

# Análise de vibrações

Um especialista em manutenção preditiva foi chamado para monitorar uma máquina em uma empresa. Ele colocou sensores em pontos estratégicos da máquina e coletou, em um registrador, todos os tipos de vibrações emitidos por ela.

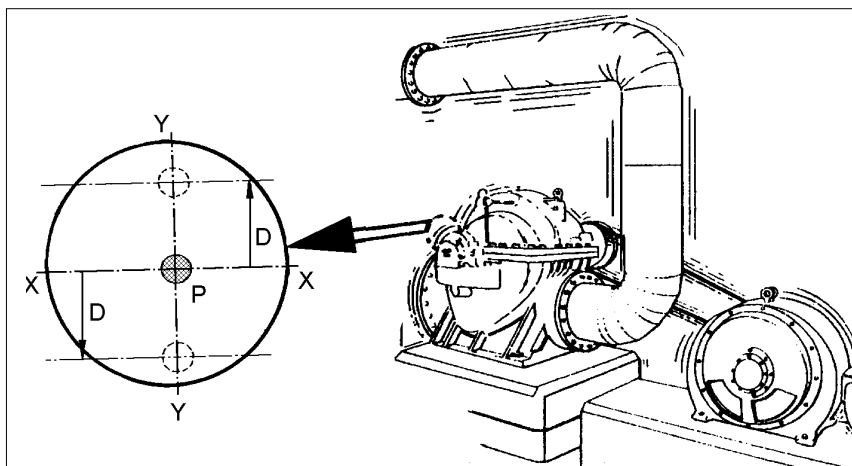
Depois de algumas horas de acompanhamento, o especialista analisou os dados coletados e detectou, com base nos parâmetros já existentes, que havia uma falha em um mancal de rolamento.

Como é possível, por meio de vibrações, detectar falhas em componentes de máquinas?

Nesta aula veremos como detectar falhas de componentes de máquinas por meio da análise de vibrações.

## Vibração mecânica

Para compreender os fundamentos do princípio da análise de vibrações, será preciso compreender o que é vibração mecânica. Leia atentamente o que se segue, orientado-se pela figura abaixo, que mostra um equipamento sujeito a vibrações.



Pois bem, vibração mecânica é um tipo de movimento, no qual se considera uma massa reduzida a um ponto ou partícula submetida a uma força. A ação de uma força sobre o ponto obriga-o a executar um movimento vibratório.

No detalhe da figura anterior, o ponto P, quando em repouso ou não estimulado pela força, localiza-se sobre o eixo x. Sendo estimulado por uma força, ele se moverá na direção do eixo y, entre duas posições limites, equidistantes de x, percorrendo a distância 2D, isto é, o ponto P realiza um movimento oscilatório sobre o eixo x.

Para que o movimento oscilatório do ponto P se constitua numa **vibração**, ele deverá percorrer a trajetória **2 D**, denominada trajetória completa ou ciclo, conhecida pelo nome de **período de oscilação**.

Com base no detalhe da ilustração, podemos definir um **deslocamento** do ponto P no espaço. Esse deslocamento pode ser medido pelo grau de distanciamento do ponto P em relação à sua posição de repouso sobre o eixo x. O deslocamento do ponto P implica a existência de uma **velocidade** que poderá ser variável. Se a velocidade for variável, existirá uma certa **aceleração** no movimento.

### Deslocamento

De acordo com o detalhe mostrado na ilustração, podemos definir o deslocamento como a medida do grau de distanciamento instantâneo que experimenta o ponto P no espaço, em relação à sua posição de repouso sobre o eixo x. O ponto P alcança seu valor máximo D, de um e do outro lado do eixo x. Esse valor máximo de deslocamento é chamado de **amplitude** de deslocamento, sendo medida em micrometro ( $\mu\text{m}$ ). **Atenção:**  $1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ mm}$

Por outro lado, o ponto P realiza uma trajetória completa em um ciclo, denominado **período de movimento**, porém não é usual se falar em período e sim em **freqüência de vibração**.

Freqüência é a quantidade de vezes, por unidade de tempo, em que um fenômeno se repete. No caso do ponto P, a freqüência é a quantidade de ciclos que ela realiza na unidade de tempo. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de freqüência recebe o nome de **hertz (Hz)**, que equivale a um ciclo por segundo.

Na literatura mecânica é comum encontrarmos rotações por minuto (rpm) e ciclos por minuto (cpm) como unidades de freqüência. Essas unidades podem ser aceitas, considerando-se que o movimento de rotação do eixo é a causa, em última instância, da existência de vibrações em uma máquina, e aceitar que quando o eixo completa uma rotação, o ponto P descreverá um número inteiro de trajetórias completas ou ciclos.

### Velocidade

O ponto P tem sua velocidade nula nas posições da amplitude máxima de deslocamento e velocidade máxima quando passa pelo eixo x, que é a posição intermediária de sua trajetória. No SI, a unidade de velocidade é metros/segundo (m/s). No caso particular do ponto P, a velocidade é expressa em **mm/s**.

### **Aceleração**

Como a velocidade do ponto P varia no decorrer do tempo, fica definida uma certa aceleração para ele.

A variação máxima da velocidade é alcançada pelo ponto P em um dos pontos extremos de sua trajetória, isto é, ao chegar à sua elongação máxima D. Nessas posições extremas, a velocidade não somente muda de valor absoluto, como também de sentido, já que neste ponto ocorre inversão do movimento.

A aceleração do ponto P será nula sobre o eixo x, pois sobre ele o ponto P estará com velocidade máxima.

Resumindo, o movimento vibratório fica definido pelas seguintes grandezas: deslocamento, velocidade, aceleração, amplitude e frequência.

### **Possibilidades da análise de vibrações**

Por meio da medição e análise das vibrações existentes numa máquina em operação, é possível detectar com antecipação a presença de falhas que podem comprometer a continuidade do serviço, ou mesmo colocar em risco sua integridade física ou a segurança do pessoal da área.

A aplicação do sistema de análise de vibrações permite detectar e acompanhar o desenvolvimento de falhas nos componentes das máquinas. Por exemplo, pela análise de vibrações constatam-se as seguintes falhas:

- rolamentos deteriorados;
- engrenagens defeituosas;
- acoplamentos desalinhados;
- rotores desbalanceados;
- vínculos desajustados;
- eixos deformados;
- lubrificação deficiente;
- folgas excessivas em buchas;
- falta de rigidez;
- problemas aerodinâmicos ou hidráulicos;
- cavitação;
- desbalanceamento de rotores de motores elétricos.

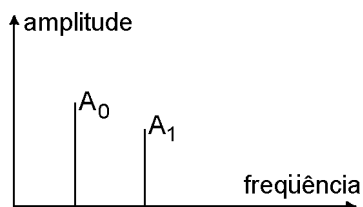
O registro das vibrações das estruturas é efetuado por meio de sensores ou captadores colocados em pontos estratégicos das máquinas. Esses sensores transformam a energia mecânica de vibração em sinais elétricos. Esses sinais elétricos são, a seguir, encaminhados para os aparelhos registradores de vibrações ou para os aparelhos analisadores de vibrações.

Os dados armazenados nos registradores e nos analisadores são, em seguida, interpretados por especialistas, e desse modo obtém-se uma verdadeira radiografia dos componentes de uma máquina, seja ela nova ou velha .

A análise das vibrações também permite, por meio de comparação, identificar o aparecimento de esforços dinâmicos novos, consecutivos a uma degradação em processo de desenvolvimento.

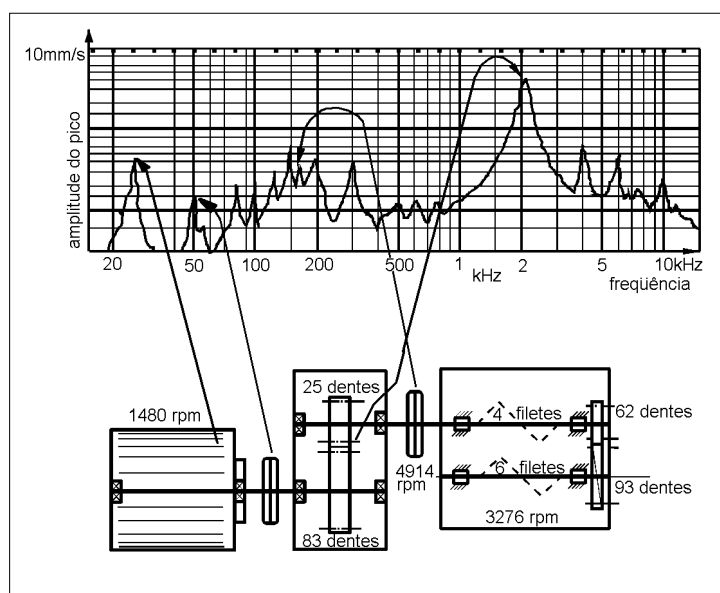
Os níveis de vibrações de uma máquina podem ser representados de várias maneiras, porém a maneira mais usual de representação é a espectral ou freqüencial, em que a amplitude da vibração é dada de acordo com a freqüência.

Graficamente temos:



No ponto  $A_0$  temos a amplitude de uma certa vibração, e no ponto  $A_1$  a amplitude de uma outra vibração. Desse modo, em um espectro todos os componentes de um nível vibratório são representados sob a forma de picos que nos permitem seguir, individualmente, a variação da amplitude de cada vibração e discriminar, sem mascaramentos, os defeitos em desenvolvimento nos componentes das máquinas.

A figura a seguir mostra um gráfico real de uma análise espectral. Esse gráfico foi gerado por um analisador de vibrações completo.



### Análise espectral das principais anomalias

As anomalias espectrais podem ser classificadas em três categorias:

#### Picos que aparecem nas freqüências múltiplas ou como múltiplos da velocidade desenvolvida pelo rotor

Dentro dessa categoria, os picos são causados pelos seguintes fenômenos:

- desbalanceamento de componentes mecânicos;
- desalinhamento;
- mau ajuste mecânico;

- avarias nas engrenagens;
- turbilhonamento da película de óleo;
- excitação hidrodinâmica;
- mau estado da correia de transmissão.

O fenômeno do desbalanceamento é a causa mais comum das vibrações, sendo caracterizado por uma forte vibração radial que apresenta a mesma frequência de rotação do rotor.

O desalinhamento também é bastante comum em máquinas e provoca vibrações na mesma frequência de rotação do rotor, ou em frequências múltiplas, notadamente no caso de dentes acoplados .

Quando se tem um mau ajuste mecânico de um mancal, por exemplo, ou quando ocorre a possibilidade de um movimento parcial dele, no plano radial surge uma vibração numa frequência duas vezes maior que a velocidade de rotação do eixo. Essa vibração aparece por causa do efeito de desbalanceamento inicial e pode adquirir uma grande amplitude em função do desgaste do mancal.

No caso de engrenamento entre uma coroa e um pinhão, por exemplo, ocorrerá sempre um choque entre os dentes das engrenagens. Isto gera uma vibração no conjunto, cuja frequência é igual à velocidade de rotação do pinhão multiplicado pelo seu número de dentes.

O mau estado de uma correia em "V" provoca variação de largura, sua deformação etc., e como consequência faz surgir variações de tensão que, por sua vez, criam vibrações de frequência iguais àquela da rotação da correia. Se as polias não estiverem bem alinhadas, haverá um grande componente axial nessa vibração.

### **Picos que aparecem em velocidades independentes da velocidade desenvolvida pelo rotor**

Os principais fenômenos que podem criar picos com frequências não relacionadas à frequência do rotor são causados pelos seguintes fatores:

**Vibração de máquinas vizinhas** – O solo, bem como o apoio de alvenaria que fixa a máquina, pode transmitir vibração de uma máquina para outra.

**Vibrações de origem elétrica** – As vibrações das partes metálicas do estator e do rotor, sob excitação do campo eletromagnético, produzem picos com frequências iguais às daquele rotor. O aumento dos picos pode ser um indício de degradação do motor; por exemplo, diferenças no campo magnético do indutor devido ao número desigual de espiras no enrolamento do motor.

**Ressonância da estrutura ou eixos** – Cada componente da máquina possui uma frequência própria de ressonância. Se uma excitação qualquer tiver uma frequência similar àquela de ressonância de um dado componente, um pico aparecerá no espectro.

As máquinas são sempre projetadas para que tais frequências de ressonância não se verifiquem em regime normal de funcionamento, aceitando-se o seu aparecimento somente em regimes transitórios.

### **Densidade espectral proveniente de componentes aleatórios da vibração**

Os principais fenômenos que provocam modificações nos componentes aleatórios do espectro são os seguintes:

**Cavitação** – Esse fenômeno hidrodinâmico induz vibrações aleatórias e é necessário reconhecê-las de modo que se possa eliminá-las, modificando-se as características de aspiração da bomba. A cavitação pode ser também identificada pelo ruído característico que produz.

**Escamação dos rolamentos** – A escamação de uma pista do rolamento provoca choques e uma ressonância do mancal que é fácil de identificar com um aparelho de medida de ondas de choque.

Na análise espectral, esse fenômeno aparece nas altas frequências, para uma densidade espectral que aumenta à medida que os rolamentos deterioram.

Se a avaria no rolamento fosse em um ponto apenas, seria possível ver um pico de frequência ligada à velocidade do rotor e às dimensões do rolamento (diâmetro das pistas interiores e exteriores, número de rolamentos etc.), porém isto é muito raro. Na verdade, um único ponto deteriorado promove a propagação da deterioração sobre toda a superfície da pista e sobre outras peças do rolamento, criando, assim, uma vibração do tipo aleatória.

**Atrito** - O atrito gera vibrações de frequência quase sempre elevada. O estado das superfícies e a natureza dos materiais em contato têm influência sobre a intensidade e a frequência das vibrações assim criadas. Parâmetros deste tipo são frequentemente esporádicos, difíceis de analisar e de vigiar.

A tabela a seguir resume as principais anomalias ligadas às vibrações.

CAUSA	VIBRAÇÃO		OBSERVAÇÕES
	FREQÜÊNCIA	DIREÇÃO	
Turbilhão de óleo	De 0,42 a 0,48 X FR  FR = Frequência de rotação	Radial	Unicamente sobre mancais lisos hidrodinâmicos com grande velocidade.
Desbalanceamento	1 x FR Radial	Radial	Intensidade proporcional à velocidade de rotação.
Defeito de fixação	1, 2, 3, 4 x FR	Radial	
Defeito de alinhamento	2 x FR	Axial e radial	Vibração axial em geral mais importante, se o defeito de alinhamento contém um desvio angular.
Excitação elétrica	1, 2, 3, 4 x 60Hz	Axial e radial	Desaparece ao se interromper a energia elétrica.
Velocidade crítica de rotação	Frequência crítica do motor	Radial	Aparece em regime transitório e desaparece em seguida.
Correia em mau estado	1, 2, 3, 4 x FR	Radial	
Engrenagens defeituosas	Frequência de engrenamento = F F = n° de dentes x FR árvore	Radial + axial	Banda lateral em torno da frequência de engrenamento.
Pinhão ("falsa volta")	F ± FR pinhão	Radial + axial	Bandas laterais em torno da frequência de engrenamento devido às "falsas voltas".
Excitação hidrodinâmica	Frequência de passagem das pás	Radial e axial	
Deterioração do rolamento	Altas frequências	Radial e axial	Ondas de choque causadas por escamações.

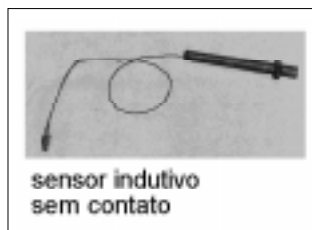
## Sensores ou captadores

Existem três tipos de sensores, baseados em três diferentes sistemas de transdução mecânico-elétricos:

- **sensores eletrodinâmicos:** detectam vibrações absolutas de frequências superiores a 3 Hz (180 cpm).



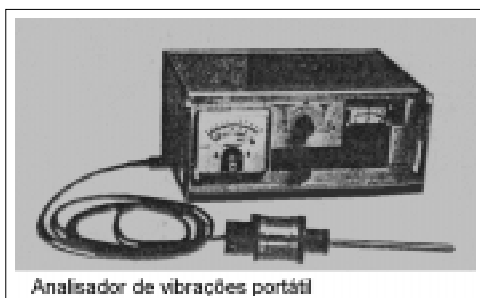
- **sensores piezoelétricos:** detectam vibrações absolutas de frequências superiores a 1 Hz (60 cpm).
- **sensores indutivos (sem contato ou de proximidade):** detectam vibrações relativas desde 0 Hz, podendo ser utilizados tanto para medir deslocamentos estáticos quanto dinâmicos.



## Registradores

Medem a amplitude das vibrações, permitindo avaliar a sua magnitude. Medem, também, a sua frequência, possibilitando identificar a fonte causadora das vibrações.

Os registradores podem ser analógicos ou digitais, e estes últimos tendem a ocupar todo o espaço dos primeiros.



## Analísadores

Existem vários tipos e, entre eles, destacam-se: analisadores de medição global; analisadores com filtros conciliadores (fornecem medidas filtradas para uma gama de frequência escolhida, sendo que existem os filtros de porcentagem constante e os de largura da banda espectral constante) e os analisadores do espectro em tempo real.



Os analisadores de espectro e os softwares associados a eles, com a presença de um computador, permitem efetuar:

- o zoom, que é uma função que possibilita a ampliação de bandas de frequência;
- a diferenciação e integração de dados;
- a comparação de espectros;
- a comparação de espectros com correção da velocidade de rotação.

## Exercícios

Assinale X na alternativa correta.

### Exercício 1

A amplitude do deslocamento de um ponto de uma estrutura de máquina em vibração é medida em:

- a) ( ) micrometro;
- b) ( ) femtometro;
- c) ( ) attometro;
- d) ( ) zeptometro;
- e) ( ) yoctometro.

### Exercício 2

Uma unidade usual de frequência vibracional é o:

- a) ( ) milímetro por segundo;
- b) ( ) ciclo por minuto;
- c) ( ) minuto por minuto;
- d) ( ) segundo por segundo;
- e) ( ) decímetro por hora.

### Exercício 3

O movimento vibratório **não** é determinado apenas pela seguinte grandeza:

- a) ( ) deslocamento;
- b) ( ) velocidade;
- c) ( ) aceleração;
- d) ( ) frequência;
- e) ( ) trabalho.



#### Exercício 4

Por meio de uma análise de vibrações é possível constatar a presença de falhas:

- a) ( ) na viscosidade de um lubrificante;
- b) ( ) na intensidade da força de atrito;
- c) ( ) em mancais de deslizamento e rolamento;
- d) ( ) na tomada do motor da máquina;
- e) ( ) na natureza química dos barramentos.

