Controle das vibrações na construção civil

O conforto acústico através o controle de vibração

Propondo Soluções e
inovando em tecnologia.

Abril de 2016

Algumas definições:

- **Vibração mecânica** (oscilação / posição de equilíbrio).

- **Frequência** (medida em Hz ou CPM).

- **Quantificação**:
  - deslocamento: (em mm ou μm),
  - velocidade: (em mm/s),
  - aceleração: (em g ou m/s2),

- **Medição**: RMS (eficaz), pico ou pico a pico.

www.vibtech.com.br

Incômodos gerados por choque e vibração

- **Para o ser humano**:

O critério ocupação ou conforto humano cf. **ISO 2631**,

- **Para a estrutura**:

As estruturas civis resistem a um nível vibratório bem superior ao desejável para o conforto humano.

O problema estrutural coloca-se somente para:

- Prédios históricos frágeis;
- Construções industriais com equipamentos vibratórios ou de choque;
- Zona sísmica.

www.vibtech.com.br

Incômodos gerados por choque e vibração

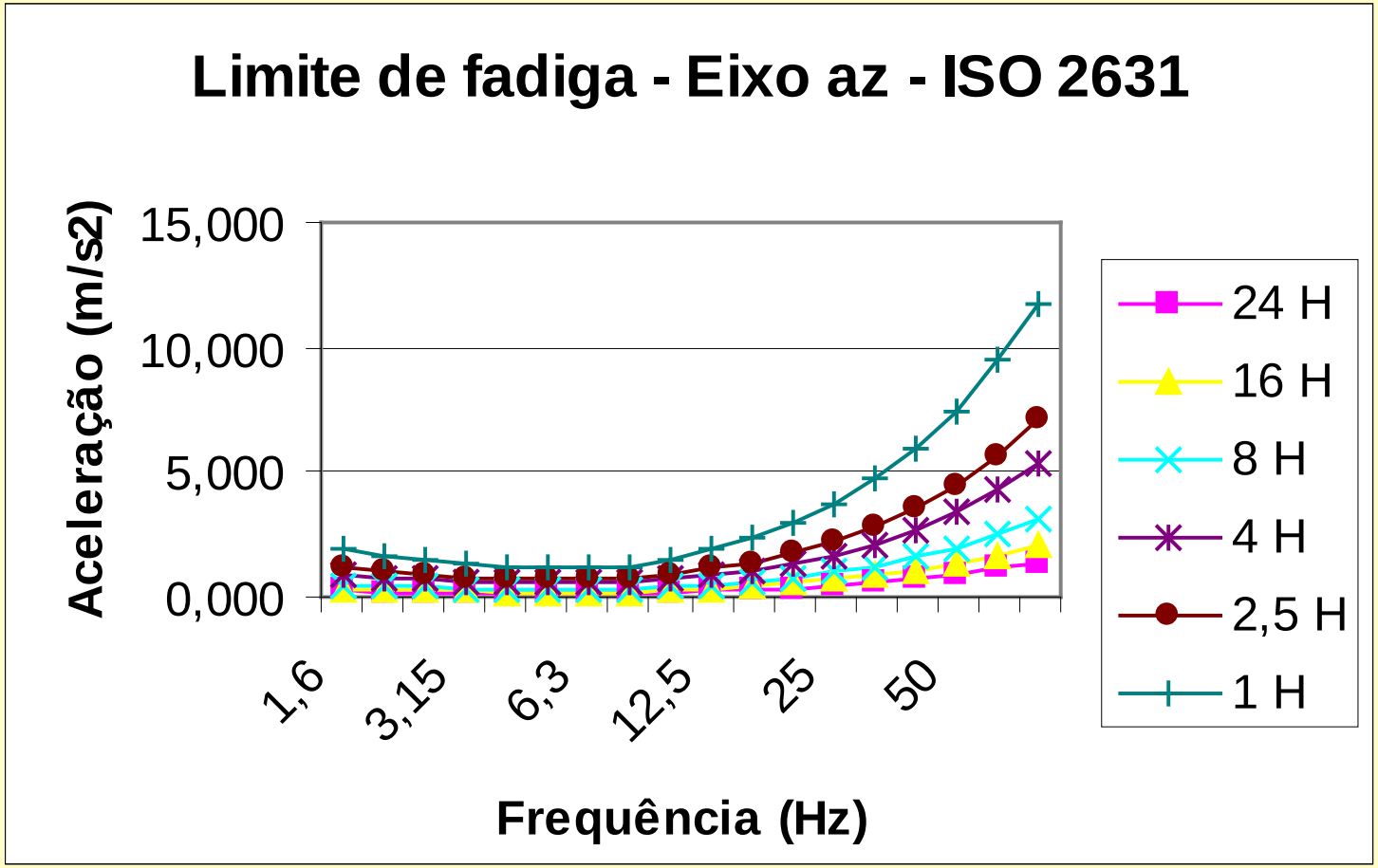
- **Para os equipamentos**:

  Alguns equipamentos (aparelhos de laboratório, microscópios, eletrônicos, hospitalares...) são sensíveis a vibração recebida e devem ser protegidos, segundo critérios de cada um.

- **O ruído** é transmitido via ar e via sólida (‘*structure-borne”*), existe limite de ruído ocupacional e de conforto a critério do cliente (barco de passeio).

www.vibtech.com.br

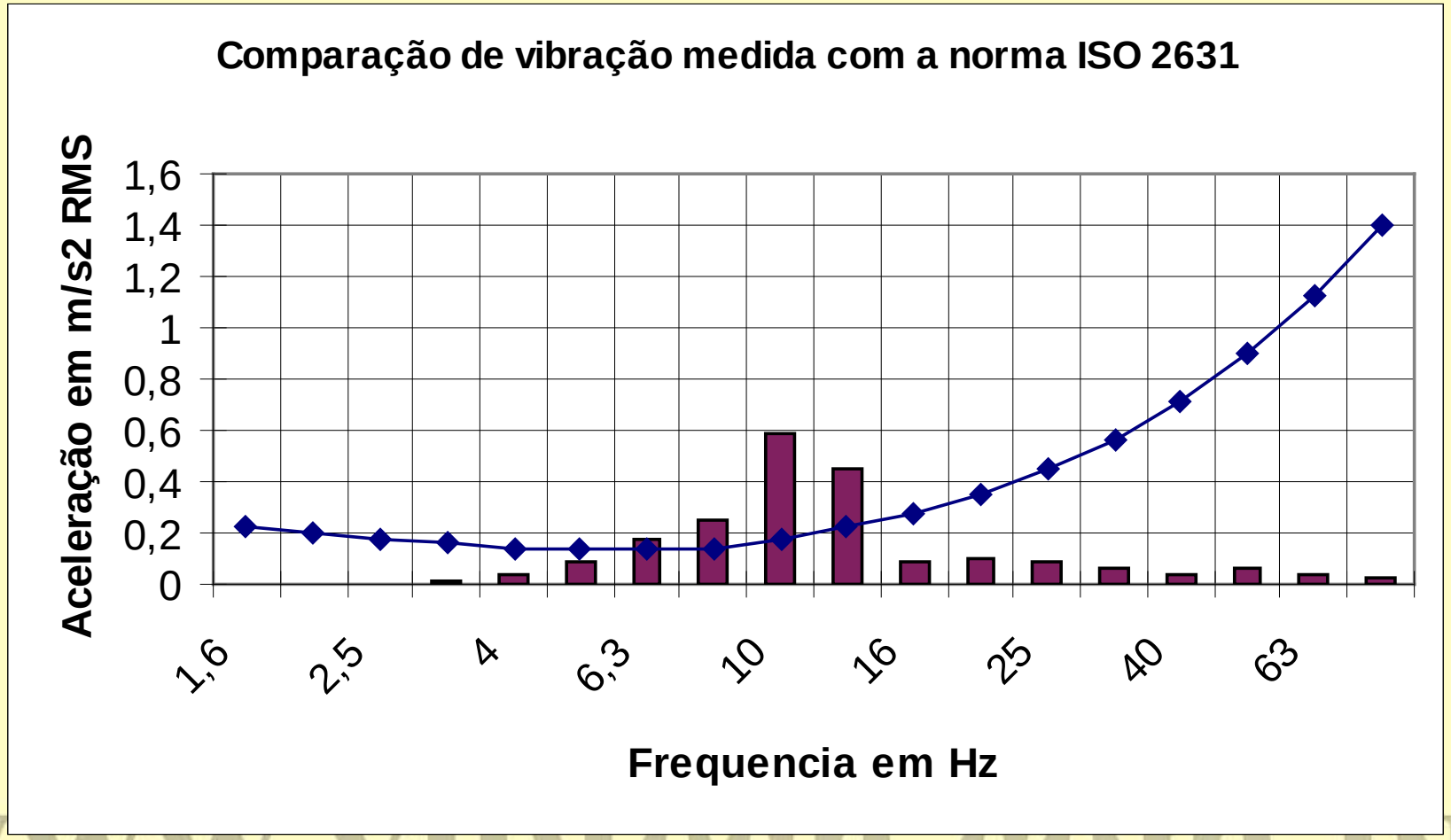
Níveis vibratórios limites definidos na **ISO 2631-78**



O limite depende do tempo de exposição e critério de conforto

www.vibtech.com.br

Incômodos devido a vibração para o ser humano - ISO 2631



www.vibtech.com.br

Critérios das vibrações transmitidas pela atividade ferroviária

TABELA 2			
CRITÉRIOS PARA VIBRAÇÕES MÁXIMAS PROVOCADAS PELA OPERAÇÃO DE TREM			
A – RESIDÊNCIAS E EDIFÍCIOS EM ÁREAS DE PERNOITE			
Categoria da Área da Comunidade	Níveis Máximos de Vibração Transmitida por via sólida (dB re: $25{,}4 \times 10^{-6}$ mm/s) (2)		
	Moradia Unifamiliar	Edifício Multifamiliar	Hotel
I Residencial de baixa densidade	70	70	70
II Residencial de média densidade	70	70	75
III Residencial de alta densidade	70	75	75
IV Comercial	70	75	75
V Industrial/Rodovia	75	75	75

www.vibtech.com.br

Critérios das vibrações transmitidas pela atividade ferroviária

B - EDIFICAÇÕES COM FUNÇÕES ESPECIAIS	
Tipo de Edificação ou Sala	**Níveis Máximos de Vibração Transmitida por via sólida (dB re: $25{,}4 \times 10^{-6}$ mm/s) (2)**
Salas de concerto e estúdios de TV	65
Auditórios e Salas de Música	70
Igrejas e teatros	70-75
Dormitórios de Hospitais	70-75
Tribunais	75
Escolas e Bibliotecas	75
Edifícios de Universidades	75-80
Escritórios	75-80
Edifícios Comerciais e Industriais	75-85
Laboratórios Industriais ou de Pesquisa (sensíveis a vibrações)	60-70
(1) Os critérios se aplicam a vibração vertical de superfícies de piso dentro dos edifícios	
(2) Referência padrão para níveis de velocidade apresentada logaritmicamente em decibéis	
Fonte: Wilson, Ihring & Associates (Adotado por MARTA, WMATA, BARJ, BART, MTA, CTA, NFTA, SCTD E MTDB como critérios de projeto)	

www.vibtech.com.br

Vibrações transmitidas para residências pela atividade industrial.

Em São Paulo o limite aceito pela **CETESB** - gerado por uma atividade industrial e percebido numa residência vizinha é de: **0,3 mm/s pico** para frequência superiores a 10 Hz.

www.vibtech.com.br

Controle de vibrações

Os meios de controle:

- Redução dos esforços perturbadores,
- Modificação estrutural,
- Instalação de ‘absorvedores de vibração’ - TMD
- Amortecimento estrutural.
- A técnica de **assentamento flexível** permite ‘cortar’ a transmissão de vibração via estrutural.

www.vibtech.com.br

Amortecimento

Amortecimento (*Damping*) é um fenômeno no qual uma energia mecânica é dissipada (habitualmente convertida em calor).

Amortecimento tem efeito quando a estrutura é solicitada numa frequência próxima de uma frequência natural da mesma (ressonância).

www.vibtech.com.br

Amortecimento

Existem vários tipo de amortecimento, entre outros:

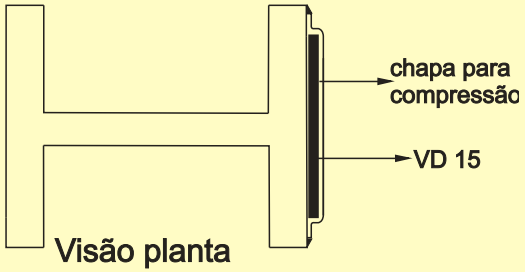
- Visco-elástico (depende da frequência)
- Histerese (independente da frequência)
- Viscoso (interação estrutura-fluído)
- Atrito sólido (Coulomb)
- Deformação plástica

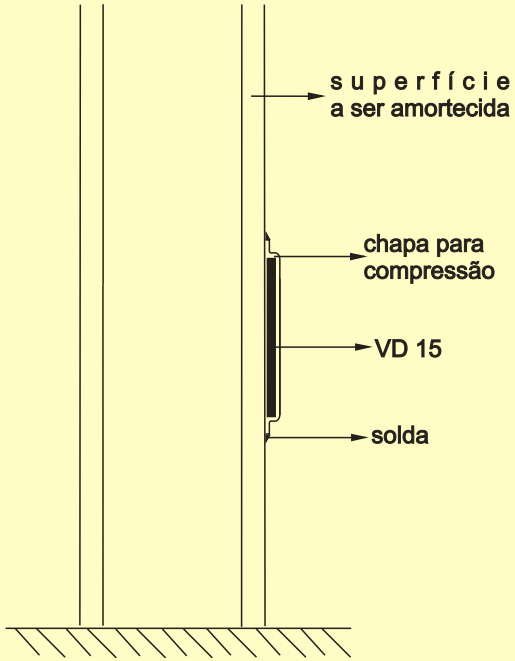
www.vibtech.com.br

Amortecimento estrutural

- Trata-se de reduzir a resposta vibratória de uma estrutura aplicando um material visco-elástico, com alto amortecimento na estrutura vibrante.

- Esse material (deverá ser comprimido por uma contra chapa de maneira a obter o melhor resultado vibro - acústico.





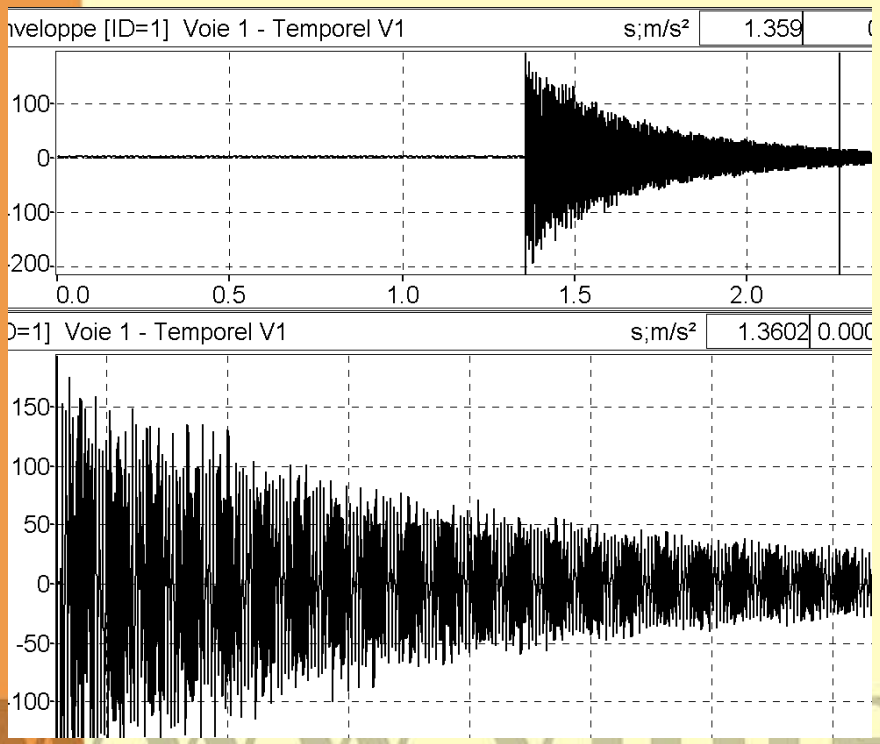
O sistema VD 15 é aplicado em pontos da estrutura metálica

www.vibtech.com.br

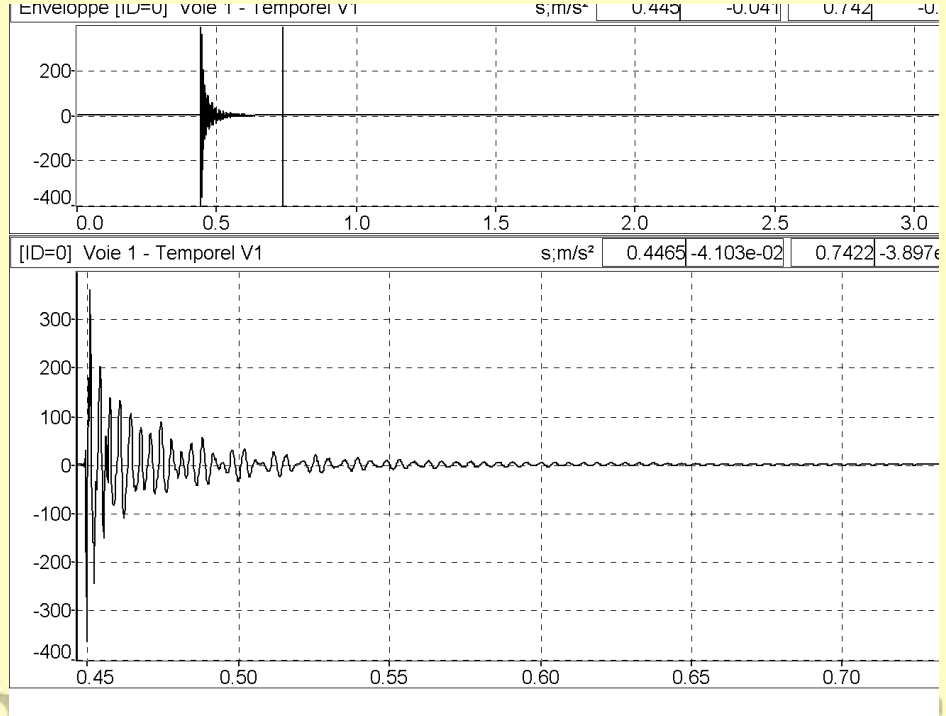
Amortecimento estrutural

Resposta a choque sobre uma mesma chapa de aço de ½”
(contra chapa de 1/8” - espessura de VD 15: 3mm)

Sem revestimento



Com VD 15 e contra chapa



www.vibtech.com.br

Comportamento de um sistema de isolação

Assentamento flexível:

- A vibração ‘perturbadora’ é caracterizada por seu espectro: amplitude (força) em função da frequência.

- Definição da transmissibilidade

$$T = \frac{\text{vibração (força) transmitida}}{\text{vibração (força) aplicada}}$$

www.vibtech.com.br

A isolação ativa

Atua-se sobre a montagem da fonte de vibração (ex. máquina de elevador).

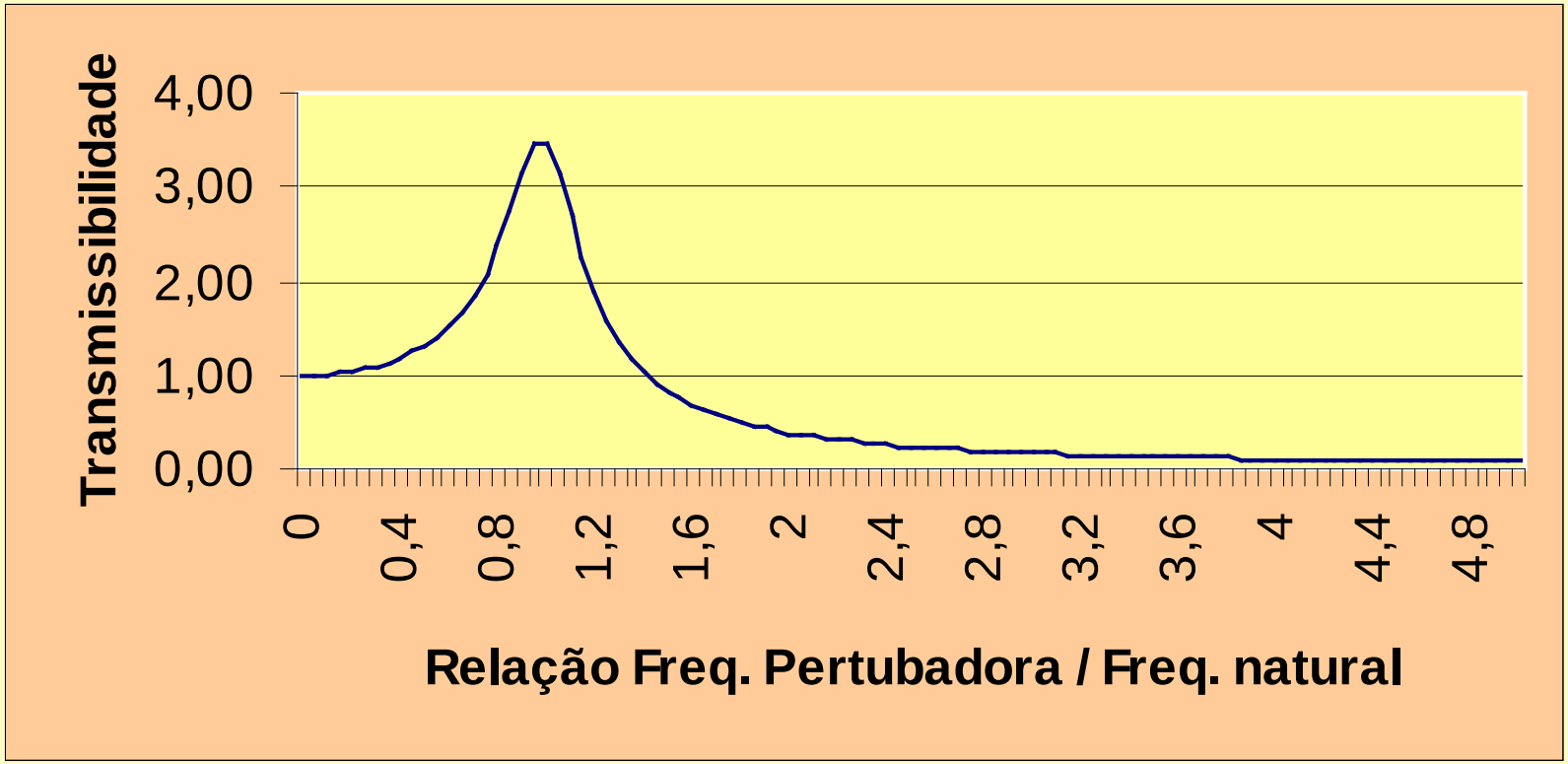
www.vibtech.com.br

Industrial

Isolação passiva de uma máquina de medição de coordenadas vibrações de fabrica.

www.vibtech.com.br

Comportamento gráfico de um sistema de isolação



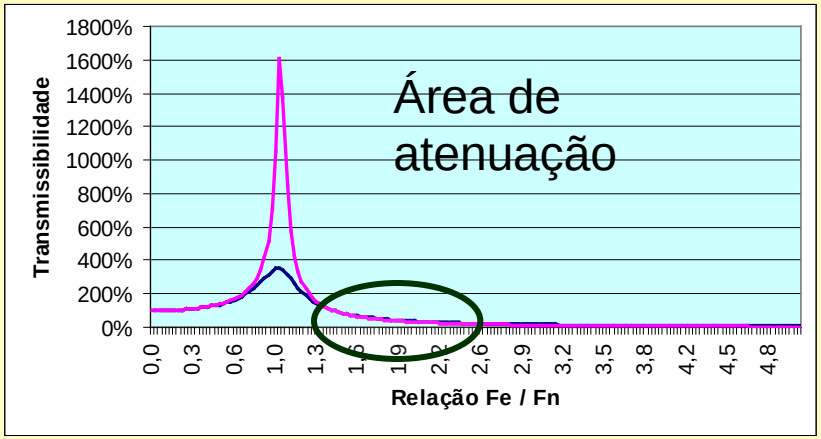
www.vibtech.com.br

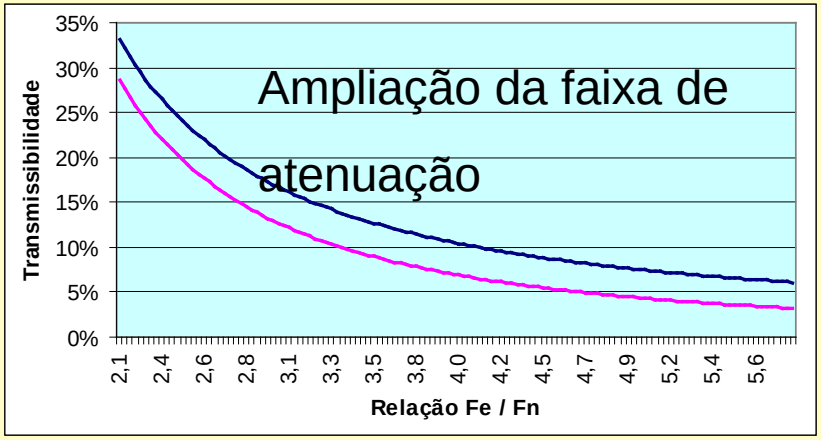
Comportamento gráfico de um sistema de isolação

Curva típica de transmissibilidade em função da frequência com dois níveis de amortecimento.

- Roxo: amortecimento baixo.

- Azul: amortecimento elevado.





www.vibtech.com.br

Comportamento de um sistema de isolação

- Áreas de amplificação e de isolação vibratória.
- Fenômeno de ressonância (amplificação máx.) Frequência natural = Frequência perturbadora
- A frequência natural é o parâmetro relevante de um sistema de isolação vibratória.

www.vibtech.com.br

Comportamento de um sistema de isolação

- As regras básicas:
  - Se a frequência de excitação for inferior à 1,4 vezes a frequência natural do sistema de isolação, haverá <u>amplificação da vibração transmitida</u>.
  - Quanto maior for a relação:

    Frequência perturbadora / Frequência natural, (sendo > 1,4) menor será a transmissibilidade.

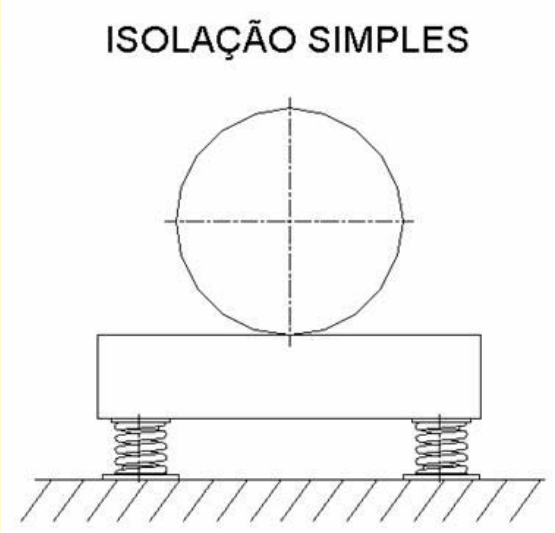
www.vibtech.com.br

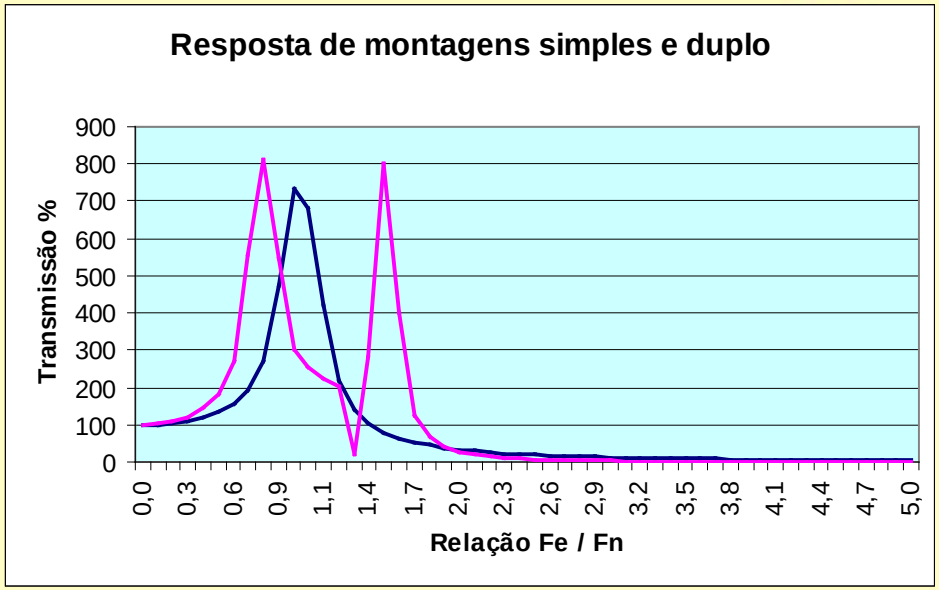
Sistema de isolação:
A regra prática

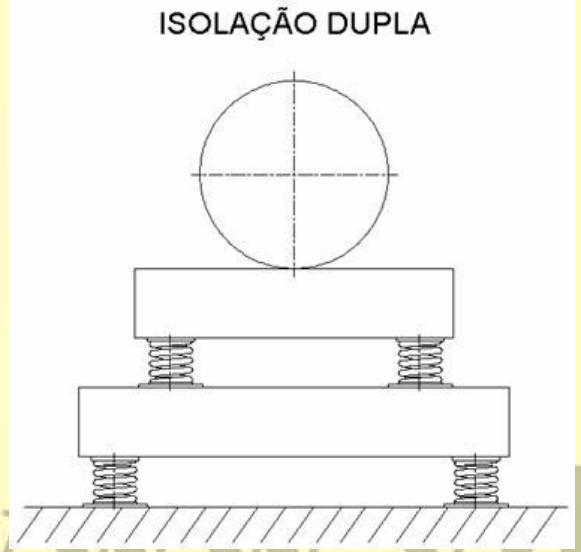
$$\text{Frequência natural dos amortecedores} < \frac{\text{Frequência de excitação}}{2 \text{ a } 6}$$

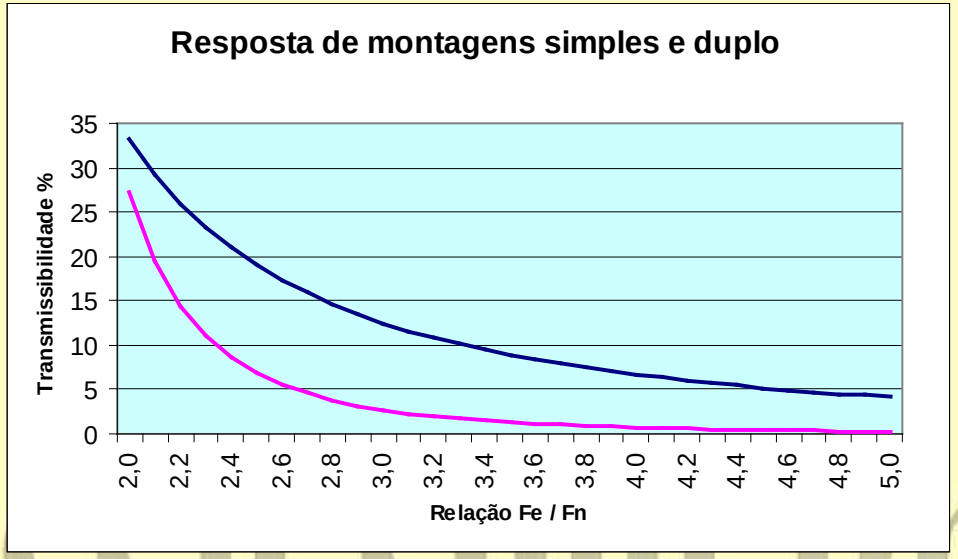
www.vibtech.com.br

Isolação dupla









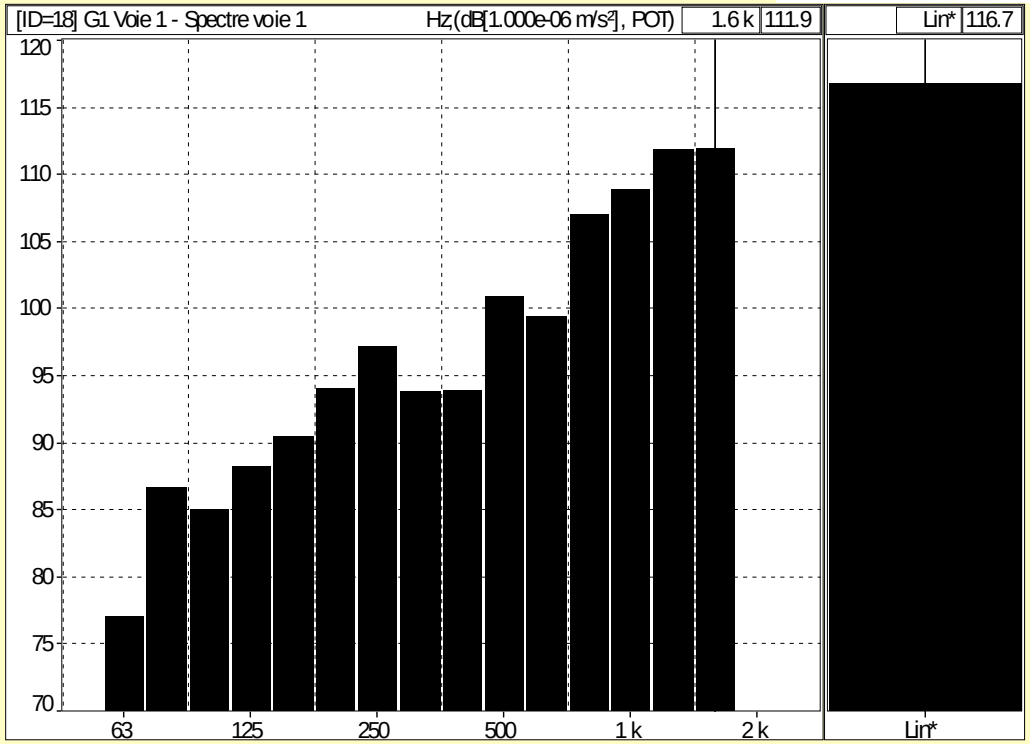
www.vibtech.com.br

Isolação dupla

- Exemplo de isolação dupla de moto-bomba

www.vibtech.com.br

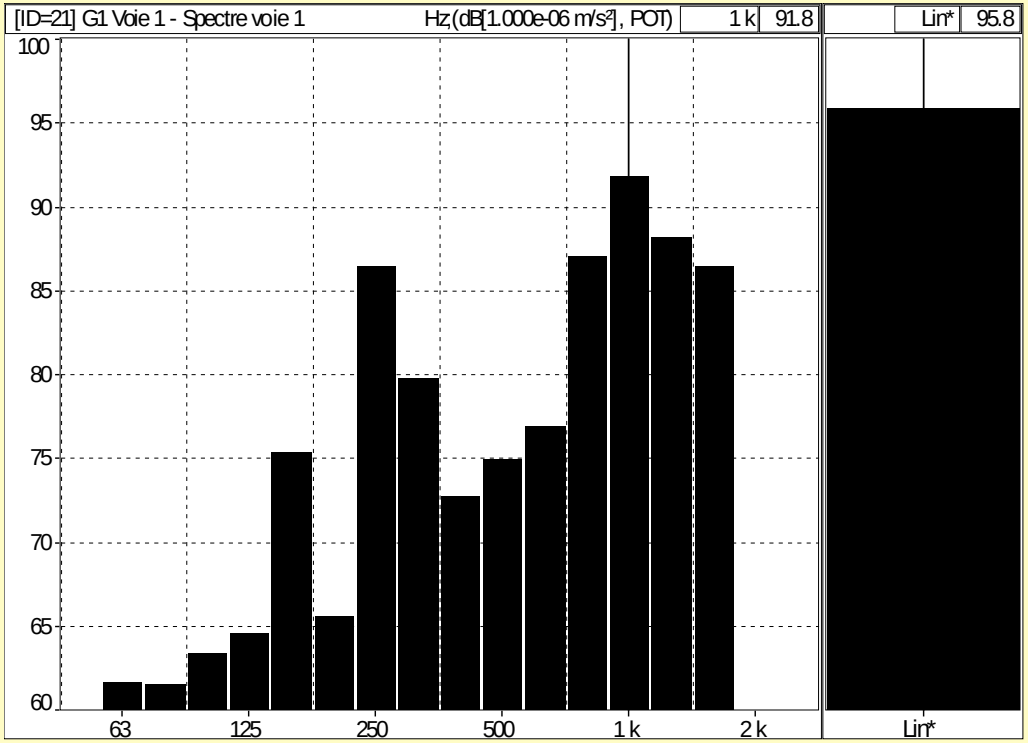
Isolação dupla



- Valor global da vibração no chassi da bomba: 116,7 dB (Ref. (1000×10^{-06} m/s^2) POT. - 0,745 m/s^2 RMS

www.vibtech.com.br

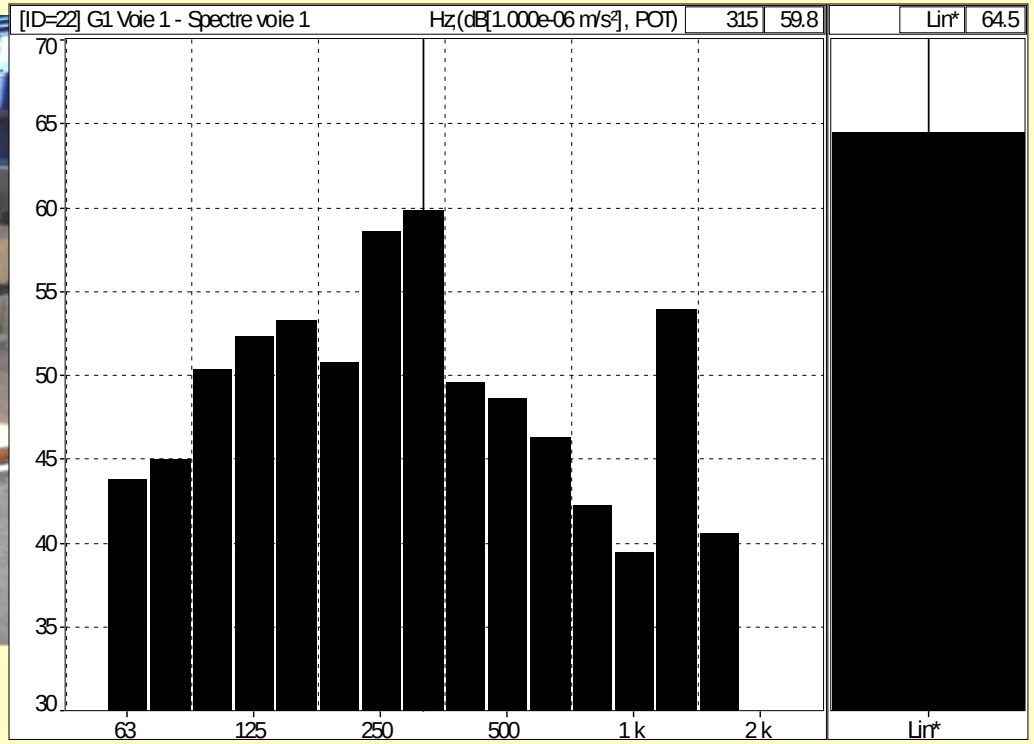
Isolação dupla



- Valor global da vibração na base de concreto: 95,8 dB (Ref. (1000×10^{-06} m/s^2) POT. - 0,0616 m/s^2 RMS.

www.vibtech.com.br

Isolação dupla



- Valor global da vibração na laje estrutural: 64,5 dB (Ref. (1000×10^{-06} m/s^2) POT. - 0,00186 m/s^2 RMS

www.vibtech.com.br

Isolação dupla

Local de medição	Valor encontrado
Local de medição Local de medição Local de medição	116,7 dB - 0,745 m/s^2 RMS 95,8 dB - 0,0616 m/s^2 RMS 64,5 dB - 0,00186 m/s^2 RMS

- Exemplo de instalação
- Inadequada (suporte rígido da tubulação).

www.vibtech.com.br

Definição de um sistema de isolação vibratória

- **Escolha da frequência natural** depende:

  - das **frequências perturbadoras** (rotação).

  - da **sensibilidade das áreas** vizinhas.

  - da **rigidez da fundação** (laje), o ideal:

  rigidez da fundação > 10 x rigidez da suspensão.

www.vibtech.com.br

Graus de isolação - escolha da frequência natural

- **60%** Valor mínimo para equipamentos leves em áreas pouco sensíveis, **Fn < 0,5 x Fe**

- **80%** Isolação industrial em áreas com sensibilidade Média / Baixa, **Fn < 0,4 x Fe**

- **90%** Isolação usada normalmente em áreas comerciais ou residenciais, **Fn < 0,3 x Fe**

- **95%** Isolação crítica para proteção de áreas de grande sensibilidade, **Fn < 0,2 x Fe**

www.vibtech.com.br

Verificar a necessidade de usar uma base de inércia

- Equipamento com esforços dinâmicos importantes / peso.

- Instalar máquinas que foram projetadas contando com assentamento em toda sua área.

<u>Importante</u>: Não é recomendável instalar várias máquinas numa mesma base.

www.vibtech.com.br

Equilibragem da suspensão

- Trata-se de escolher o tipo (índice de carga), e o posicionamento dos amortecedores de maneira que **todos apresentem a mesma deflexão**:

  - Equilibragem com amortecedores de mesmo índice de carga.

  - Equilibragem com amortecedores de índice de carga diferentes.

www.vibtech.com.br

Ligações das máquinas com o ambiente “externo”

- Todas as ligações devem ser feitas através de elementos flexíveis.

- Klig. < Ksusp./10

www.vibtech.com.br

Ligações das máquinas com o ambiente “externo”

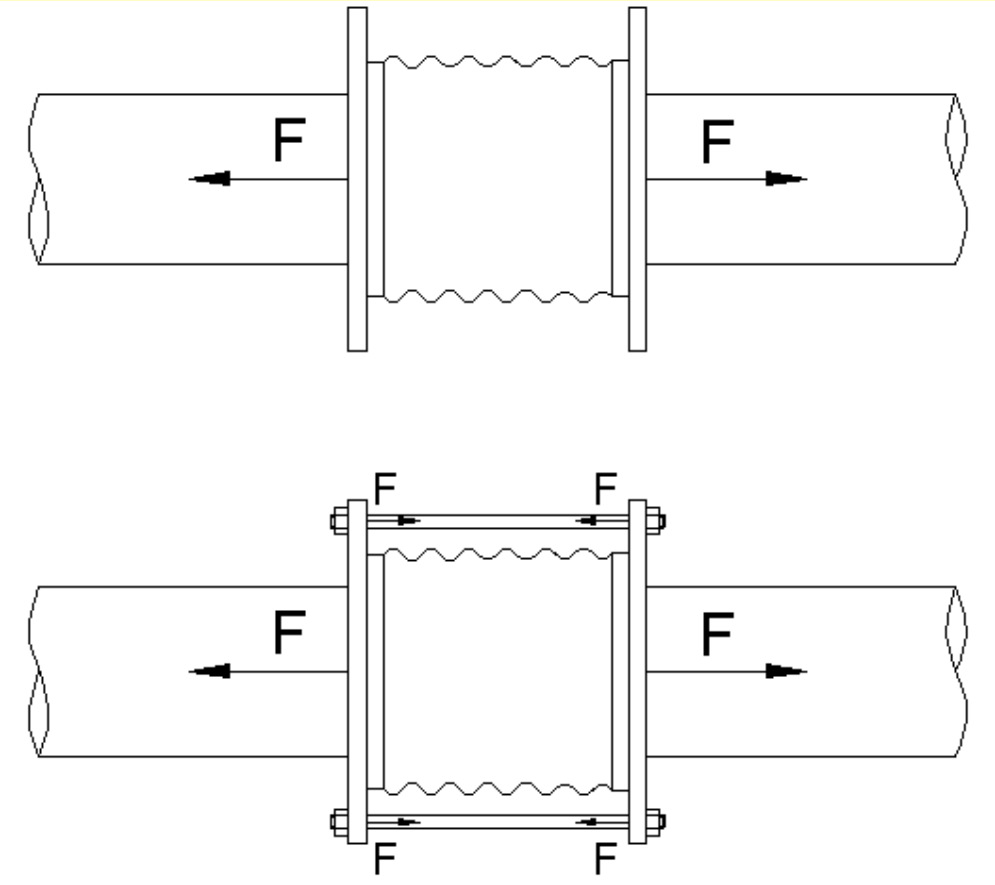
- A maior dificuldade encontra-se nas ligações de tubulação de água.
- As juntas flexíveis geram uma descontinuidade mecânica.
- A pressão interna gera um **esforço axial**
- (= pressão x área da tubulação)
- “Atirantar” as juntas é um paliativo.

www.vibtech.com.br

Ligações das máquinas com o ambiente “externo”

– Sem tirantes os esforços devidos a pressão são transmitidos a tubulação.

– Com os tirantes os esforços se compensam, porém a junta deixa de ser flexível.



www.vibtech.com.br

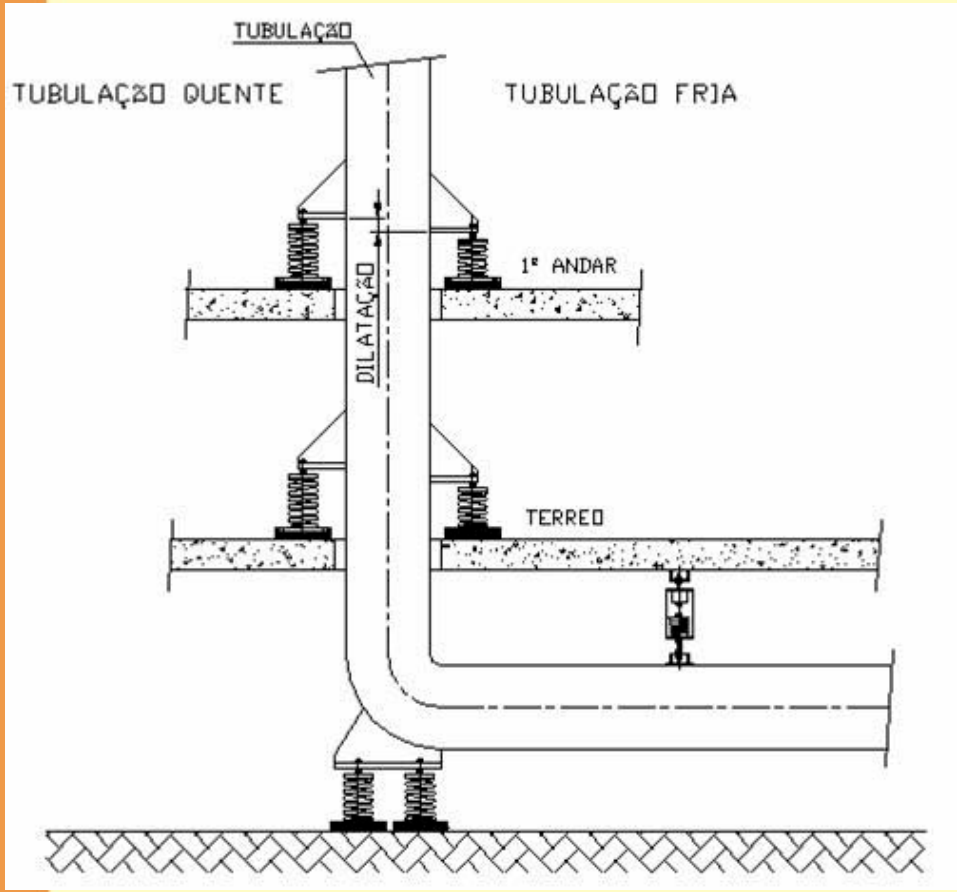
Suspensão da tubulação

Pendurais

Tubulação suportada por isoladores de molas

www.vibtech.com.br

O caso das prumadas



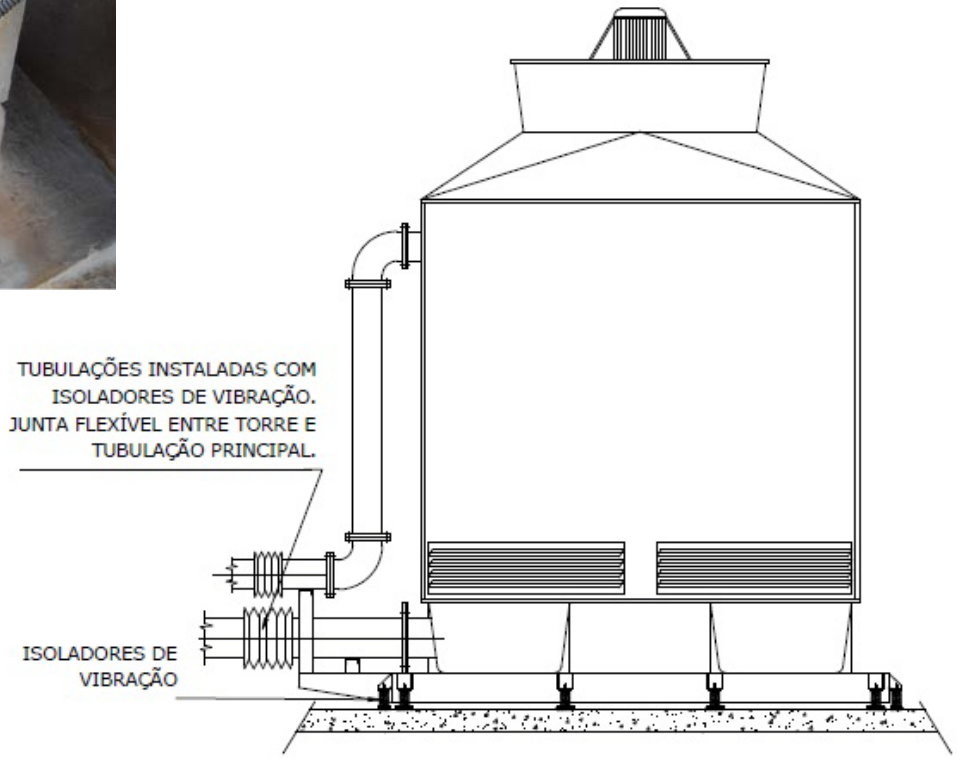
- As prumadas tem habitualmente um comprimento que pode variar com a diferença de temperatura.
- Esta diferença de comprimento entre os estados “quente” e “frio” deve ser considerado na definição da suspensão elástica.

www.vibtech.com.br

Torre de resfriamento

- Vibração no chassi da torre: 76,2 dB - 0,0115 m/s^2 RMS

•Vibração no pilar de apoio: 55,4 dB - 0,00079 m/s^2 RMS



TORRE DE RESFRIAMENTO EM FIBRA
VISTA FRONTAL
S/ ESC.

www.vibte

Os Isoladores Vibtech

- Placas de elastômero dentado - pad: placa **VT**
- Amortecedores de elastômero: linha **VE**
- Amortecedores de molas: linha **VAC**
- Essas duas últimas linhas existem também em versão pendural (“hanger”) - sufixo **T**
- Existem versões com parafuso nivelador (sufixo **H**) e com apoio de elastômero (sufixo **E**)

www.vibtech.com.br

Os Isoladores Vibtech - VT

- **Placas de elastômero dentado (Placa VT)**

  Baixo custo

  Dobrável (adaptável a apoio de tubulação)

  Servem de filtro acústico.

- Ajustável conforme a necessidade na obra: (podem ser recortadas).

www.vibtech.com.br

Os Isoladores Vibtech - VE

- Gama de amortecedores metal-borracha
- Econômico
- Eficiência na faixa acústica
- Durabilidade alta (se trabalha até 70ºC sem presença de solventes ou derivados de petróleo).

www.vibtech.com.br

Os Isoladores Vibtech - VAC

- **Amortecedores de molas**

VAC -- X5 frequência natural de 5 Hz
(deflexão sob carga 10 mm)

VAC -- Y3 frequência natural de 3 Hz
(deflexão sob carga 20 a 30 mm)

VAC – Z2 frequência natural de 2 Hz
(deflexão sob carga 50 mm)

As molas para essa série são estáveis e suportam sem perder suas características (altura) sobre-deflexão de 50%.

www.vibtech.com.br

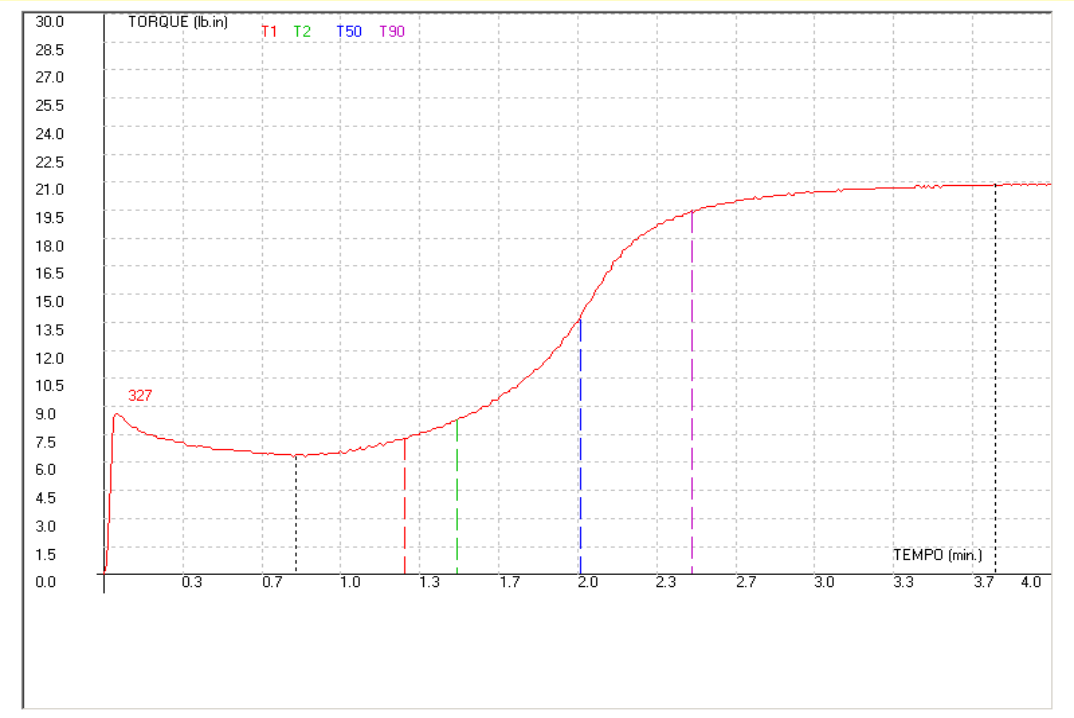
Laboratório de ensaio físico

- Dinamômetro de 100.000 kgf

- Dinamômetro para ensaio de corpo de prova (até 500 kgf)

www.vibtech.com.br

Caracterização de composto



- Reometro com disco oscilante.

Curva reometrica de um composto elastomérico (caracteriza a vulcanização do composto)

www.vibtech.com.br

A gestão da qualidade

- **Vibtech** possui certificado **ISO 9001** pela **SGS ICS**, (desde maio 2001).

- **Vibtech** foi aprovado como fornecedor pela **Petrobras.**

www.vibtech.com.br