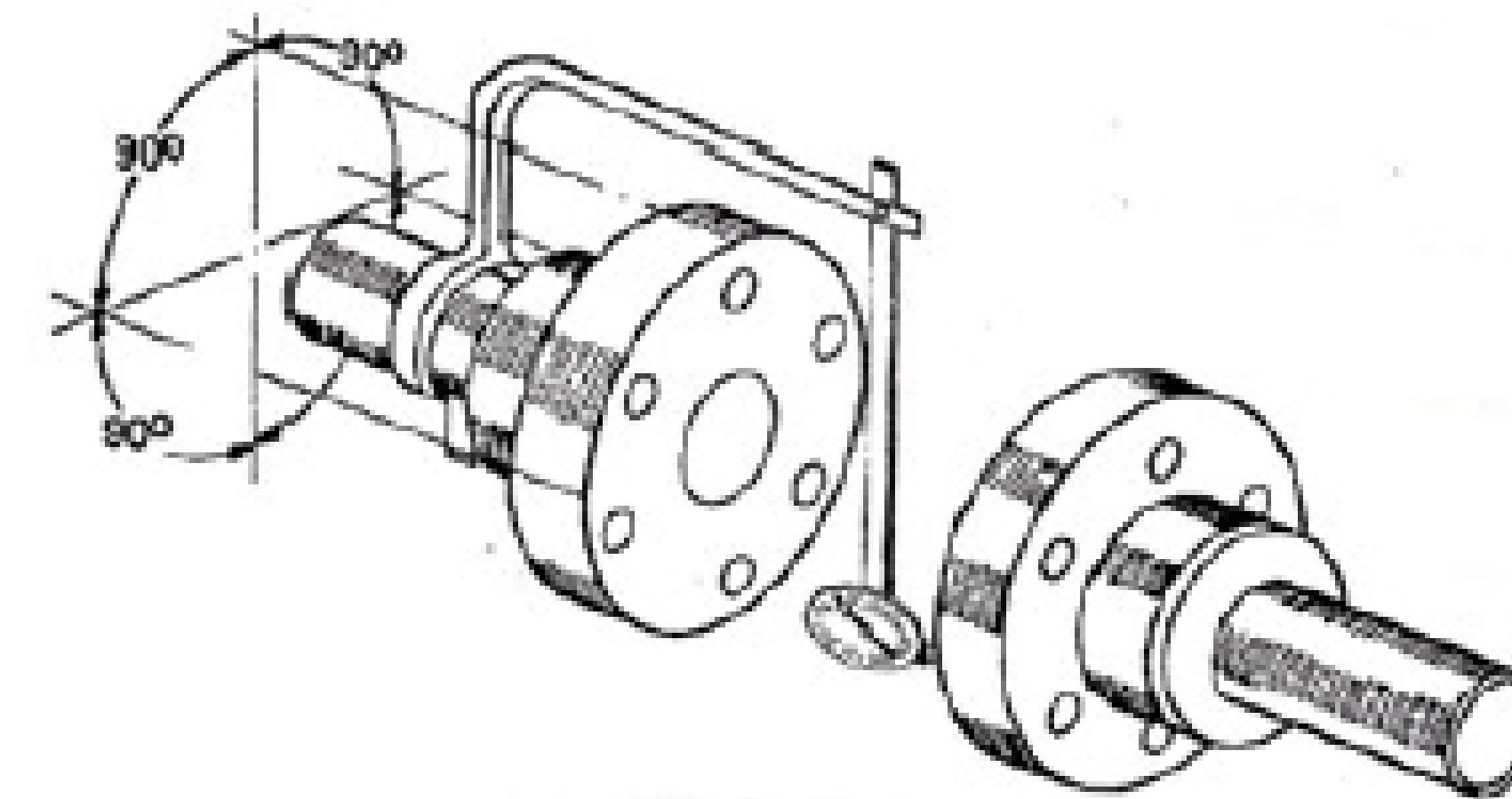


Micrômetro de medidas internas



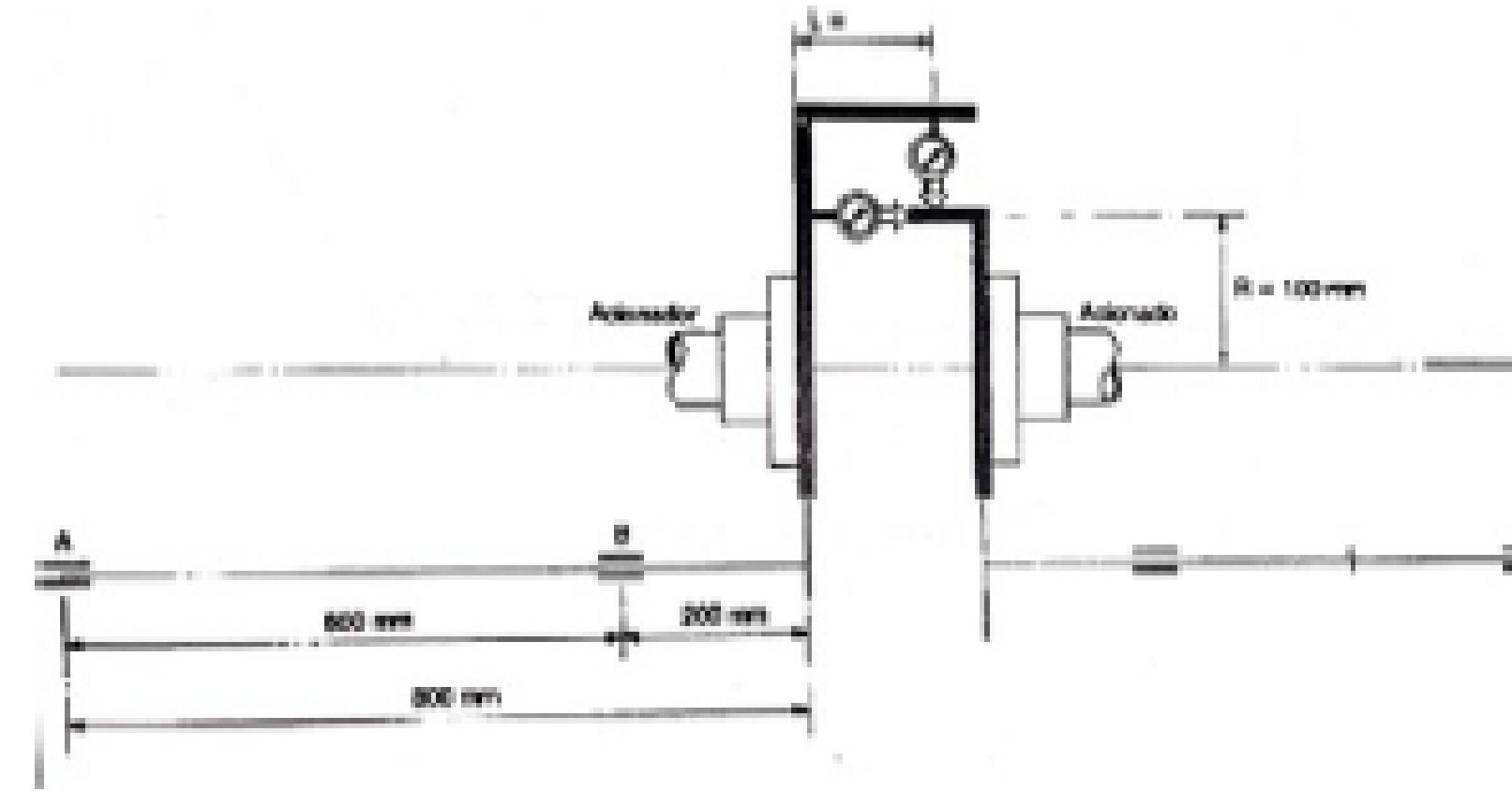
Correção do
desalinhamento.
axial

Relógio comparador

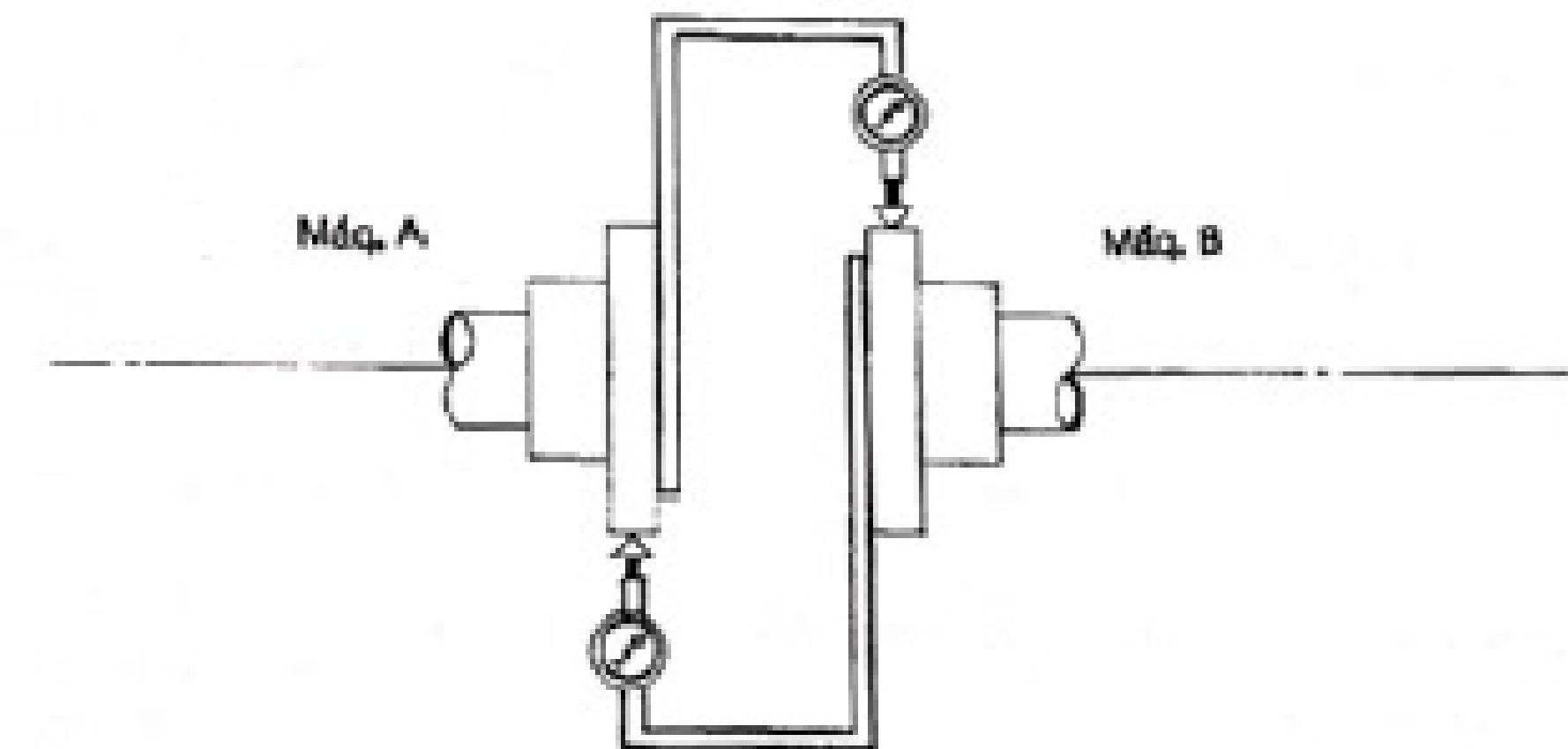


Correção do
desalinhamento.

Desalinhamento misto



Método reverso



Desbalanceamento



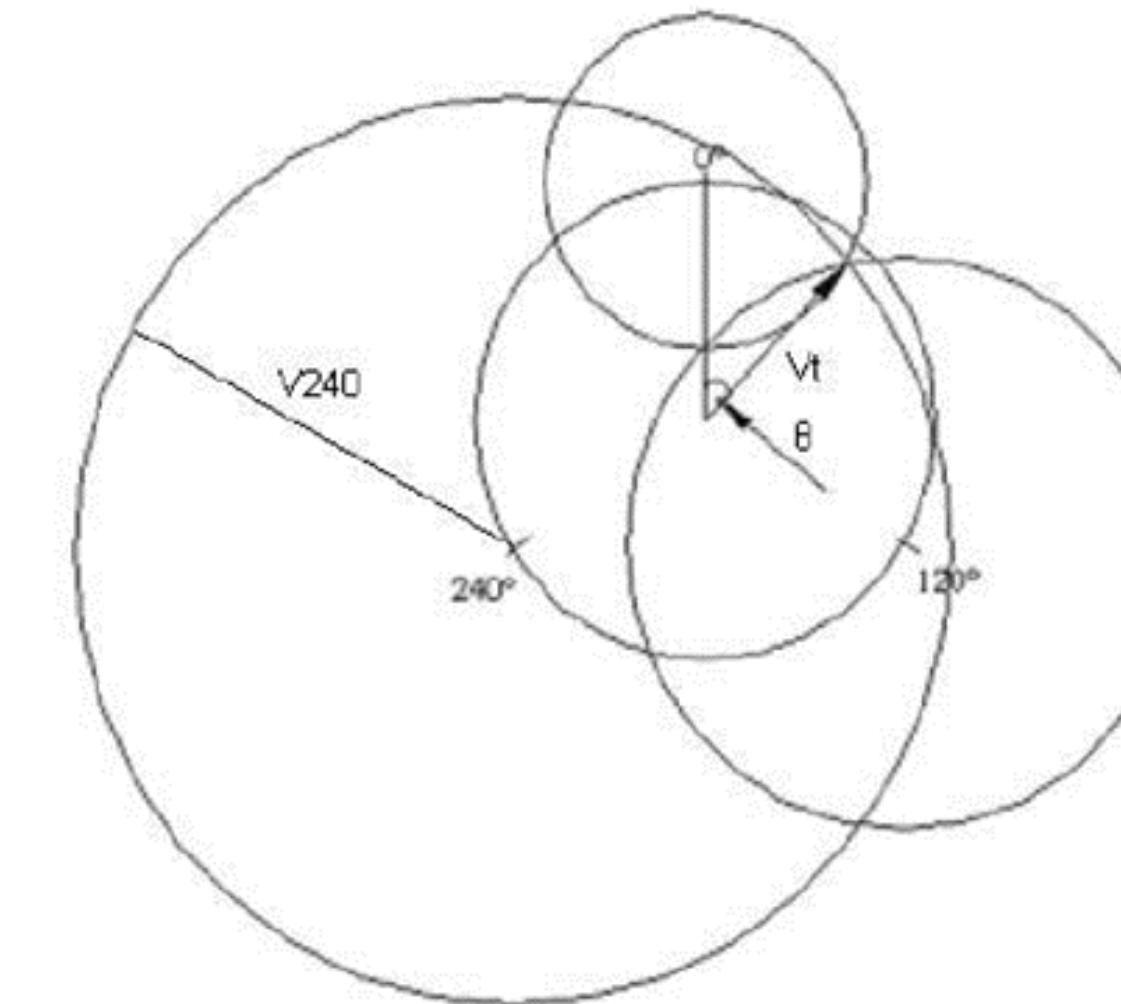
3. Resolução de problemas de vibração

Máquinas balanceadoras

São aplicáveis para equipamentos de grande porte ou com rotações muito elevadas, sendo dos seguintes tipos:

- balanceadoras estáticas: corrigem o desbalanceamento estático, aplicando uma força vertical sobre o centro de massa do rotor, deslocando-o verticalmente para baixo e, assim, possibilitando a identificação da massa em excesso;
- balanceadoras dinâmicas: podem solucionar todos os tipos de desbalanceamento, indicando a correção por meio da medição da força exercida pela massa extra.

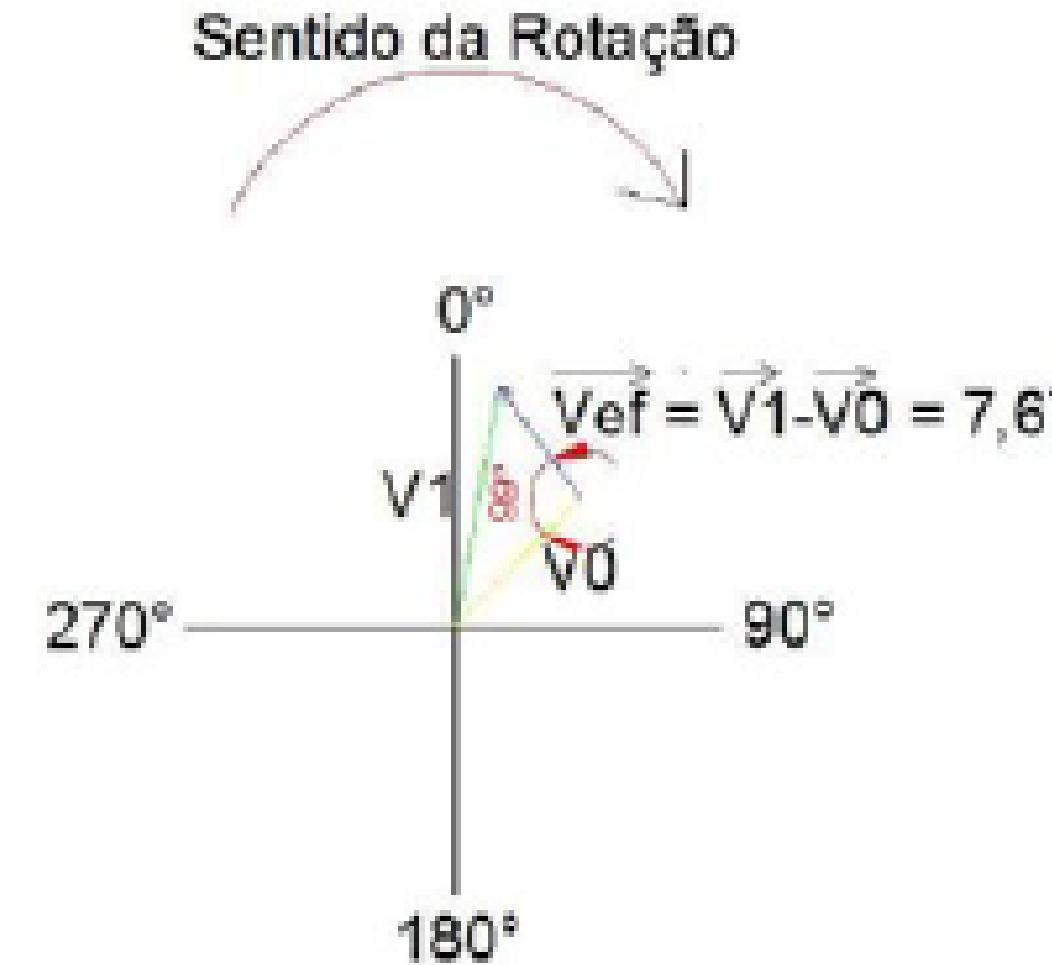
Método dos Três Pontos



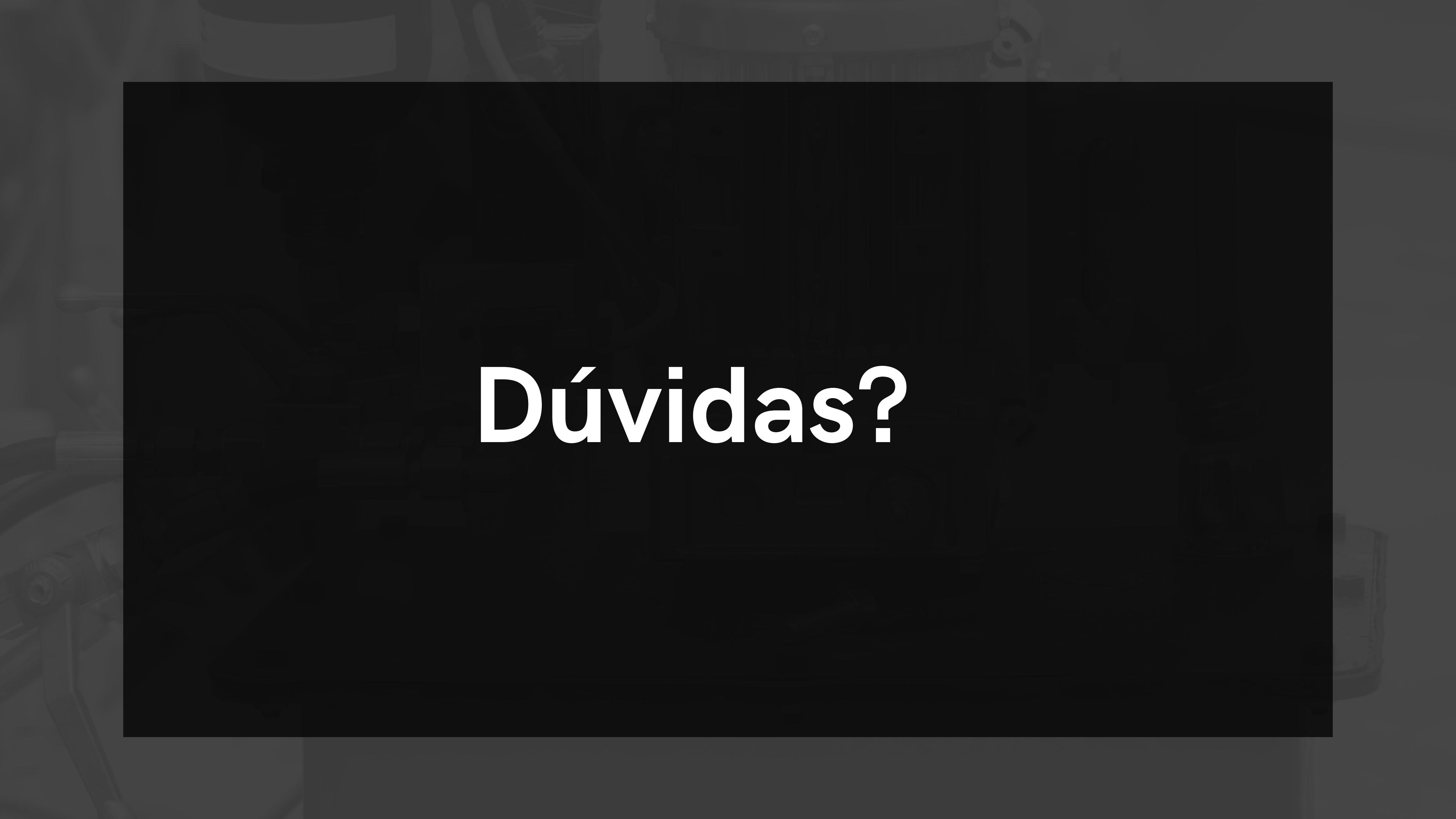
$$m_c = \frac{V}{V_t} m_t$$

Desbalanceamento

Método dos Coeficientes de Influência



$$m_c = \frac{V_0}{V_{ef}} m_t$$



Dúvidas?

Obrigado!