

AUT0278 - Desempenho Acústico, Arquitetura e Urbanismo

Transmissão Sonora por Impacto e Acústica de Edificações

e-mail: aut278.2018@gmail.com

Transmissão de ruído de impacto entre ambientes



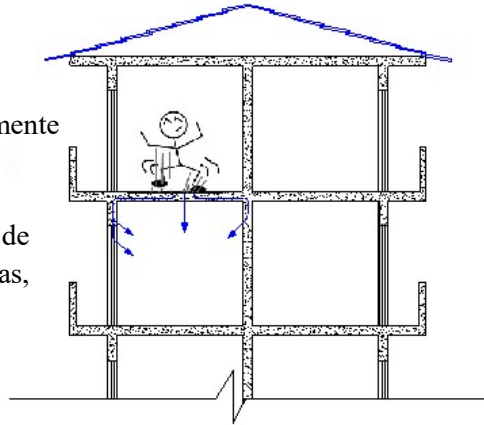
Transmissão de ruído de impacto entre ambientes



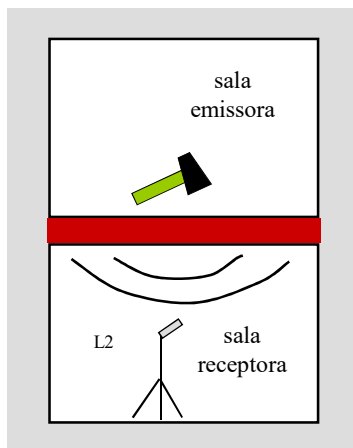
- A transmissão do ruído de impacto resulta de solicitações aplicadas diretamente nos elementos de construção.

- Transmissão ocorre predominantemente por via sólida, através da estrutura.

- Exemplos: impacto de queda de objetos, passos, pulo de crianças, maquinário, chuva, etc.



Avaliação do isolamento sonoro de impacto



- **Como medir o isolamento sonoro de impacto?**

- O isolamento sonoro de impacto é quantificado com base num nível de pressão sonora gerado por uma fonte sonora de impacto padronizada localizada na sala emissora, medido na sala receptora.

- **Como medir o isolamento sonoro de impacto?**

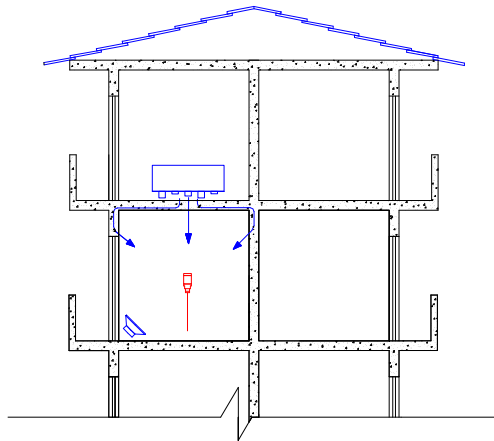
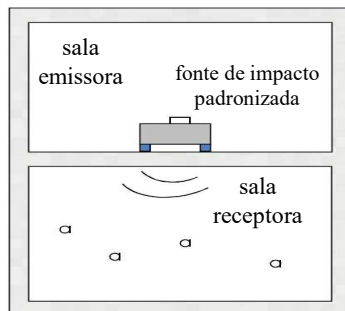
- Através de ensaio normalizado internacionalmente por norma ISO.

ISO 10140-3 (laboratório)

ISO 16283-2 (campo)

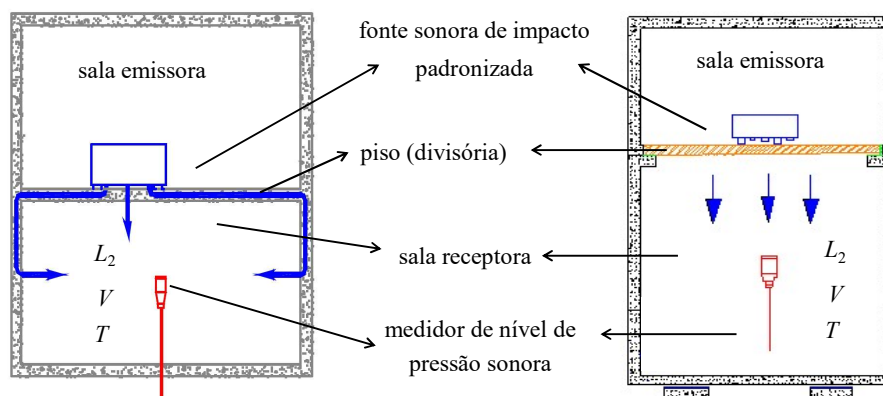
- As medições podem ser realizadas:

- Em campo (*in situ*).
- Em laboratório (câmaras reverberantes adjacentes).



Fonte: NETO, 2008

- **Como medir o isolamento sonoro de impacto?**



Fonte: NETO, 2008

- **Nível de pressão sonora de impacto padronizado, L_{nT} [dB]:**

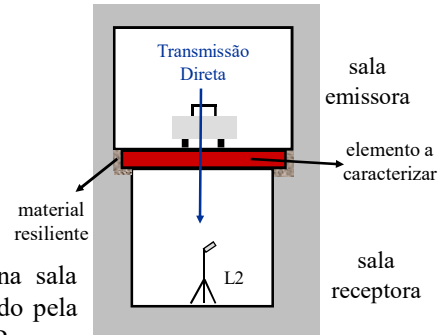
$$L_{nT} = L_2 - 10 \log \frac{T}{T_0}$$

$L_2 \rightarrow$ nível de pressão sonora médio na sala receptora quando o piso sob teste é excitado pela fonte sonora de impacto padronizada, em dB.

$T \rightarrow$ tempo de reverberação da sala receptora, em s.

$T_0 \rightarrow$ tempo de reverberação de referência ($T_0 = 0,5$ s).

Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado [dB]: Número único (ponderado). Obtido de acordo com a norma internacional ISO 717-2, fazendo um ajuste gráfico (usando a curva de referência da norma).



- **Como medir o isolamento sonoro de impacto?**

- Instrumentação:

- Medidor de nível de pressão sonora (medições em bandas de terço de oitava: 100 Hz a 3150 Hz)



- Fonte sonora de impacto padronizada:

Máquina de impactos, máquina de sapatear (*tapping machine*)



- Para medir o tempo de reverberação da sala receptora:
Fonte sonora específica e medidor de nível de pressão sonora.

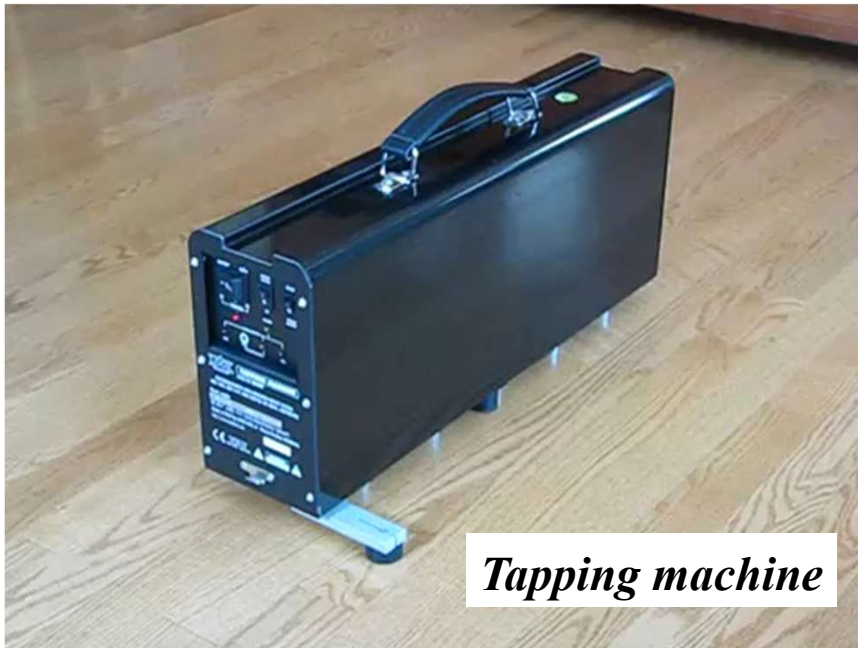
- Como medir o isolamento sonoro de impacto?

- Fonte sonora de impacto padronizada:

Máquina de sapatear (*tapping machine*)



- Fonte sonora de impacto padronizada: **Máquina de sapatear**



Tapping machine

- **Como medir o isolamento sonoro de impacto?**

- Na sala emissora, é gerado um campo sonoro com a máquina de sapatear.
- Na sala receptora, com a máquina ligada, é medido o nível de pressão sonora médio.
- O tempo de reverberação da sala receptora é medido.
- Cálculo do parâmetro L_{nT} em função da frequência.
- Cálculo do valor ponderado do parâmetro: $L_{nT,w}$

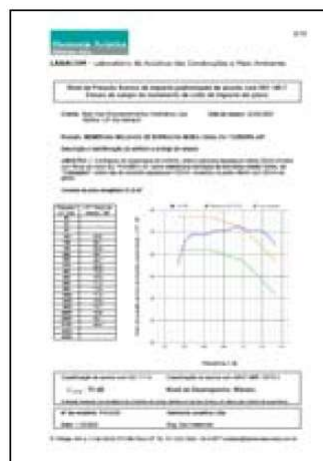
sala emissora



sala receptora

- **Como são apresentados os resultados das medições?**

- Tabela
- Gráfico
- $L_{nT,w}$



- Como são apresentados os resultados das medições?

- Nível de pressão sonora de impacto padronizado:



- Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado

$$L_{nT,w} = 51 \text{ dB}$$

Número único obtido de acordo com o procedimento descrito na ISO 717-2.

- Como é feita a ponderação?

- Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado

$$L_{nT,w} = ???$$

Curva de referência (ISO 717-2):

Frequência, Hz	Valores para Curva de Referência	
	1/3 Oitava	1/1 Oitava
100	62	
125	62	67
160	62	
200	62	
250	62	67
315	62	
400	61	
500	60	65
630	59	
800	58	
1000	57	62
1250	54	
1600	51	
2000	48	49
2500	45	
3150	42	***

• Como é feita a ponderação?

• **Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado**

$$L_{nT,w} = ???$$

Curva de referência (ISO 717-2):

- É deslocada na vertical em passos de 1 em 1 dB,
- Até que a soma das diferenças dos valores medidos para os valores da curva de referência seja a maior possível, mas não superior a 32 dB.
- $L_{nT,w}$ = valor lido em 500 Hz da curva de referência deslocada.



• Como é feita a ponderação?

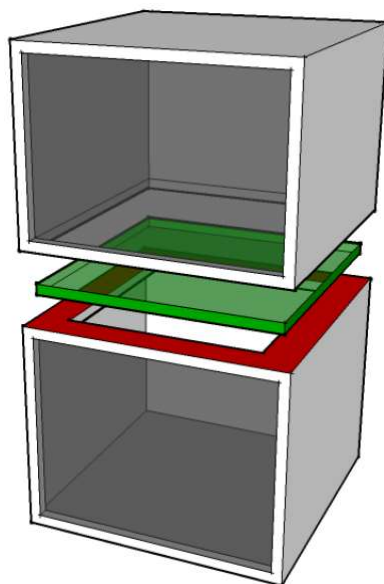
• **Nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado**

$$L_{nT,w} = 51 \text{ dB}$$

- $L_{nT,w}$ = valor lido em 500 Hz da curva de referência deslocada



Ensaio em laboratório



Ensaio em laboratório

Itt Performance
(Instituto Tecnológico em
Desempenho e Construção Civil)
São Leopoldo - RS



Ensaio em laboratório

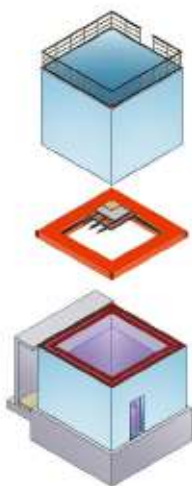
Itt Performance

(Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil)
São Leopoldo - RS



Ensaio em laboratório

ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico
em Ciências da Construção (Coimbra)



Fonte: TADEU et al., 2008

Ensaio em laboratório



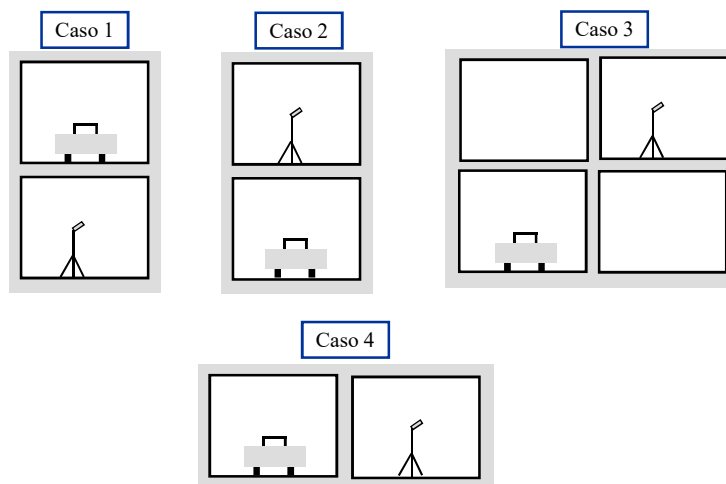
Ensaio em campo



Nota: Este procedimento de medição deverá ser efetuado sobre o piso acabado, na condição em que será entregue ao usuário.

Ensaio em campo

Medições em campo:



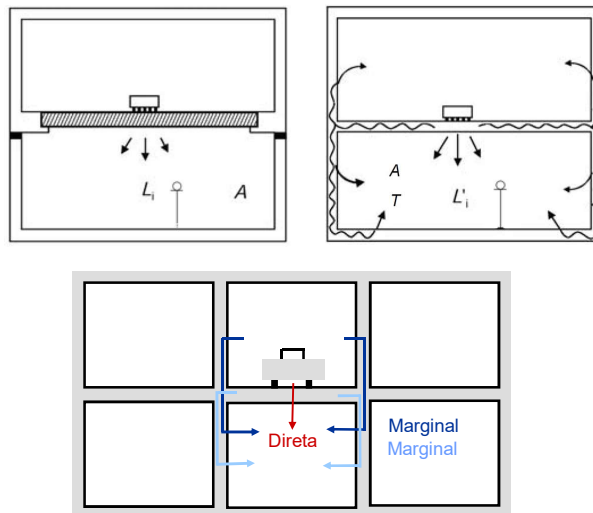
Ensaio em laboratório x Ensaio em campo

Resultados em laboratório $\neq$ Resultados em campo

- Ensaios em laboratório não são diretamente comparáveis a ensaios em campo.

Ensaio em laboratório x Ensaio em campo

- As medições realizadas em laboratório não contêm a influência das transmissões marginais.



Exemplos típicos de pisos sem isolante:

Valores de $L'_{nT,w}$ medidos

Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado

Configuração	Laje [mm]	Total [mm]	$L'_{nT,w}$ [dB]
Laje "zero"	100	100	81
Laje "zero"	120	120	80
Laje "zero"	200	200	72
Laje (100) + Contrapiso (40)	100	140	81
Laje (100) + Contrapiso (50)	100	150	71

Fonte: Barry, 2005

Percepção de Ruído de Impacto

Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado

Percepção de andar em superfície dura	$L_{nT,w}$
Andar normal claramente audível	65
Andar normal audível	60
Andar normal audível, mas aceitável	55
Andar normal ouvido com um “toque surdo” de baixa frequência	48
Andar pesado eventualmente ouvido com um “toque surdo” de baixa frequência	40

Fonte: Adaptado do Australian Building Codes Board

• Desempenhos medidos *in situ*



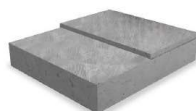
Pré moldado em lajota cerâmica

$L'_{nT,w} = 87\text{dB}$



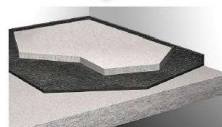
Laje Zero de concreto (Maciça 10cm sem contrapiso)

$L'_{nT,w} = 84\text{dB}$



Laje maciça esp.=12cm e contrapiso esp.=3cm

$L'_{nT,w} = 80\text{dB}$



Contrapiso flutuante sobre laje de concreto maciço

$L'_{nT,w} = 60\text{dB}$

HARMONIA
Davi Akkerman
+ Holtz

Soluções Acústicas – Desempenho acústico de pisos



Como melhorar?

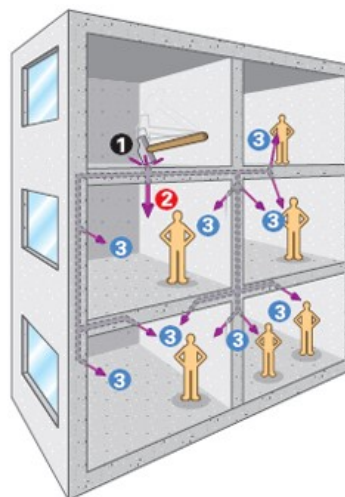
1. Intervenção no ambiente receptor?
2. Intervenção no piso do ambiente emissor?

Se possível nos dois!

Fonte: Catálogo Isover s.d.

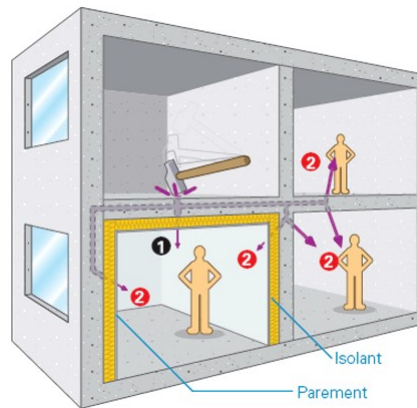
Soluções Acústicas – Desempenho acústico de pisos

- Nenhuma intervenção (piso sem isolante):



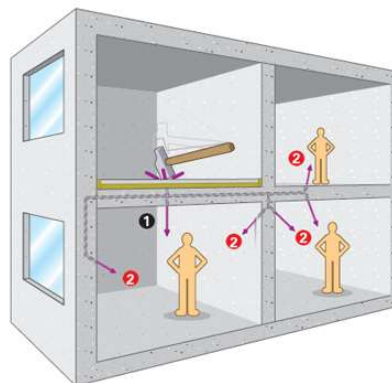
Soluções Acústicas – Desempenho acústico de pisos

- Intervenção no ambiente inferior:
Efeito da colocação de um forro isolante no ambiente do piso inferior.



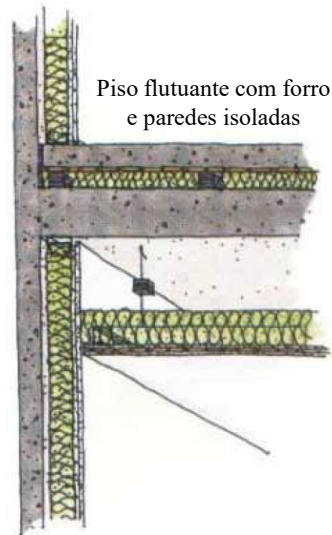
Soluções Acústicas – Desempenho acústico de pisos

- Intervenção no piso que recebe o impacto



Soluções Acústicas – Desempenho acústico de pisos

- Intervenção nos dois ambientes



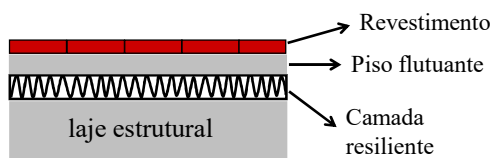
Soluções de isolamento sonoro de impacto

- Para melhorar o desempenho acústico de pisos, deve-se evitar ou diminuir a propagação sonora nas edificações.

- Agir sobre o meio de propagação.

- **Piso flutuante** - metodologia geral:

- pavimento de suporte sobre o qual assenta uma camada de material resiliente que amortece as vibrações da camada de revestimento do piso.



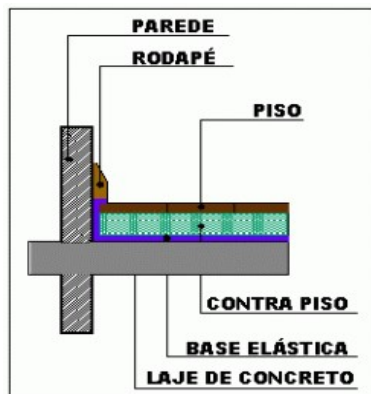
Soluções Acústicas – Piso flutuante

- Redução do ruído de impacto nos pavimentos com aplicação de piso flutuante:
 - Evitar ou diminuir a propagação de sons de impacto.



Características do revestimento final:

- Pode ser qualquer um (madeira, cortiça, linóleo, vinílico, etc.)



Soluções Acústicas – Piso flutuante



Tipos de camada resiliente:

- Borrachas

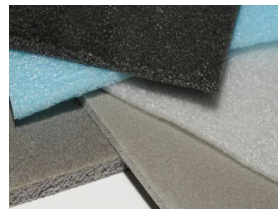


- Lã de rocha

- Lã de vidro

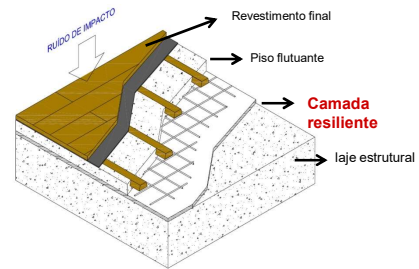


- Aglomerados de cortiça



- Polietilenos

Piso flutuante



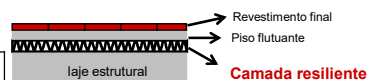
Soluções Acústicas – Piso flutuante



Piso flutuante com lã de vidro durante instalação.

Soluções Acústicas – Piso flutuante

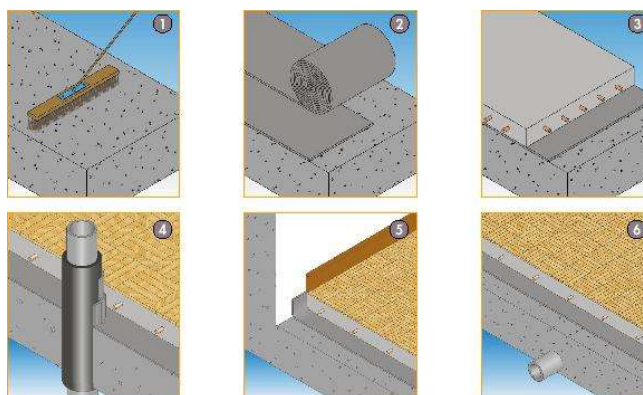
Material da camada resiliente	Espessura (cm)	Diminuição do ruído de impacto (dB)		
		graves	médios	agudos
Lã de rocha	0,9	7	26	39
	2,0	12	26	37
Lã de vidro	0,25	4	16	31
	1,3	9	34	47
Borracha	0,4	3	7	22
	1,2	6	23	44



Soluções Acústicas – Piso flutuante

Aspectos construtivos:

- Deve-se tomar cuidado para que o contato entre as superfícies seja feito somente através do material resiliente, evitando as chamadas pontes acústicas.



Exemplos de pisos flutuantes:

Valores de $L'_{nT,w}$ medidos

Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado

- Redução do ruído de impacto com aplicação de piso flutuante:
- Exemplos:

Configuração	Laje [mm]	Total [mm]	$L'_{nT,w}$ [dB]
Laje + manta + piso de madeira	150	200	54
Laje + tratamento acústico + contrapiso	120	185	51
Laje + contrapiso + piso de madeira + tapete	160	215	45

Fonte: Barry, 2005

Construção Civil Brasileira

ABNT NBR 15575: 2013

Edificações habitacionais – Desempenho



Crêterios Nacionais



ABNT NBR 15575-3 - Pisos

Isolamento ao ruído de impacto de sistemas de pisos

Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$, para ensaios de campo

Nível de desempenho **Mínimo** (obrigatório):

Elemento	$L'_{nT,w}$ [dB]
Sistema de piso separando unidades habitacionais aut�nomas posicionadas em pavimentos distintos	≤ 80
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais aut�nomas	≤ 55

Crêterios Nacionais



ABNT NBR 15575-3 - Pisos

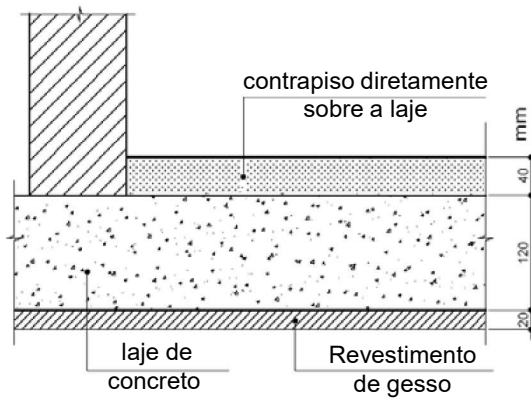
Isolamento ao ruído de impacto de sistemas de pisos

Isolamento ao ruído de impacto de sistemas de pisos

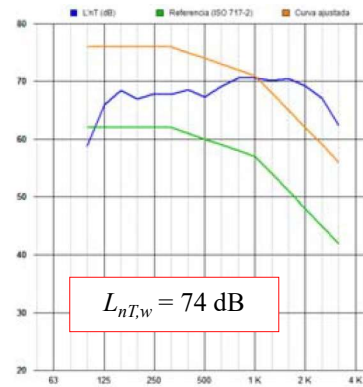
Parâmetro	Critério	Desempenho		
		MÍN	INT	SUP
Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado	Sistema de piso separando unidades habitacionais aut�nomas posicionadas em pavimentos distintos	$\leq 80\text{dB}$	$\leq 65\text{dB}$	$\leq 55\text{dB}$
	Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, tais como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais aut�nomas	$\leq 55\text{dB}$	$\leq 50\text{dB}$	$\leq 45\text{dB}$

Obs.: Valores em negrito são normativos (obrigatórios) e os demais informativos.

Exemplo



Nível de pressão sonora de impacto padronizado



- Está dentro do critério de desempenho mínimo para sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas, posicionadas em pavimentos distintos, estabelecido na ABNT NBR 15575-3 ? **Sim ($\leq 80 \text{ dB}$).**

Critérios Nacionais

ABNT NBR 15575-5 Coberturas

Isolamento ao ruído de impacto em sistemas de cobertura

Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$, para ensaios de campo

Nível de desempenho Mínimo (obrigatório):

Elemento	$L'_{nT,w}$ [dB]
Dormitórios e salas de estar localizados abaixo de coberturas acessíveis de uso coletivo	≤ 55



ABNT NBR 15575-5 Coberturas

Isolamento ao ruído de impacto em sistemas de cobertura

Isolamento ao ruído de impacto em sistemas de cobertura					
Descrição		Parâmetro	Desempenho		
			MÍN	INT	SUP
Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado	$L'_{nT,w}$	Dormitórios e salas de estar localizados abaixo de coberturas acessíveis de uso coletivo	$\leq 55 \text{ dB}$	$\leq 50 \text{ dB}$	$\leq 45 \text{ dB}$

Obs.: Valores em negrito são normativos (obrigatórios) e os demais informativos.

O requisito MÍNIMO para isolamento de ruído de impacto entre unidades ($L'_{nT,w} \leq 80\text{dB}$) é reconhecidamente insuficiente para prover o desejável conforto aos usuários. Portanto, recomendamos, sempre que possível, o desempenho INTERMEDIÁRIO ou SUPERIOR, seja pela aplicação de contrapisos flutuantes ou por sistemas de lajes mais robustos.

É uma prática frequente nos projetos atuais a previsão de áreas de lazer de uso coletivo nas coberturas dos edifícios, incluindo salão de festas, piscina e academia de ginástica. Isso demanda cuidados especiais de isolamento acústico, especialmente quanto ao ruído de impacto, visto que para esta situação a norma de desempenho é bem mais restritiva ($L'_{nT,w} \leq 55\text{dB}$). Para o atendimento a esse requisito, recomenda-se a aplicação de contrapisos flutuantes.

- Para mais detalhes, ver:



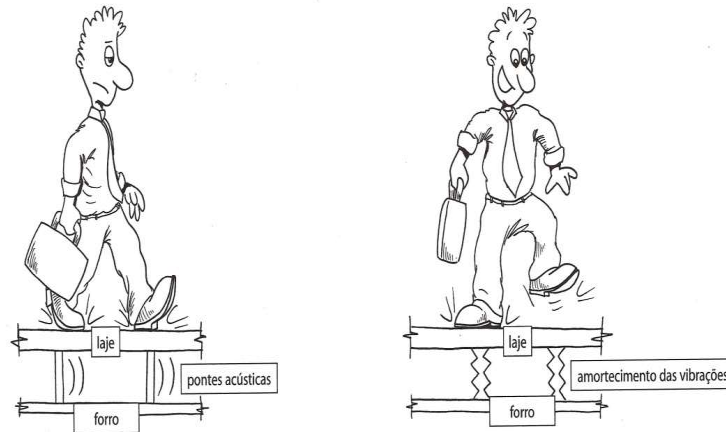
Soluções Acústicas – Forro suspenso isolante

- Um forro suspenso pode aumentar o isolamento de um piso em relação aos ruídos aéreos, porém, geralmente, não acrescenta isolamento aos ruídos de impacto.
- Para se obter isolamento de ruídos de impacto, o forro isolante deve ser completamente fechado e suspenso da laje com isoladores de vibração.



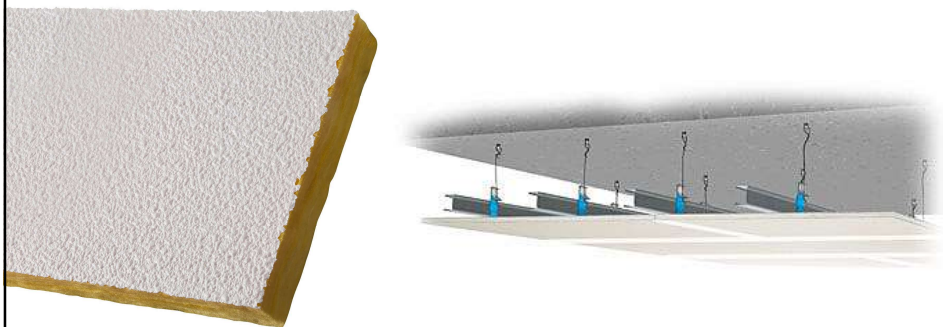
Soluções Acústicas – Forro suspenso isolante

- Para isolar ruídos de impacto: o forro isolante deve ser completamente fechado e suspenso da laje com isoladores de vibração que amortecem as vibrações.



Soluções Acústicas – Forro suspenso isolante

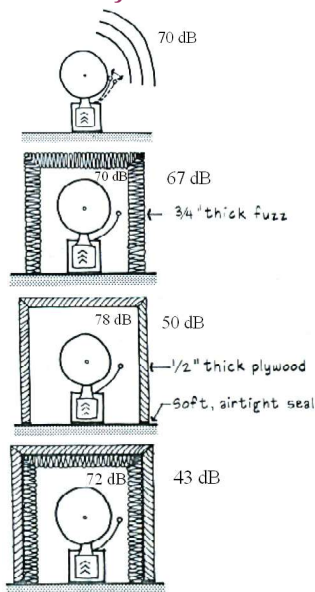
- Deve-se tomar cuidado para que os pontos de contato e suportes dos forros sejam somente através do material resiliente, ou seja, independentes da estrutura, evitando as chamadas pontes acústicas.
- Quanto menor o número de pontos de contato, maior o isolamento.
- O isolamento pode ser maior caso o espaçamento entre o forro e a laje seja preenchido com material de absorção sonora.



Soluções Acústicas – Enclausuramento:

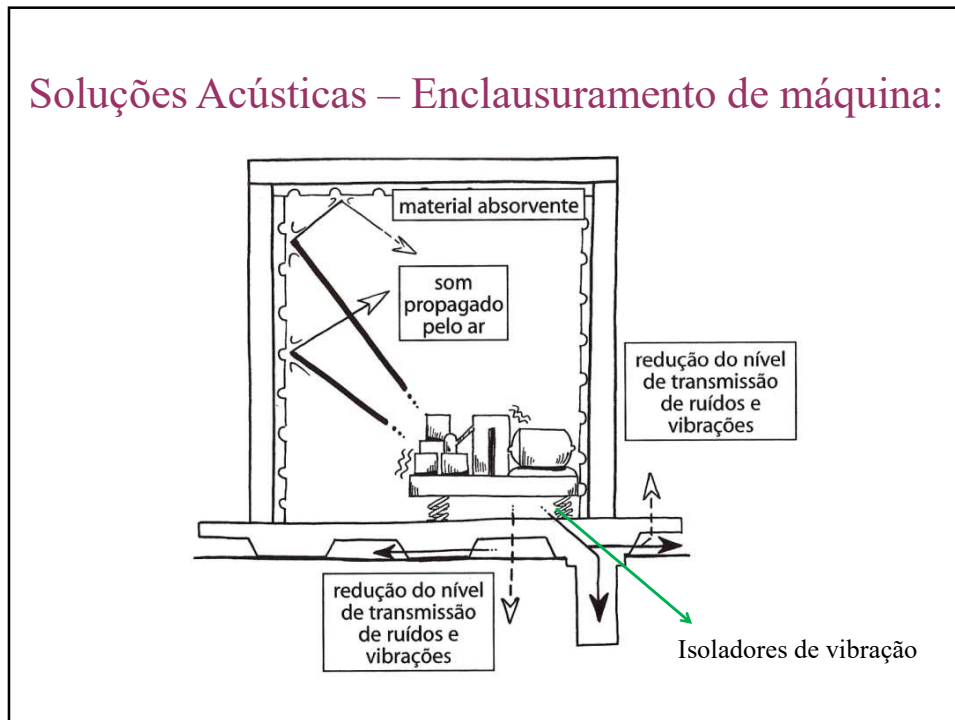
- Pode ser necessário isolar o ambiente emissor contra transmissões aérea e por impacto.
- O ambiente de enclausuramento deve ter:
 - Revestimento absorvente (diminuir o ruído interno);
 - Partições isolantes (isolar transmissão aérea);
 - Piso flutuante (isolar a transmissão por impacto e vibrações).

Soluções Acústicas – Enclausuramento:



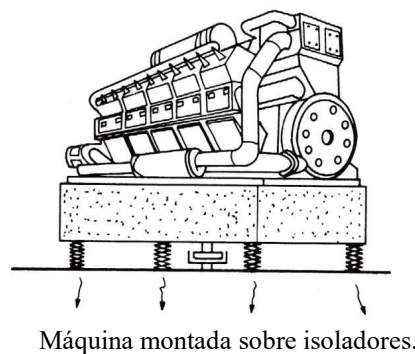
- Equipamento sem proteção
- Equipamento com proteção absorvente
(diminuir o ruído externo)
- Equipamento com proteção isolante
(isolar transmissão aérea)
- Equipamento enclausurado (combinação dos dois casos anteriores) – melhor solução acústica

Soluções Acústicas – Enclausuramento de máquina:

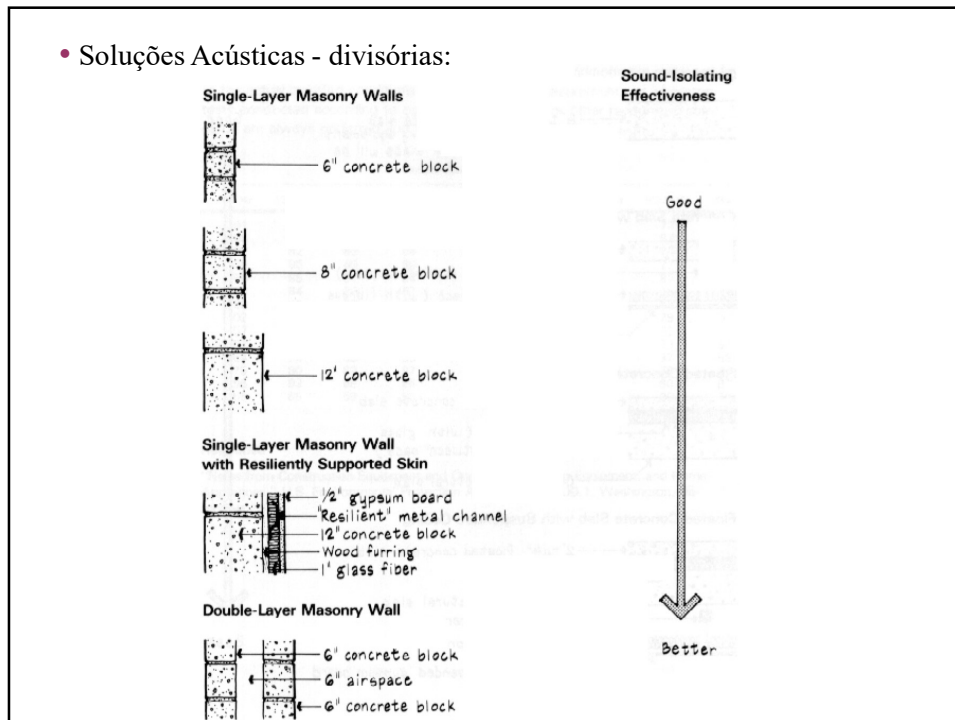


Soluções Acústicas – Enclausuramento de máquina:

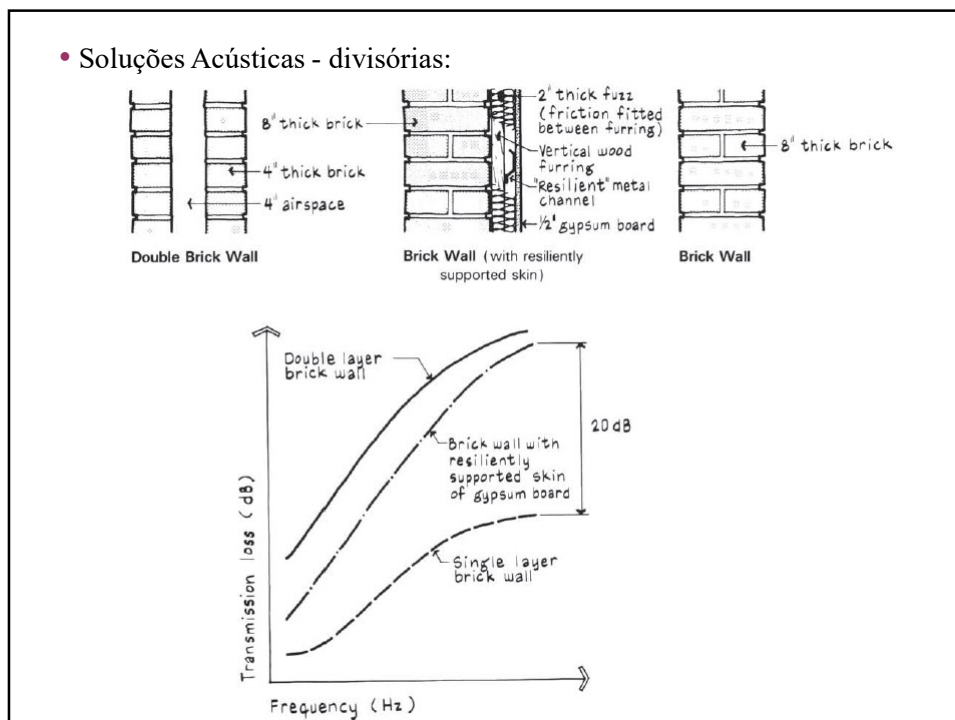
Máquinas montadas sem e com isoladores.



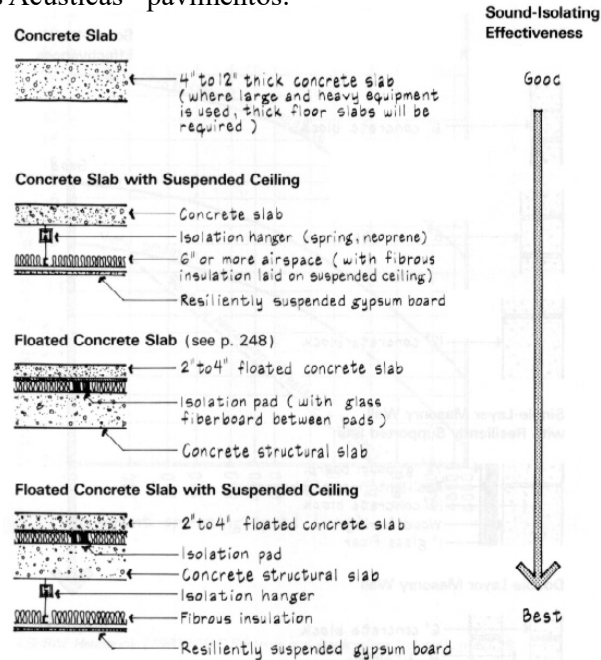
- Soluções Acústicas - divisórias:



- Soluções Acústicas - divisórias:



• Soluções Acústicas - pavimentos:



Isolamento de ruído de tubulações e dutos



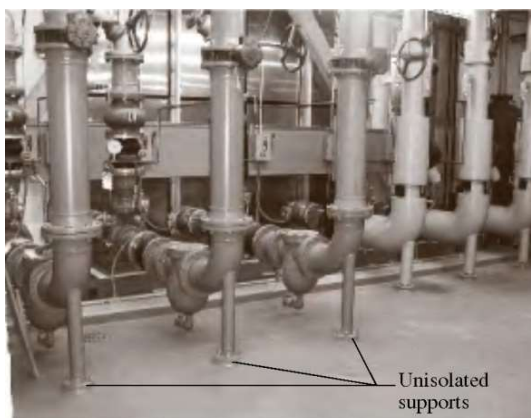
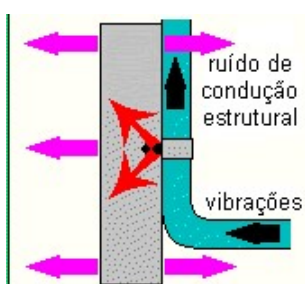
- Ruídos que resultam do escoamento turbulento.
- Vibrações são transmitidas através do suporte de tubos e dos atravessamentos dos elementos construtivos.

Ruído de tubulações de banheiro e tubulação hidráulica



Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

Isolamento de ruído de tubulações e dutos

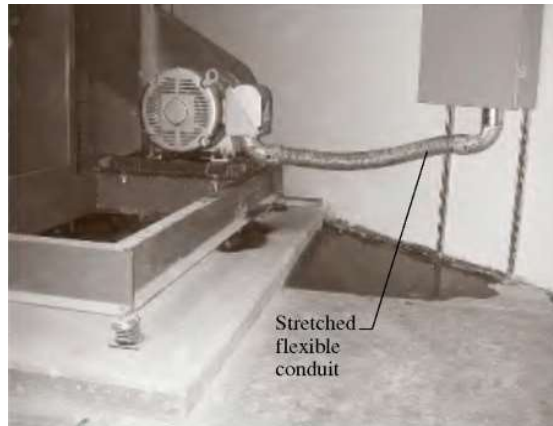
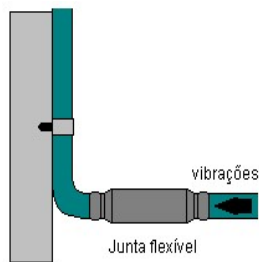


Tubulação rigidamente presa ao piso. → Essa forma inadequada de montagem permite que as vibrações sejam transmitidas para a estrutura da edificação por onde se propagarão.

Isolamento de ruído de tubulações e dutos

Soluções

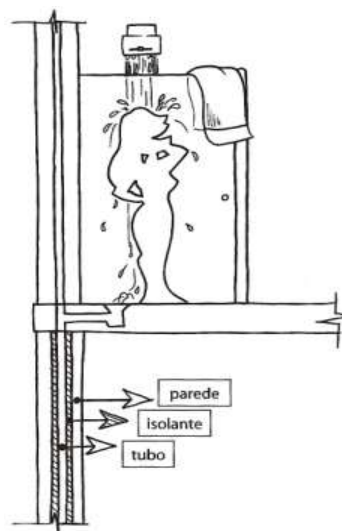
- Durante a instalação das tubulações, as conexões das tubulações com a estrutura da edificação não podem ser rígidas.
- Uso de junta flexível.



Isolamento de ruído de tubulações e dutos

Soluções

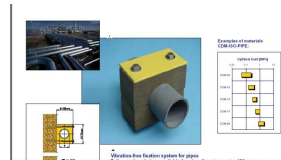
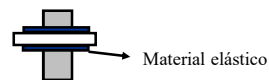
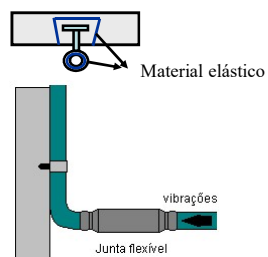
- Tubos no interior de paredes leves devem ser revestidos com material isolante.
- Tubos de queda de águas devem ser mais espessos e mais flexíveis e também receber revestimento de material isolante.



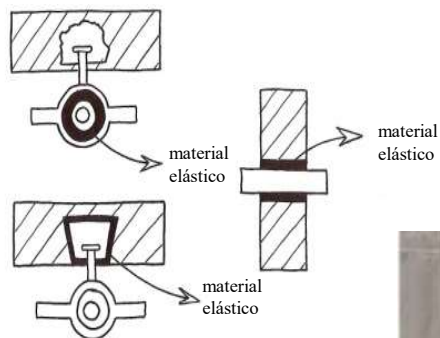
Isolamento de ruído de tubulações e dutos

Soluções

- Para amortecimento de tubulações, pode-se colocar materiais elásticos entre:
 - braçadeiras e tubos,
 - entre os muros ou peças de ancoragem e a estrutura em que se apoiam,
 - entre os tubos e os elementos atravessados.



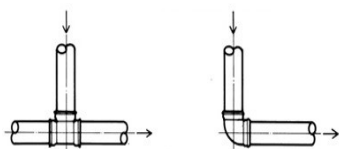
Isolamento de ruído de tubulações e dutos



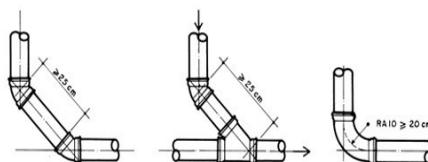
Isolamento de ruído de tubulações e dutos

Soluções

- No traçado das canalizações, curvas mais suaves ao invés de ângulos retos no desvio das tubulações e transições e diâmetros progressivos podem colaborar para atenuar a turbulência e consequentemente vibrações e ruídos gerados.
- Substituir acessórios como Tês por derivações a 45° e joelhos por curvas.



conexões contraindicadas



conexões recomendadas para evitar turbulência.

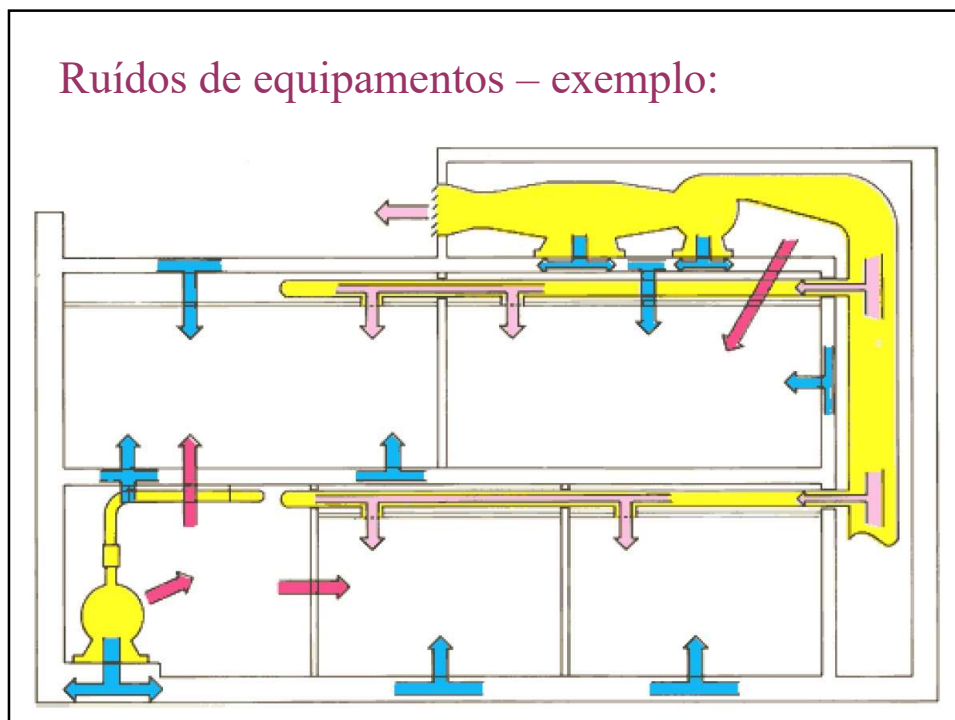
Linha de produtos Silentium



ABRAÇADEIRA	AMORTECEDOR ACÚSTICO	ANTIESPUMA COM DEFLETOR ACÚSTICO	BUCHA DE REDUÇÃO
CAP	CORPO DA CAIXA SIFONADA	CURVA 90° CURTA	CURVA CURTA COM BOLSAS
DEFLETOR ACÚSTICO	ISOLADOR	JOELHO 45°	JOELHO 90°



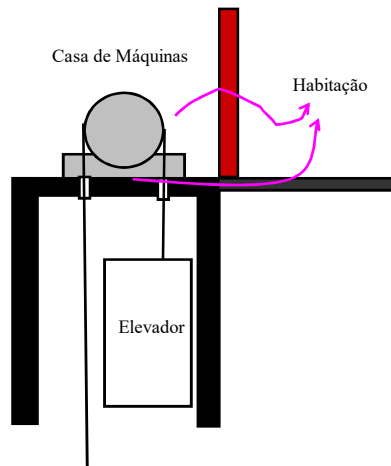
Ruídos de equipamentos – exemplo:



Ruídos de equipamentos – exemplo:

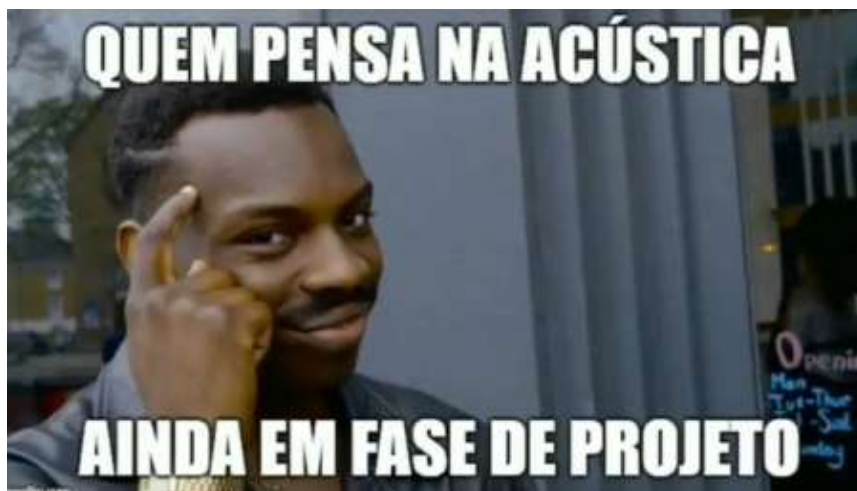
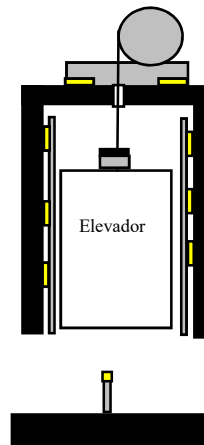
- Controle do ruído aéreo:

- Atenuar o nível sonoro no espaço emissor.
- Aumentar o isolamento do elemento de separação.



- Controle do ruído por transmissão estrutural:

- Apoios anti-vibratórios
- Aplicação de sistema flutuante



Projeto de Isolamento Sonoro

- Realizar um estudo completo prévio
 - Para evitar ter que projetar sistemas altamente isolantes quando a construção já estiver começada ou acabada → remendos.

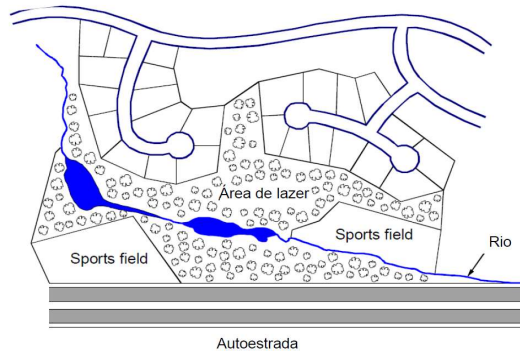
Projeto de Isolamento Sonoro

- Planejamento
 - Escolha do local
 - Projeto do edifício
 - Vizinhança
 - Ruas
 - Definição da posição em planta

Projeto de Isolamento Sonoro

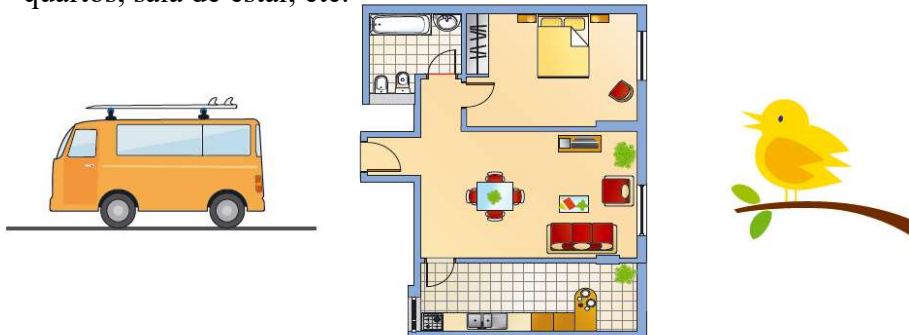
- Separar com a maior distância possível as fontes de ruído (áreas ruidosas) das áreas que precisam de silêncio → poupar isolamento.
- Situar as dependências que podem ser fontes de ruído em partes do edifício onde já existam outras fontes de ruído (inclusive exteriores). Inversamente, situar dependências que precisem de silêncio em partes tranquilas do edifício.

- Áreas não suscetíveis ao ruído devem funcionar como espaço intermediário (áreas abafadoras) entre fontes sonoras e áreas que precisam de silêncio.



Projeto de Isolamento Sonoro

- Disposição dos edifícios:
- Ambientes menos sensíveis ao ruído (corredores, escadas, cozinhas, dispensas, banheiros) devem estar virados para a fachada mais exposta ao ruído, reservando as fachadas restantes para quartos, sala de estar, etc.



Projeto de Isolamento Sonoro

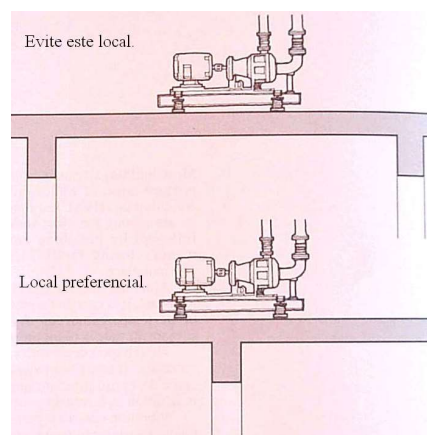
- Disposição dos edifícios:



Projeto de Isolamento Sonoro

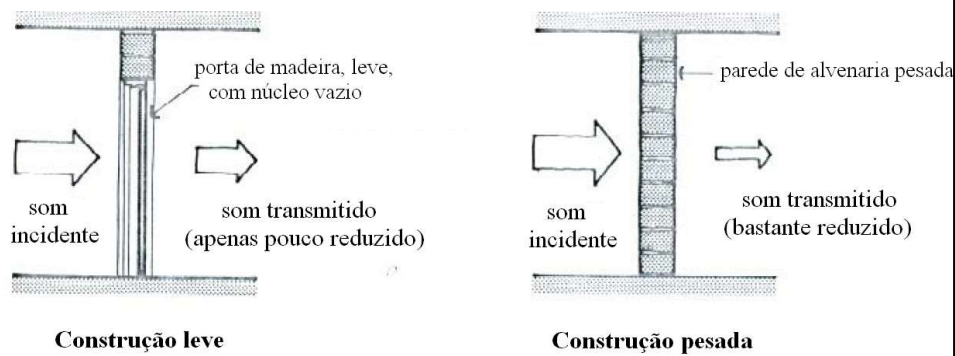
- Situar máquinas e fontes que transmitam ruídos através da estrutura, se possível, diretamente acima das fundações.
- A estrutura acima das fundações é geralmente mais pesada e por isso mais isolante. Além disso, as vibrações poderão ser absorvidas diretamente pela terra.

**QUANTO MAIOR O
ISOLAMENTO,
MAIS CARA A CONSTRUÇÃO.**



Projeto de Isolamento Sonoro

- Atenção aos pontos fracos de isolamento: uma janela com baixo isolamento ou uma porta leve, numa parede pesada e muito isolante, levará o isolamento global a níveis muito baixos, apesar das melhores intenções do construtor.



Projeto de Isolamento Sonoro

- Estudar cuidadosamente portas, janelas e os casos especiais – sistemas de ar condicionado, dutos, geradores, etc., a fim de não se reduzir o isolamento.