

# Conforto Ambiental

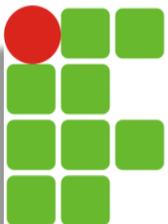
UNIDADE III - Conforto Acústico

3.1. Conceitos fundamentais;

3.2. Isolamento de ruído;

3.3. Propagação do som ao ar livre;

3.4. Soluções de projeto e tecnologias.



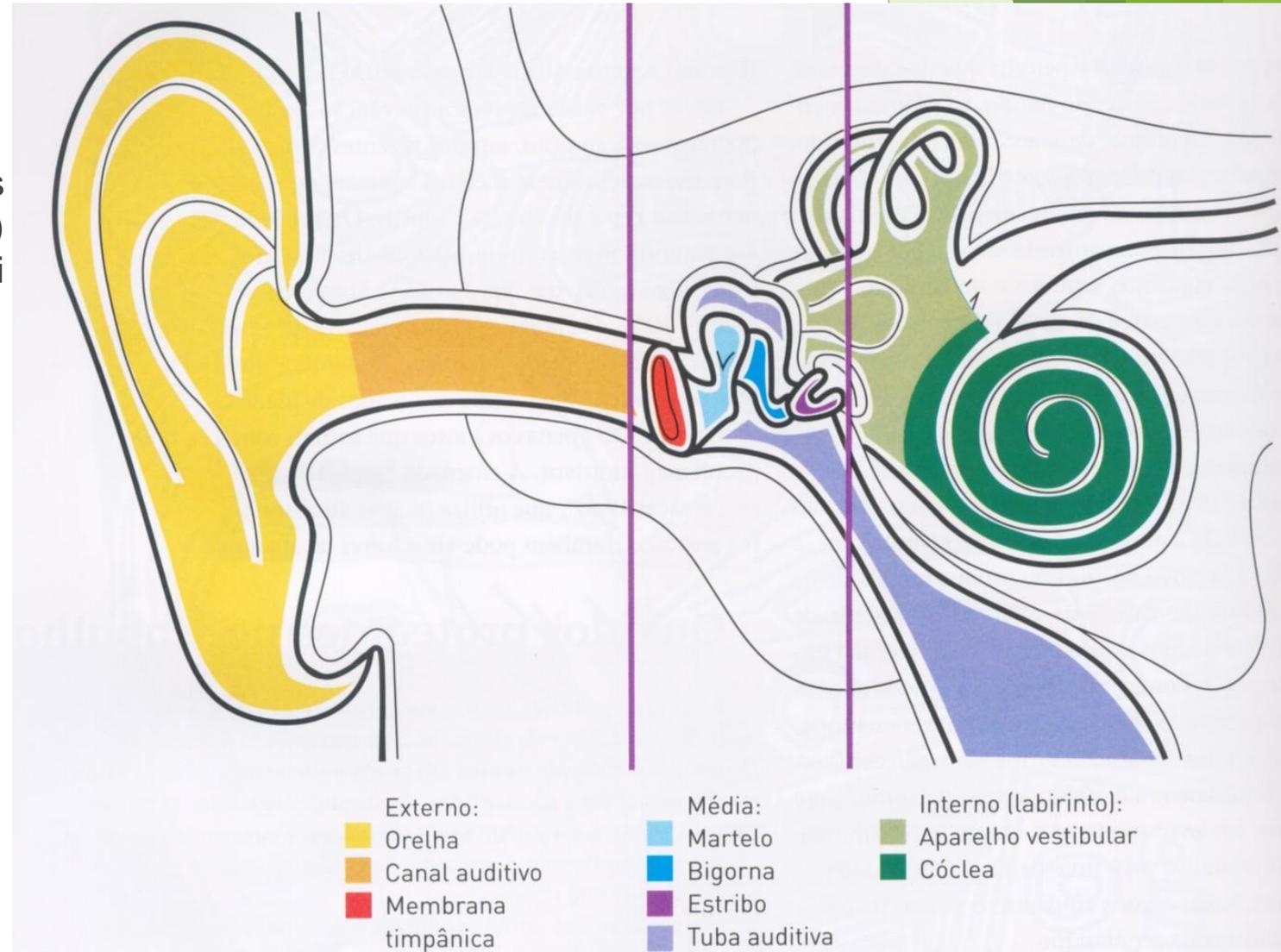


# CONCEITOS BÁSICOS DO SOM

# Conceitos básicos

## Audição

- ▶ Ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno
- ▶ Pavilhão auricular (conduz as vibrações sonoras). Tímpano (transmite as vibrações) cóclea-membrana basilar e órgão de Corti (enviam os estímulos ao cérebro)



# Conceitos técnicos

## Introdução

- ▶ Para o condicionamento acústico do local, deve-se conhecer o comportamento do som quando encontra um obstáculo.

Figura 14  
Auditório retangular

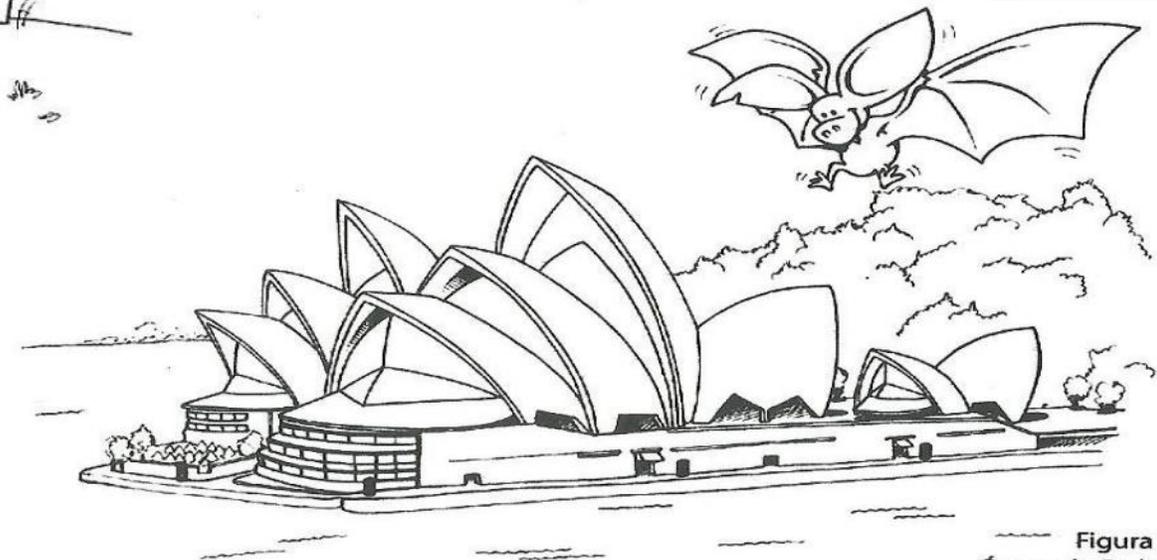
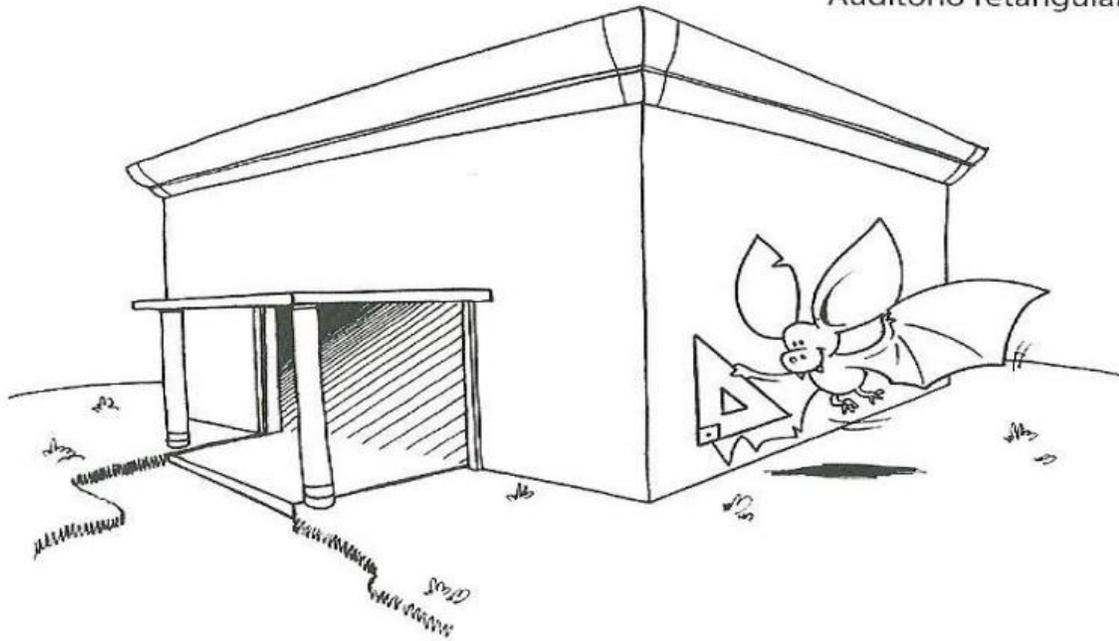


Figura 15  
Ópera de Sydney



Figura 4  
Teatro romano -  
destinado à diversão

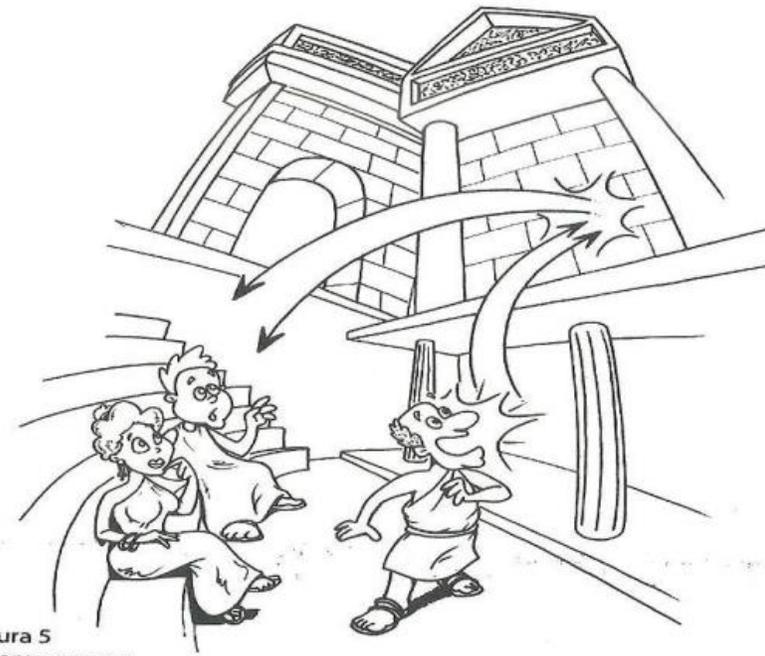


Figura 5  
Reforço sonoro

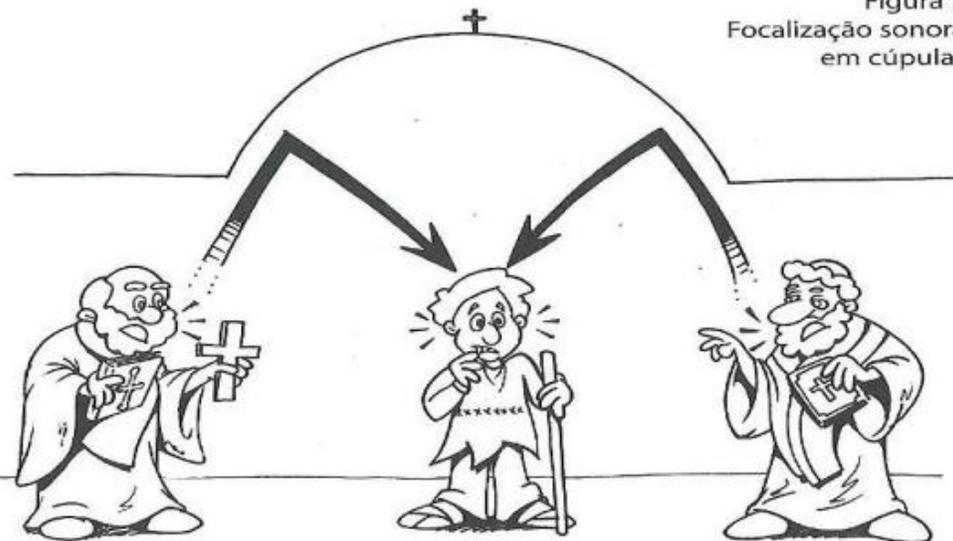
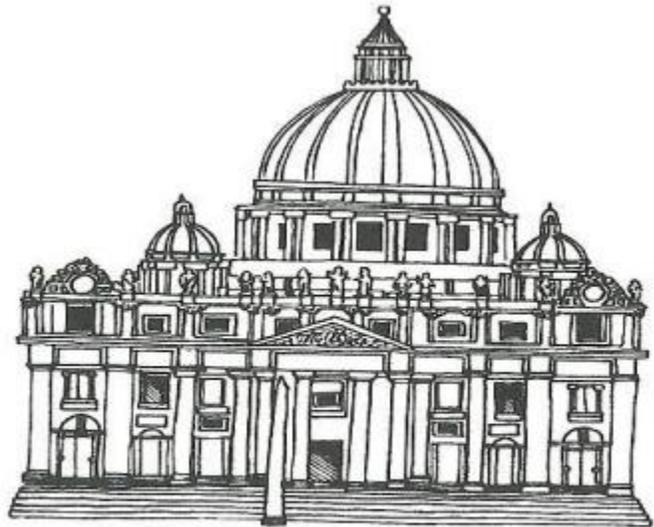


Figura 6  
Focalização sonora  
em cúpulas

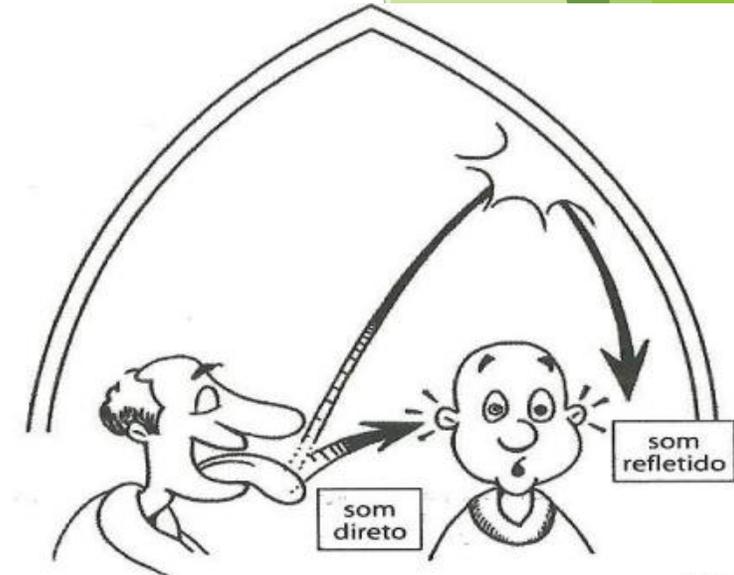
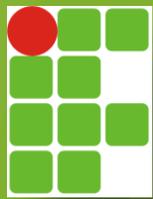


Figura 8  
Igrejas góticas - eco



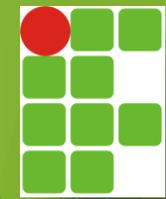


Figura 9  
Som direto ao ar livre  
e som refletido  
em teatros  
fechados

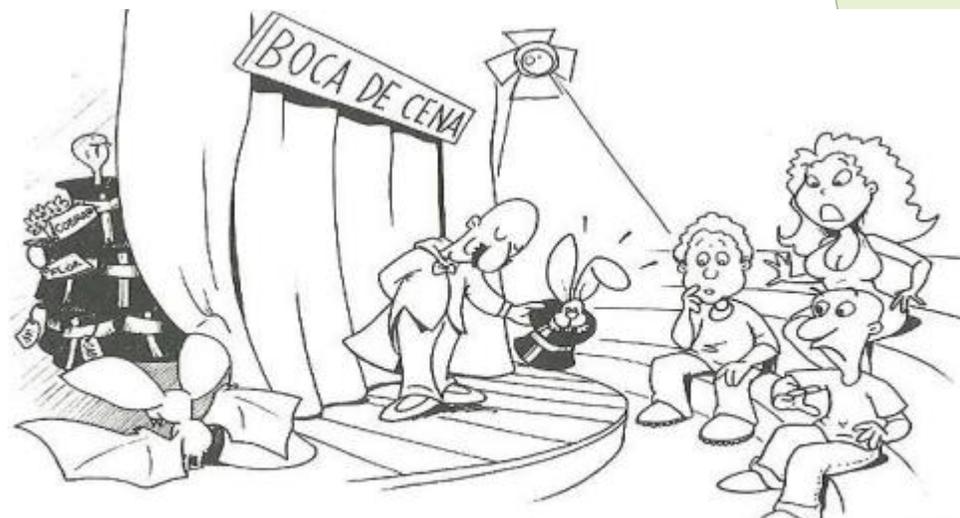


Figura 11  
Boca de cena

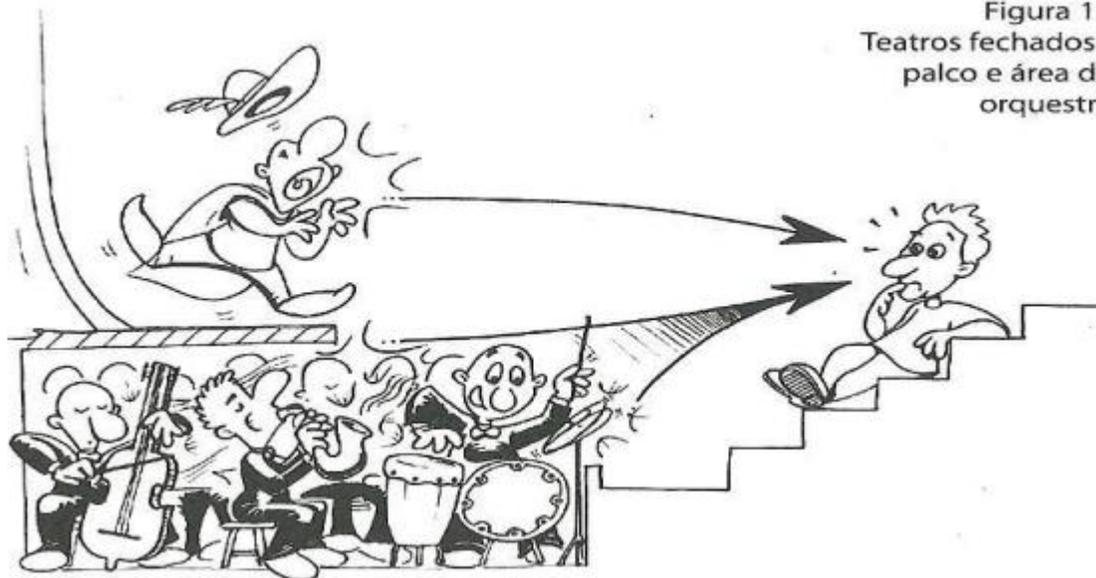


Figura 12  
Teatros fechados -  
palco e área de  
orquestra

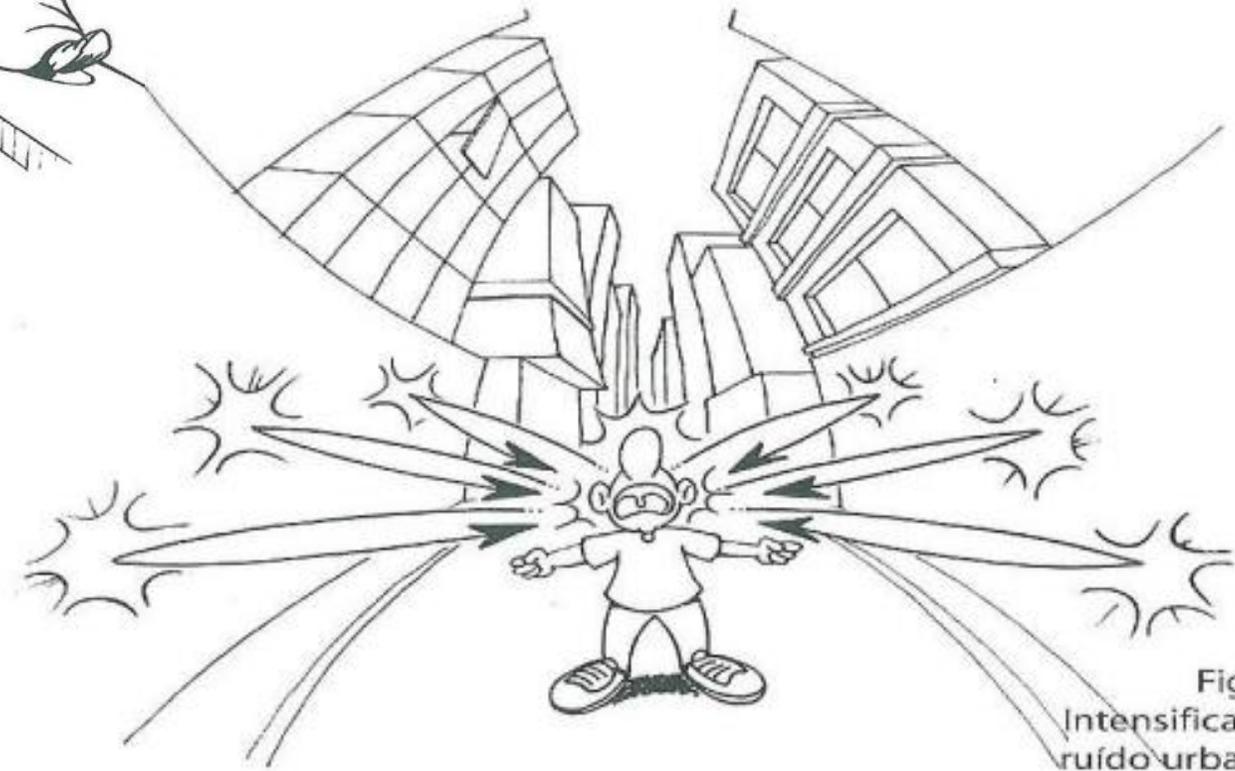
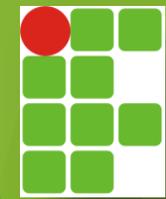


Figura 17  
Intensificação do  
ruído urbano por  
reflexão sobre as  
superfícies da cidade

# Conceitos básicos

## Aspectos físicos do som

- ▶ Onda
  - ▶ São movimentos oscilatórios que se propagam em um meio devido a uma perturbação nesses meios. Nesses movimentos, somente energia é transmitida, não havendo transporte de matéria.
- ▶ Comprimento da onda ( $\lambda$ )
  - ▶ É a distância entre duas cristas ou dois vales.
- ▶ Amplitude
  - ▶ É a altura da crista da onda.
- ▶ Período (T)
  - ▶ Tempo necessário para uma onda se deslocar-se de uma crista a outra.
- ▶ Frequência (f)
  - ▶ É o número de oscilações (ciclos) realizados em uma unidade de tempo.

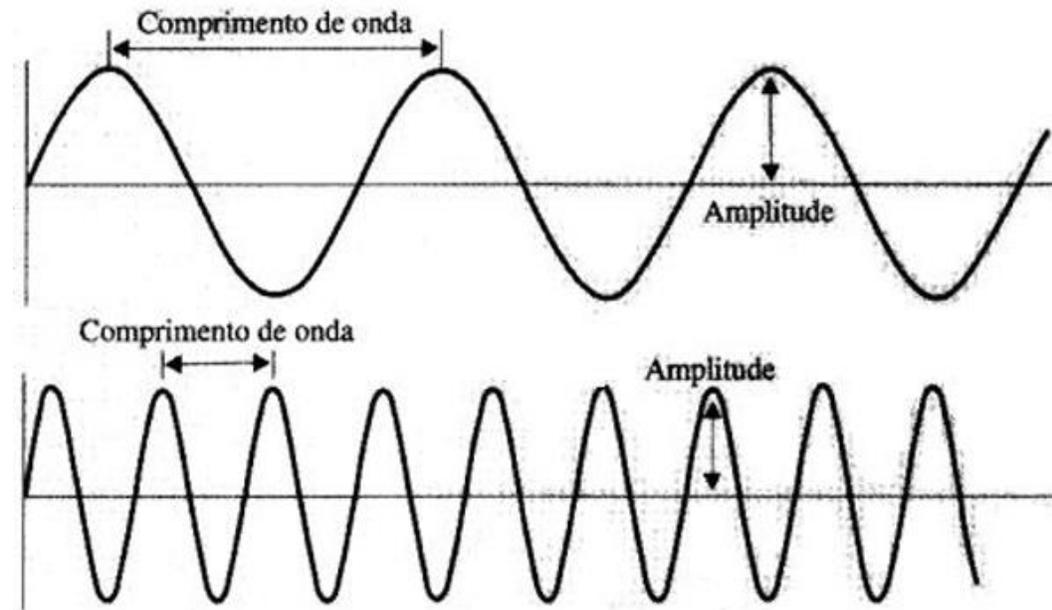
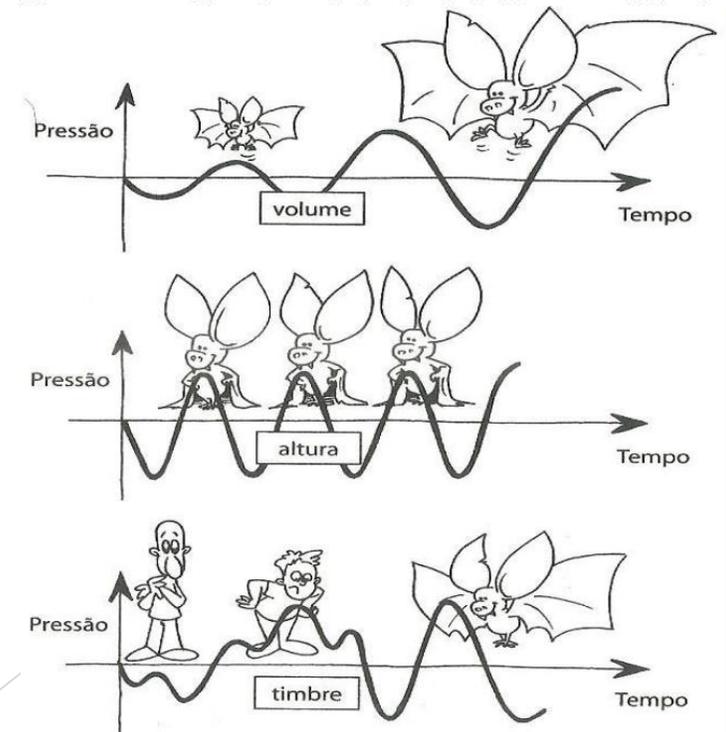


Imagem obtida no site: [http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema\\_crv/imagens/md\\_ef\\_ci/2009-03-10\\_22/image016.jpg](http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/imagens/md_ef_ci/2009-03-10_22/image016.jpg)



# Conceitos básicos

## Aspectos físicos do som

- ▶ Som
  - ▶ Sensação auditiva gerada por uma onda vibratória do ar, no sentido longitudinal, provocada por uma série de expansões e compressões.
- ▶ Microfone
  - ▶ Transformar energia mecânica em energia elétrica.
- ▶ Alto-falante
  - ▶ Inverte o microfone, transforma energia elétrica em mecânica.
- ▶ Amplificador
  - ▶ Amplifica a energia mecânica do autofalante

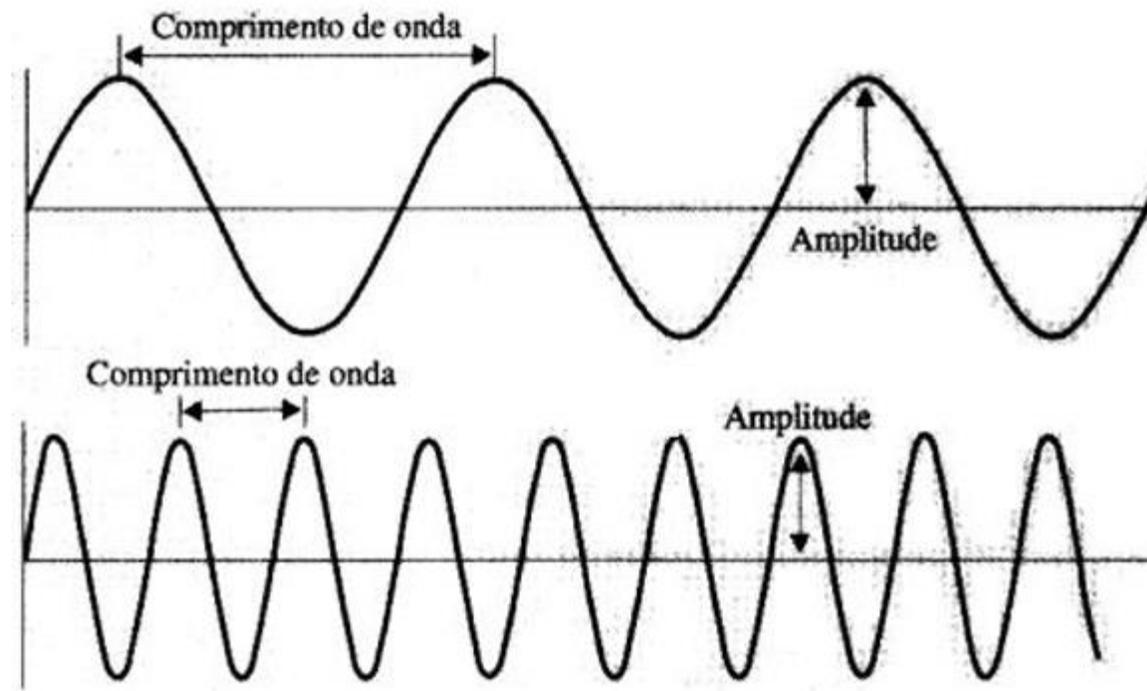
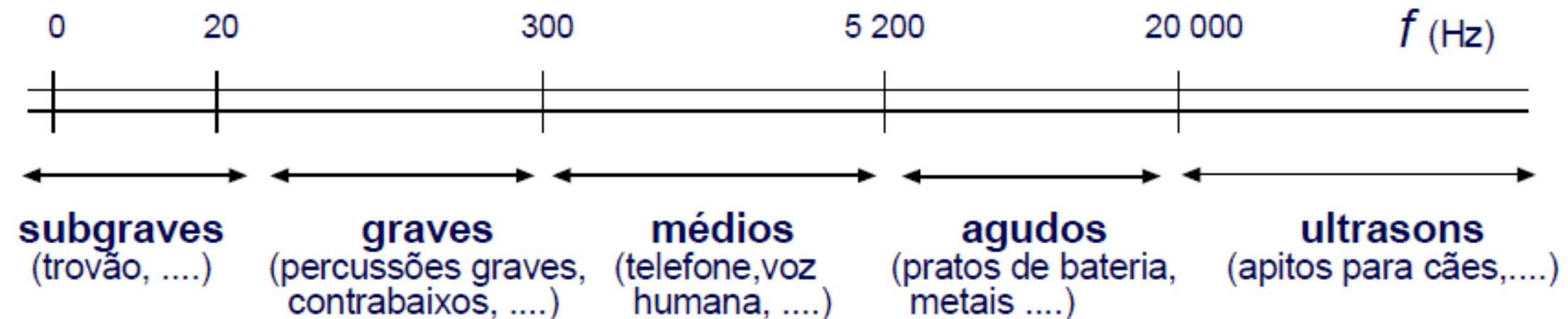
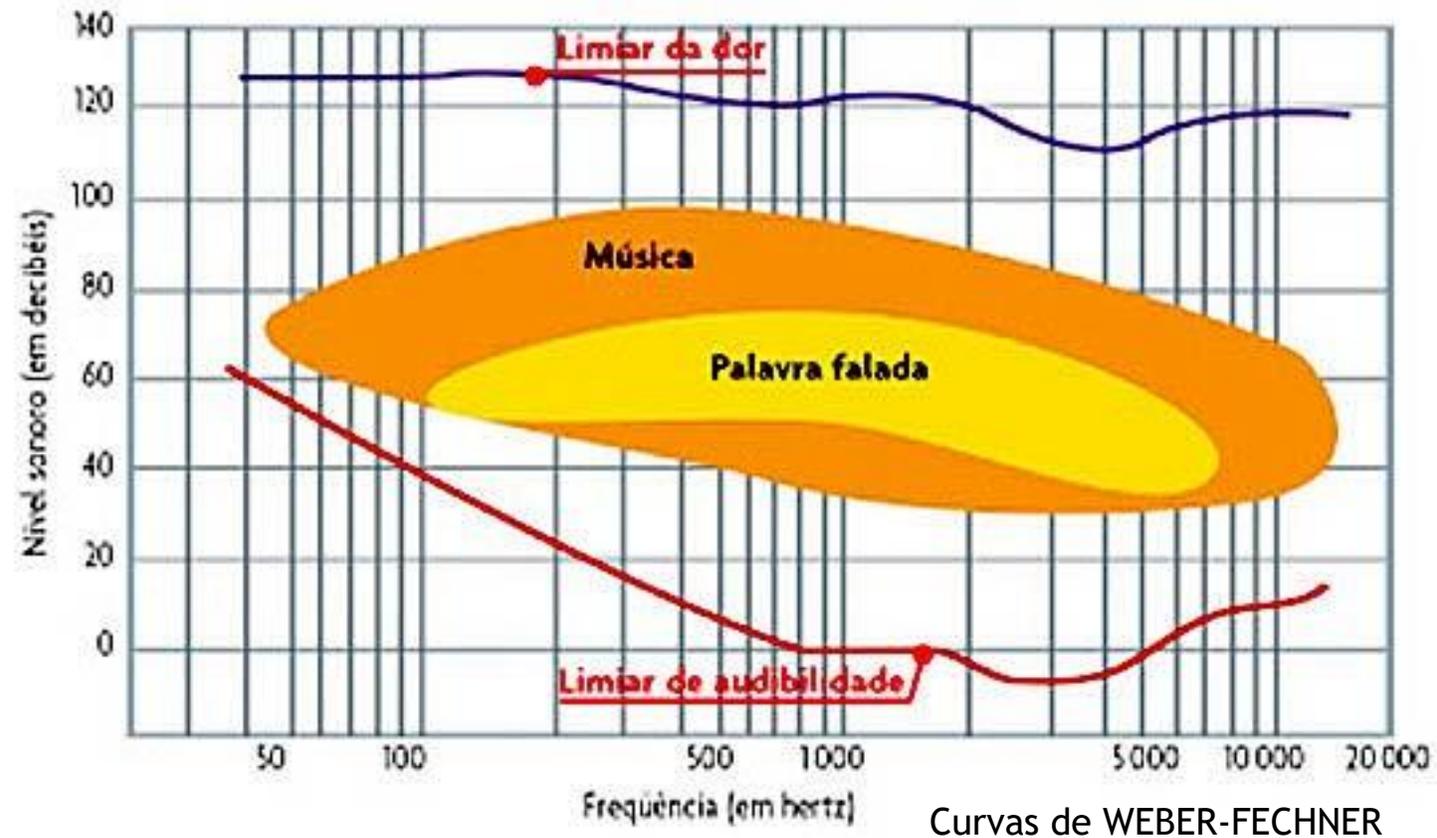


Imagem obtida no site: [http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema\\_crv/imagens/md\\_ef\\_ci/2009-03-10\\_22/image01](http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/imagens/md_ef_ci/2009-03-10_22/image01)

# Conceitos básicos

## Aspectos físicos do som

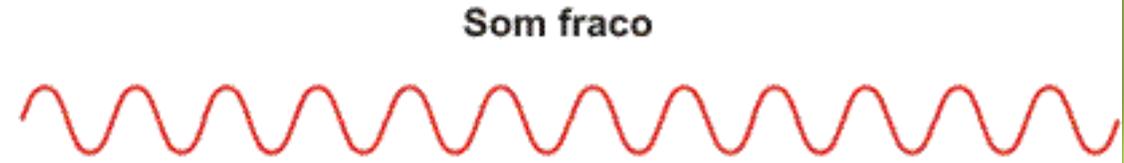
- ▶ Ondas sonoras
  - ▶ São as que necessitam de um meio para se propagar.
    - ▶ Sólido, líquido ou gasoso.
- ▶ Eco
  - ▶ É o som refletido que chega ao ouvinte.
- ▶ Frequência audível
  - ▶ 20 a 20.000 Hz



# Conceitos básicos

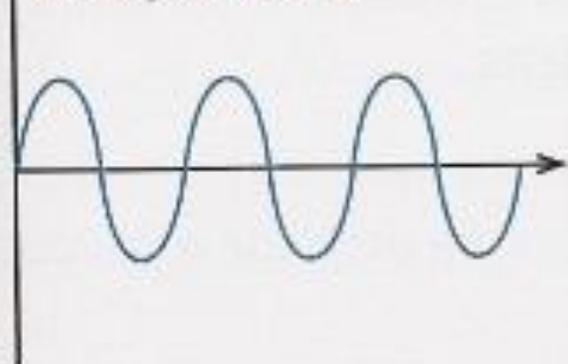
## Aspectos físicos do som

- ▶ Altura
  - ▶ É a qualidade que permite diferenciar um som grave (baixa frequência) de um agudo (alta frequência).
- ▶ Intensidade
  - ▶ É a qualidade que permite diferenciar um som alto/forte ou baixo/fraco.

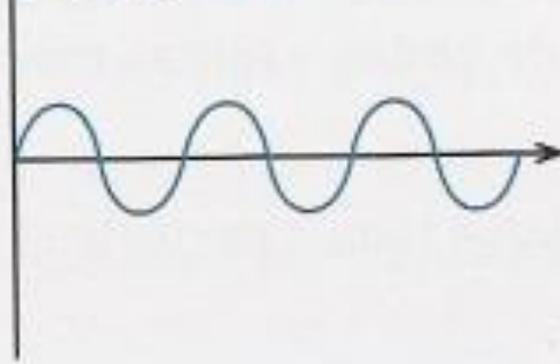


Repara!

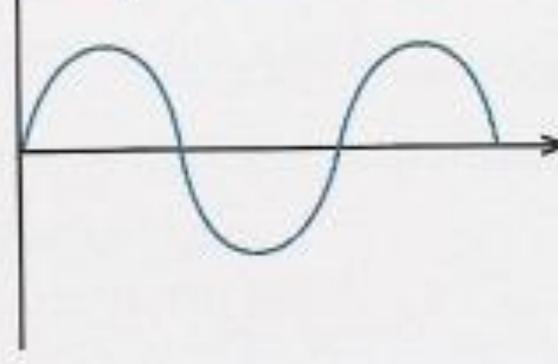
Som agudo e forte



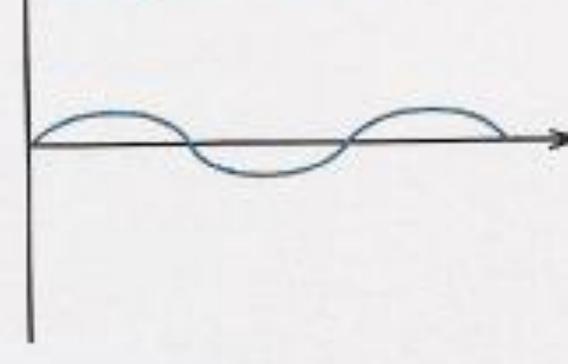
Som agudo e fraco



Som grave e forte



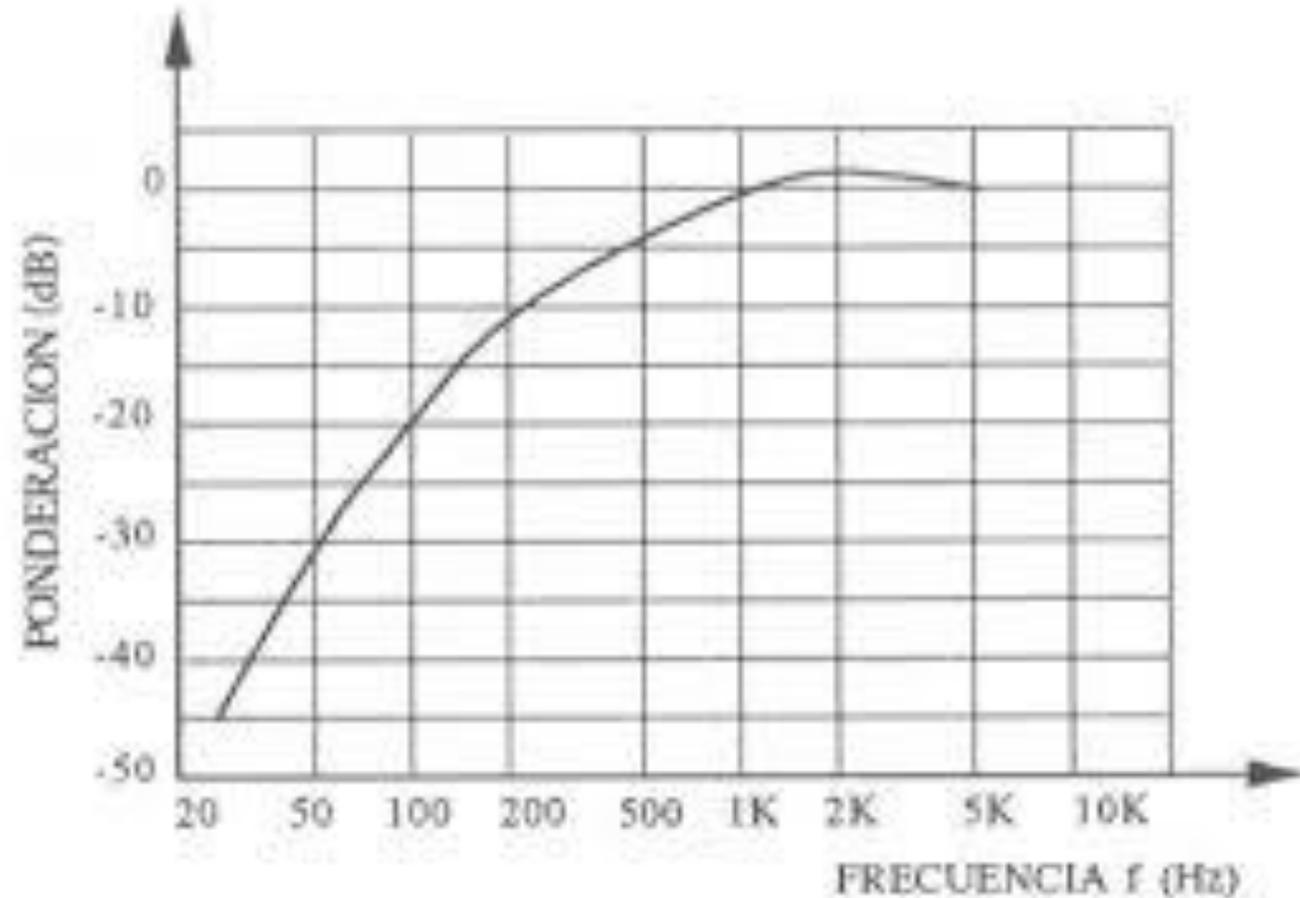
Som grave e fraco



# Conceitos básicos

## Aspectos físicos do som

- ▶ Intensidade
  - ▶ Para que um som com frequência de 1000 Hz possa ser ouvido é necessário 1 dB;
  - ▶ Para que um som com frequência de 40 Hz possa ser ouvido são necessários 40 dB;
    - ▶ NORMA DIN sugere frequência média de 550 Hz;





# OK! Mas o que é Hertz??

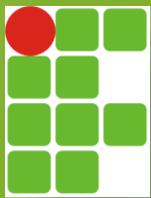
► São ciclos por segundo, ou seja, **FREQUÊNCIA**.

- T = tempo (s)
- c = velocidade de propagação do som (m/s)
- $\lambda$  = comprimento da onda (m)
- f = frequência (1/s ou s<sup>-1</sup>)

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Tempo	0,008 s	0,004 s	0,002 s	0,002 s	0,001 s	0,0005 s
$\lambda_{ar}$ (c=330m/s)	2,64m	1,32m	0,66m	0,33m	0,165m	0,0825m
$\lambda_{agua\ salgada}$ (c=1500m/s)	12,0m	6,0m	3,0m	1,5m	0,75m	0,375m



# O calor muda o som?

- ▶ Uma sala cheia no início de uma aula, o som tem uma velocidade.
- ▶ Depois de um tempo, a sala muda de temperatura a TODO o som aumenta sua velocidade.
  - ▶  $t$  = temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - ▶  $c$  = velocidade de propagação do som (m/s)

$$c = 331,40 + 0,607t$$

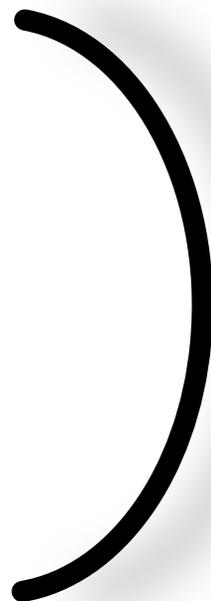


# Conceitos básicos

## Aspectos físicos do som

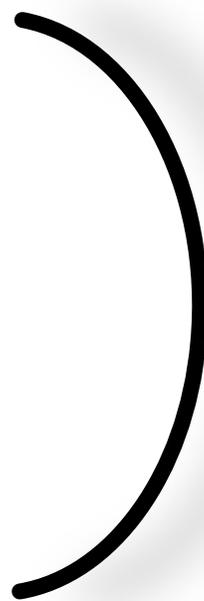


80dB



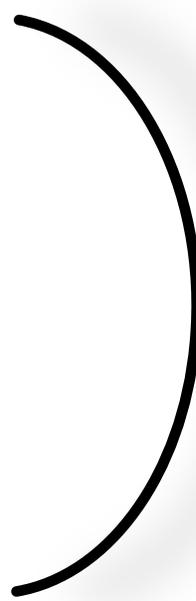
72dB

2m



64dB

4m



56dB

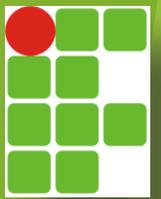
8m



48dB

16m

Cada vez que um ponto afastar o dobro da distância da fonte, seu nível de som cairá **8 dB** ou, inversamente se aproximar-se da fonte para a metade da distância, o seu nível sonoro dobrará;



# Conceitos básicos

## Aspectos físicos do som

- ▶ Diferença RUÍDO e SOM

- ▶ Ruído é um som, porem indesejável.

- ▶ Unidade

- ▶ Pressão Mínima (limiar da audição) –

$$2 \cdot 10^{-6} \text{ N/m}^2$$

- ▶ Pressão Máxima (limiar da dor) –

$$20 \text{ N/m}^2$$

Diferença 1.000.000 vezes

dB = decibel = relação de amplificação

- ▶ Escala logarítmica

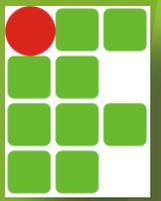
- ▶ Dobrando o valor, a percepção não é duas vezes mais intensa.
  - ▶ Uma diferença de 1 dB para mais ou para menos pode ser detectada pelo ouvido humano

O bel (B) é uma escala relativa (sem dimensão), que compara o quanto uma quantidade é superior ou inferior a algum valor de referência.

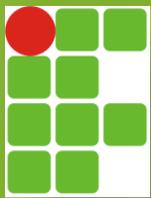
Homenagem ao Alexander Graham Bell (1847-1922), o inventor do telefone.

# Conceitos básicos

## Aspectos físicos do som



EXEMPLOS	NÍVEL PRESSÃO SONORO dB	PRESSÃO SONORA PRESSÃO $P$ $N/M^2 = Pa$	INTENSIDADE Watts/m <sup>2</sup>
Avião à jato a 50 m	140	200	100
Limite do Pânico	130	63.2	10
Limite do desconforto	120	20	1
Serra elétrica a 1m de distancia	110	6.3	0.1
Discoteca, 1 m do alto-falante	100	2	0.01
Caminhão diesel, 10 m de distância	90	0.63	0.001
Calçada de Via Movimentada, 5 m	80	0.2	0.0001
Aspirador de pó, distancia 1 m	70	0.063	0.00001
Voz em conversa normal, 1m	60	0.02	0.000001
Casa comum	50	0.0063	0.0000001
Biblioteca silenciosa	40	0.002	0.00000001
Quarto silencioso à noite	30	0.00063	0.000000001
Estúdio de TV em silêncio	20	0.0002	0.0000000001
Farfalhar de folhas ao vento	10	0.000063	0.00000000001
Limiar da audição	0	0.00002	0.000000000001



# Conceitos básicos

## Aspectos físicos do som

EXEMPLOS	NÍVEL PRESSÃO SONORO dB	INTENSIDADE Watts/m <sup>2</sup>
Nível mínimo, murmurar	20	0.0000000001
Homem conversando tranquilamente	30	0.000000001
Mulher conversando tranquilamente	25	0.000000000315
Homem conversando naturalmente	55	0.000000315
Mulher conversando naturalmente	50	0.0000001
Homem falando em publico, sem esforço	65	0.001
Mulher falando em publico, sem esforço	60	0.000001
Homem falando em publico, com esforço	75	0.0000315
Mulher falando em publico, com esforço	70	0.00001
Grito de homem	85	0.0035
Grito de mulher	80	0.0001
Canto de um profissional	80	0.0001

# Conceitos básicos

## Aspectos físicos do som

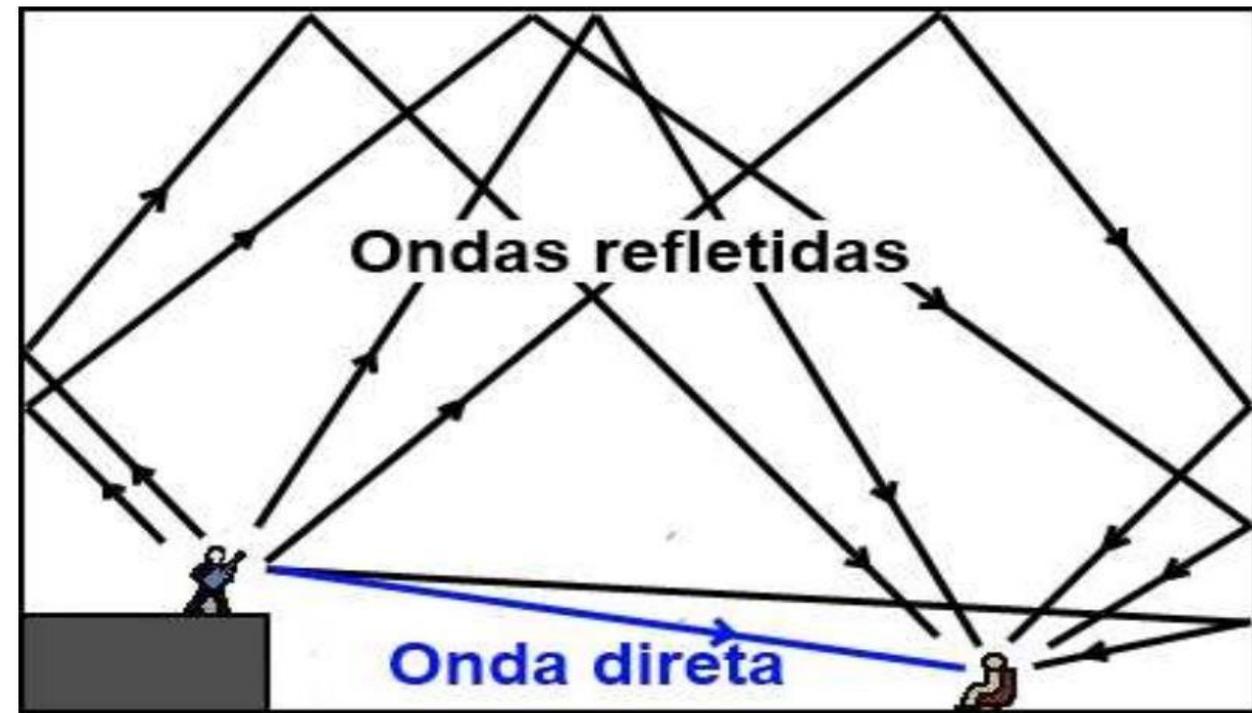
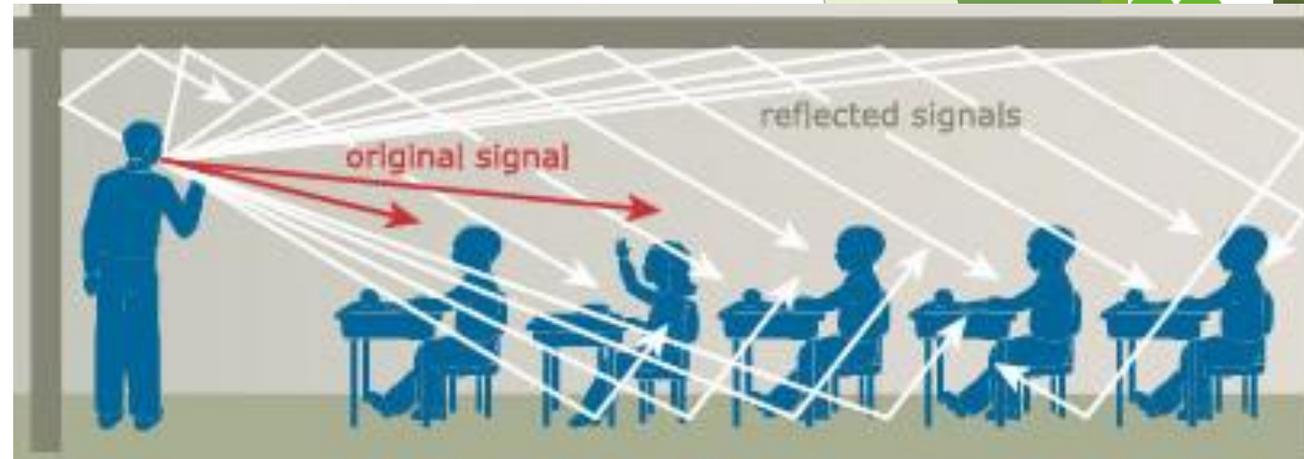
### ▶ Salas acústicas

- ▶ Salas de conferencia ou sala de aula
  - ▶ São locais onde a voz se mantém uniforme, sem altos e baixos, ou seja tem uma **frequência** uniforme.
- ▶ Teatros e salas de concerto
  - ▶ A voz é o instrumento para o sentimento, uma emoção, de forma que a voz tenha que atingir todos os níveis possíveis.

### ▶ Ambientes abertos

- ▶ Basicamente estudamos o ruído.
  - ▶ Tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo
  - ▶ Indústria e Construção
  - ▶ Entretenimento e lazer

### ▶ Residência





# CONCEITOS TÉCNICOS DO SOM

# Conceitos técnicos

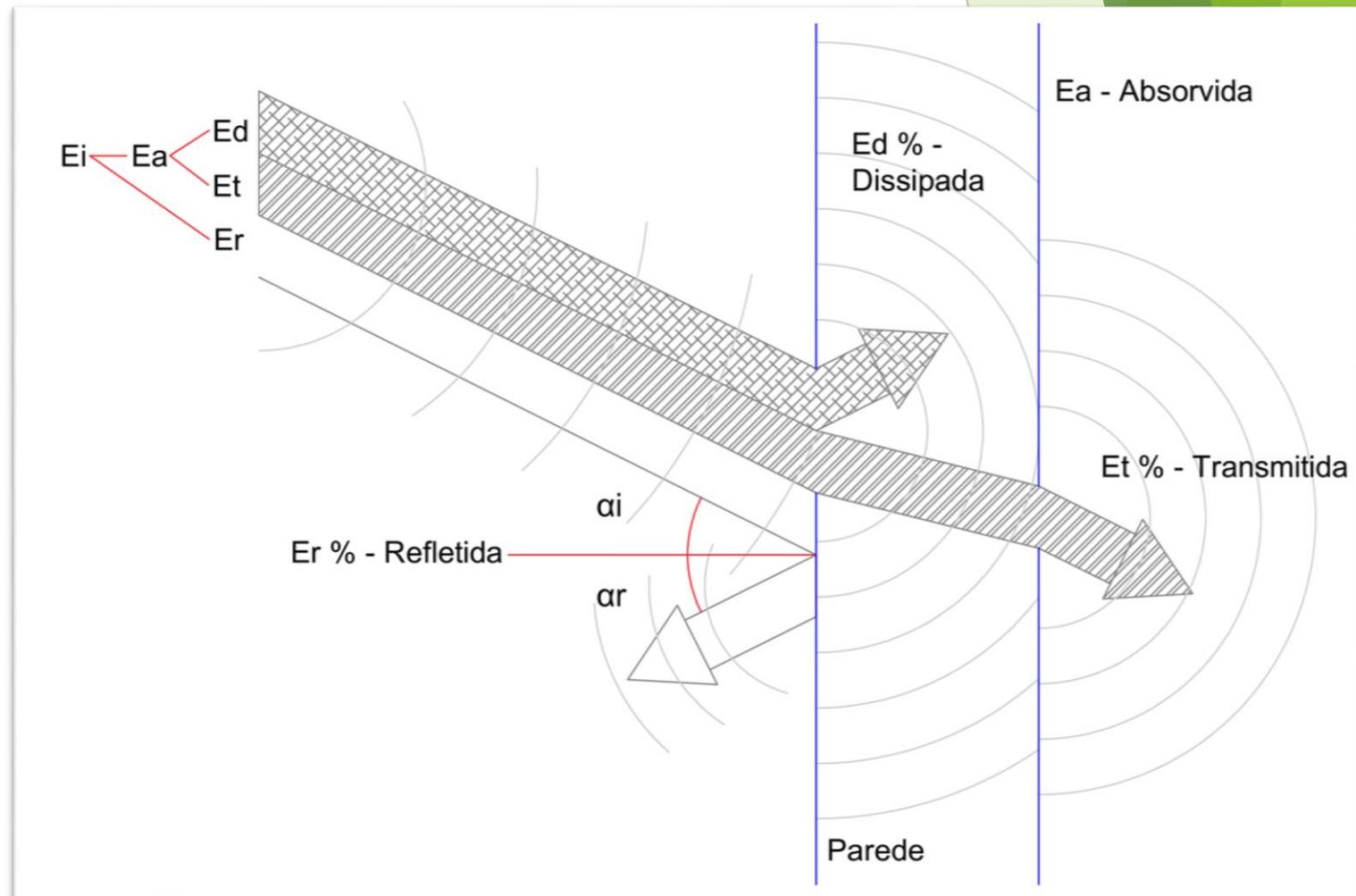
## Comportamento do som

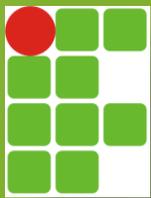
- ▶ Coeficiente de Reflexão;
- ▶ Coeficiente de Transmissão;
- ▶ Coeficiente de Absorção – varia de 0 a 1;

$$E_i = E_a + E_r$$

$$E_i = E_d + E_t + E_r$$

Obs.:  $\alpha_i = \alpha_r$





# Conceitos técnicos

## Comportamento do som – Reverberação

- ▶ A reverberação incide de três modos na distribuição do som no ambiente:
  - ▶ O som reverberante não coincide com o som direto em virtude da absorção nos diferentes materiais de construção;
  - ▶ A distribuição espacial do som não é homogênea uma vez que os materiais absorventes não estão distribuídos homogeneamente no ambiente (por exemplo, concentrados nas paredes);
  - ▶ O som reverberante persiste um certo tempo no local, depois da supressão da fonte sonora.
- ▶ Existe uma unidade comparativa para medir a reverberação, definida como o tempo necessário para um som diminuir sua intensidade à milionésima parte a partir do momento em que cessa a fonte sonora. Esse decréscimo corresponde a uma redução de 60 dB.



# Conceitos técnicos

## Comportamento do som – Reflexão

► Material com propriedade de refletir totalmente o som:

► Toda a onda sonora que incide em uma parede tem uma parte absorvida, porém, quando temos o material ideal pesado, indeformável, plano e liso, sofrem reflexão.

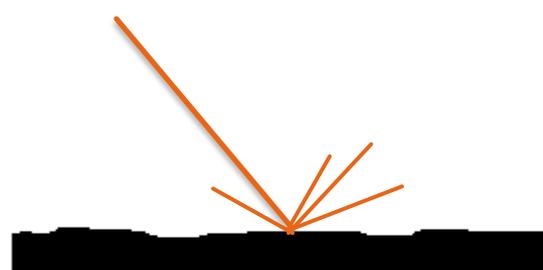
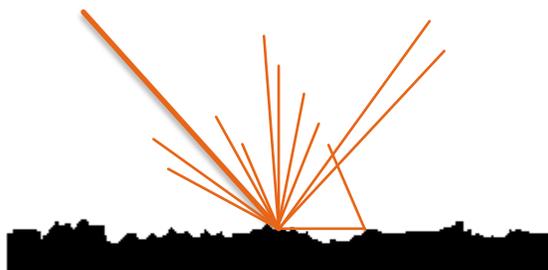
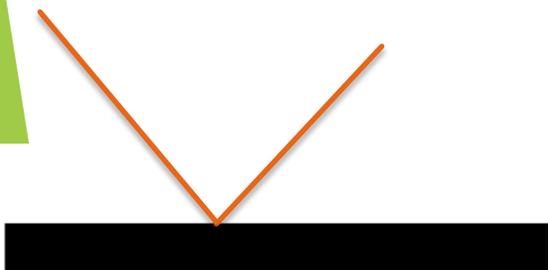
- $E_a = 0\%$
- $E_r = 100\%$



(Fonte da imagem: [Reprodução/Universidade de Stamford](#))

► Material com propriedade de absorver totalmente o som:

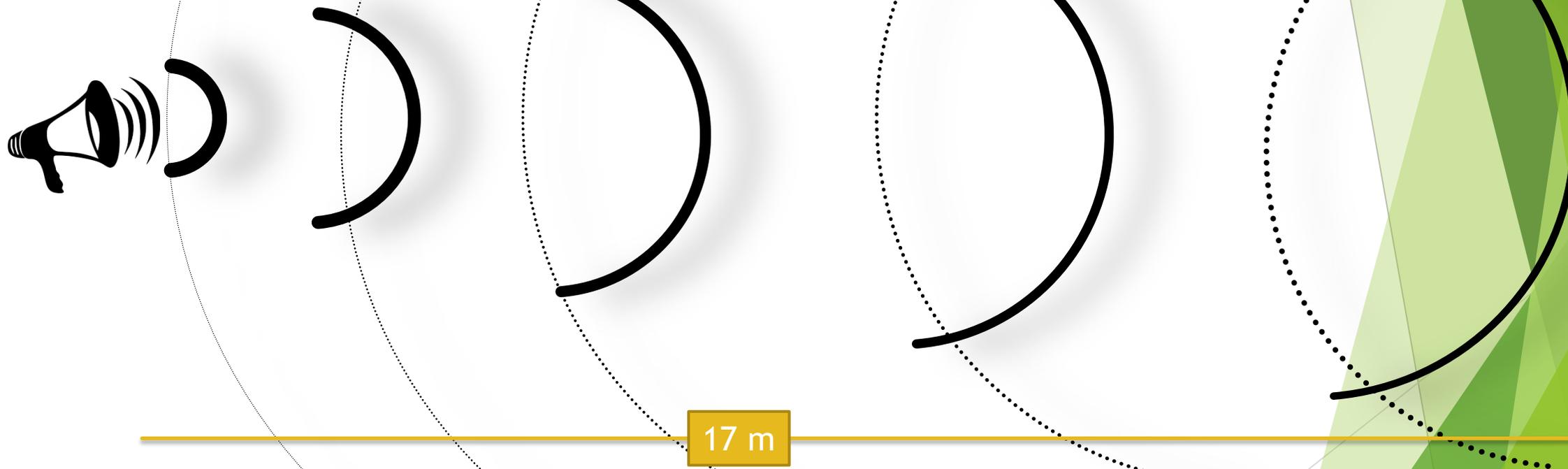
- Câmara anecoica
  - $E_a = 100\%$
  - $E_r = 0\%$





# Conceitos técnicos

## Comportamento do som – Reflexão

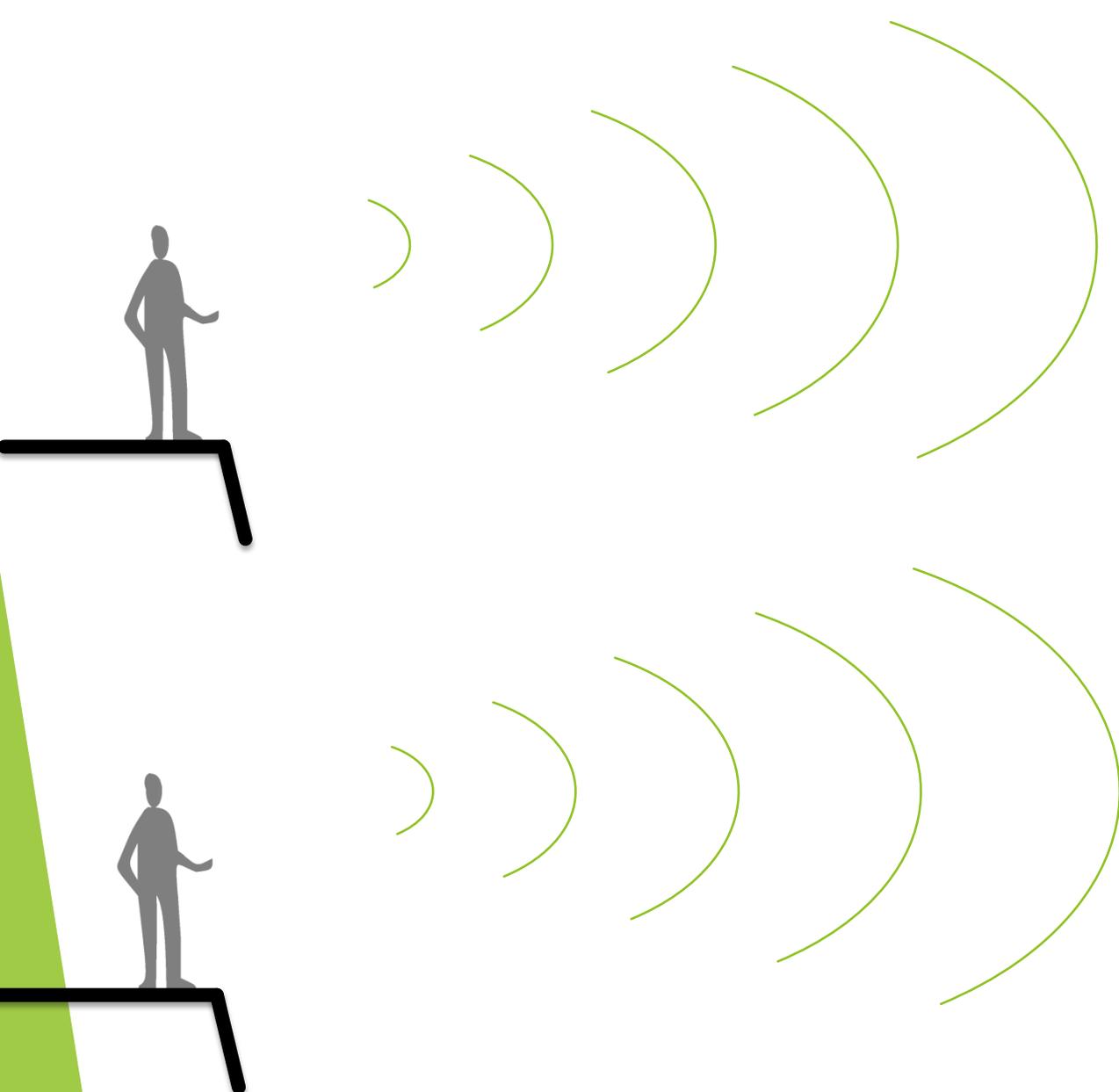


17 m

Como o som percorre 340m/s e a distancia da fonte com a barreira é 17m, qual o tempo que leva para retornar o som a fonte?  
Se for menor que 1/10s não temos ECO.

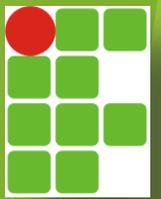


# Diferença entre ECO e REVERBERAÇÃO



ECO  
 $>0,1s$

REVERBERAÇÃO  
 $<0,1s$



Meio Material	Temperatura	Velocidade (m/s)
<b>Gasosos</b>		
→ ar seco (1 atm.)	0°C	331
ar seco (1 atm.)	35°C	340
hidrogénio	25°C	1270
dióxido de carbono	25°C	258
hélio	25°C	972
<b>Líquidos</b>		
água	8°C	1493
água salgada	25°C	1533
glicerol	25°C	1904
mercúrio	25°C	1450
<b>Sólidos</b>		
ferro	-	5950
→ alumínio	-	6420
cobre	-	5010
ouro	-	3240
borracha	-	1600



# Conceitos técnicos

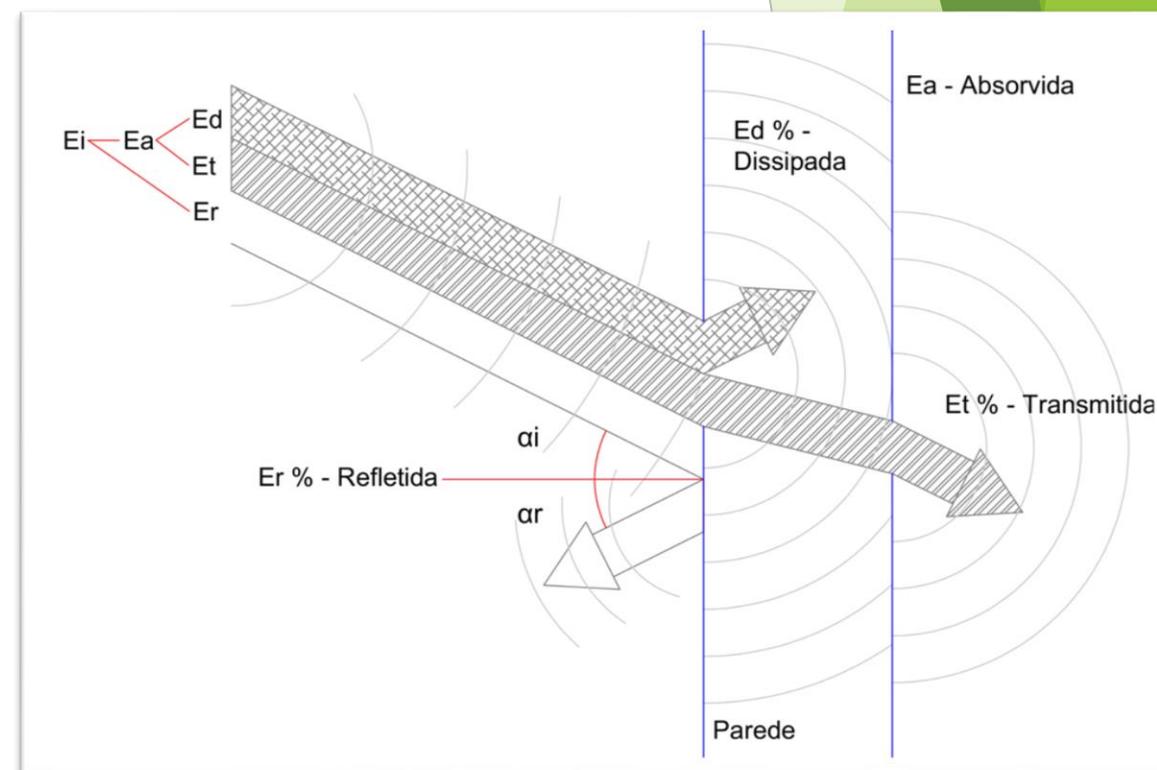
## Comportamento do som – Absorção

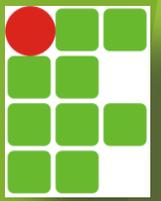
- ▶ Nenhuma parede é perfeitamente refletora das ondas sonoras e, portanto, uma parcela da energia incidente é absorvida pelo material constituinte da parede.

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i}$$

$E_a$  - energia absorvida pelo material  
 $E_i$  - energia incidente no material.

- ▶ Fatores que influenciam diretamente  $\alpha$ :
  - ▶ Tipo de material (meio) – densidade e estrutura interna
  - ▶ Frequência da onda sonora incidente
  - ▶ Ângulo de incidência da onda sonora
  - ▶ Condições de montagem do material (espessura, modo de fixação, etc..)





# Conceitos técnicos

## Comportamento do som – Absorção

- ▶ Os materiais de construção são seletivos quanto às frequências de sons que absorvem.
- ▶ Conhecendo as frequências mais constantes ou mais impactantes, pode-se otimizar e/ou corrigir os tempos de reverberação de ambientes construídos.
- ▶ Os materiais absorventes acústicos, mais comuns, são de baixa densidade:
  - ▶ Materiais porosos, diretamente expostos: lã de vidro ou lã de rocha, feltro, espumas de poliestireno, poliuretano, etc.;
  - ▶ Materiais porosos recobertos por chapas perfuradas: os anteriores, combinados com chapas de gesso, lâminas metálicas, madeira e similares;
  - ▶ De aplicação direta com pistola sobre a parede ou teto: espumas de resinas específicas (poliuretano, fenol, etc..) com ou sem cargas (pérolas de poliestireno expandido, vermiculita, cortiça, etc..);
  - ▶ Chapas pré-fabricadas, perfuradas ou não: chapas de gesso, de fibras de madeira, de aglomerados de gesso, de cortiça, etc..

Materiais/Produtos/Componentes	Frequências (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Revestimento espaçado 5 cm da parede	0,25	0,20	0,10	0,05	0,02	0,02
Vidraça de janela	-	0,04	0,03	0,02	-	-



# Conceitos técnicos

## Comportamento do som – Transmissão

- ▶ Nenhuma parede é um isolante perfeito.
- ▶ Quando uma onda sonora atinge a parede, esta vibra, invisivelmente. Ou seja, quando o som “bate” na parede de um lado, a vibração transmite o som para dentro.
- ▶ OBS: quanto trocamos um revestimento menos absorvente para outro mais absorvente, a parcela refletida é diminuída, porém a parcela transmitida é a mesma. Isso é o erro mais comum quando trocamos um revestimento mais absorvente para reduzir a energia transmitida através de uma parede.

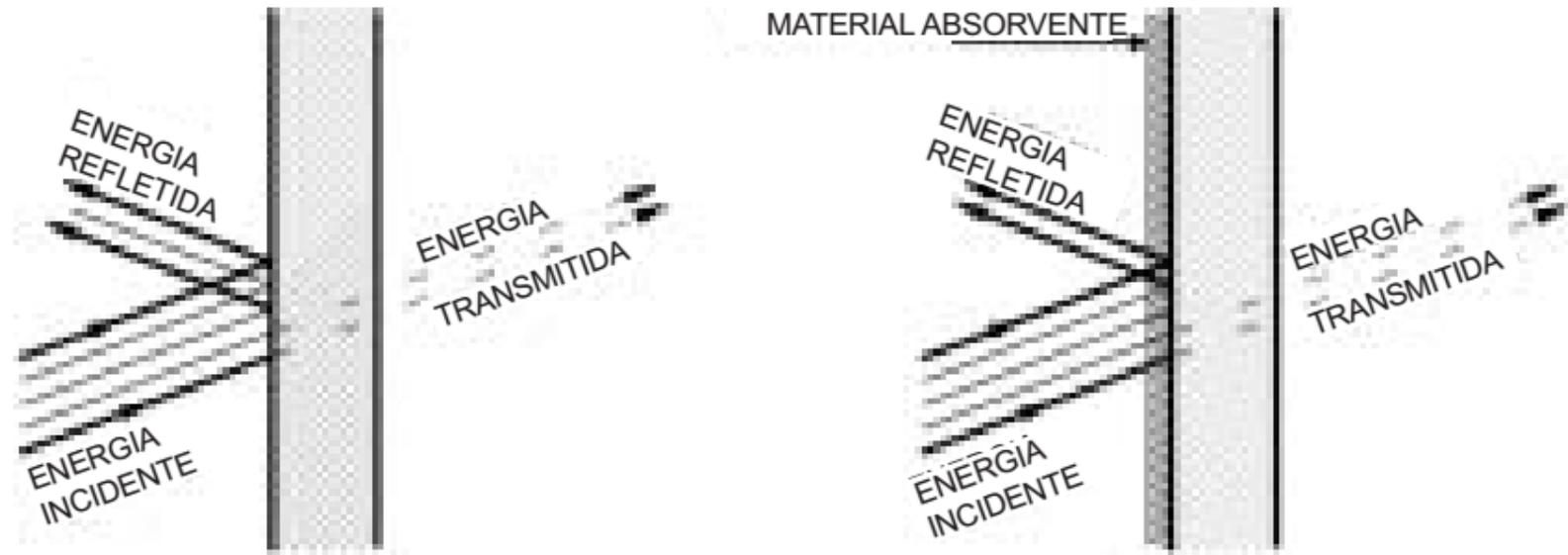


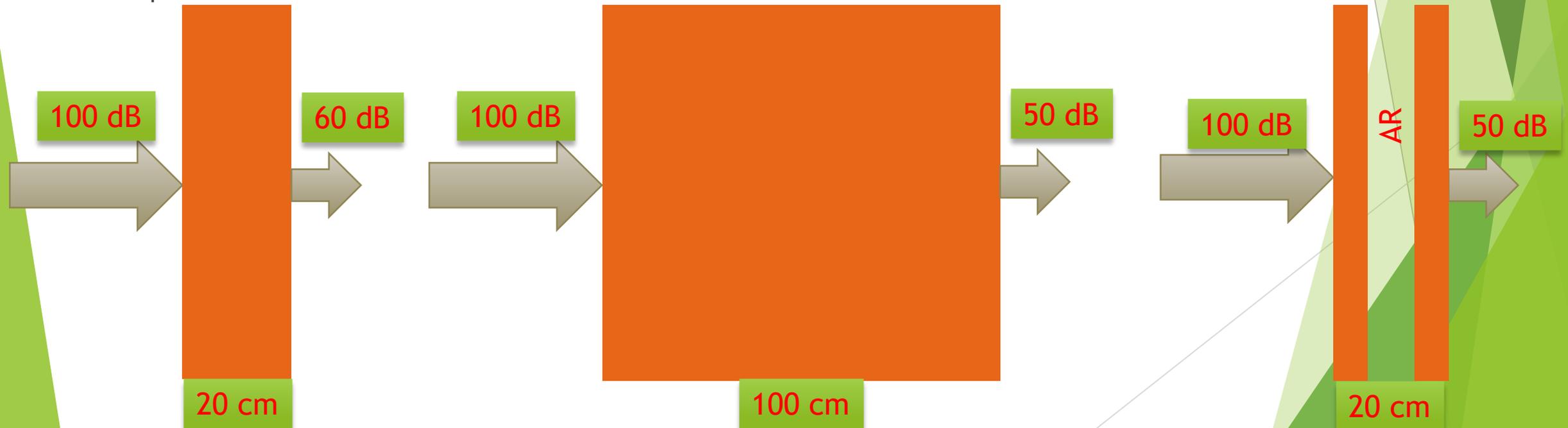
FIGURA 8 – Incidência e transmissão de ondas sonoras



# Conceitos técnicos

## Comportamento do som – Isolamento

- ▶ São materiais que formam uma barreira impedindo que a onda sonora passe de um ambiente a outro.
- ▶ Quanto mais leve a parede, mais facilmente passa a vibrar.
- ▶ As paredes devem ser suficientemente pesadas, pois quanto maior for a massa, mais dificilmente entrarão em vibração.
- ▶ A contrapartida a paredes pesadas para isolamento sonoro é alcançada facilmente por sistemas de paredes leves multicamadas.





# Conceitos técnicos

## Comportamento do som – exemplo



**Carro 70 dB**

**Caminhão 80 dB**

**Caminhão 80dB + Carro 70dB = 150dB**

$$NIS = 10 \log \frac{I}{I_0} (\text{dB})$$

NIS - nível de intensidade sonora

I - intensidade sonora em  $\text{W/m}^2$

$I_0$  - intensidade sonora de referência =  $10^{-12} \text{ W/m}^2$

$$70\text{dB} = 10 \cdot \log_{10} \frac{I_1}{I_0}, \text{ assim } \frac{I_1}{I_0} = 10^7$$

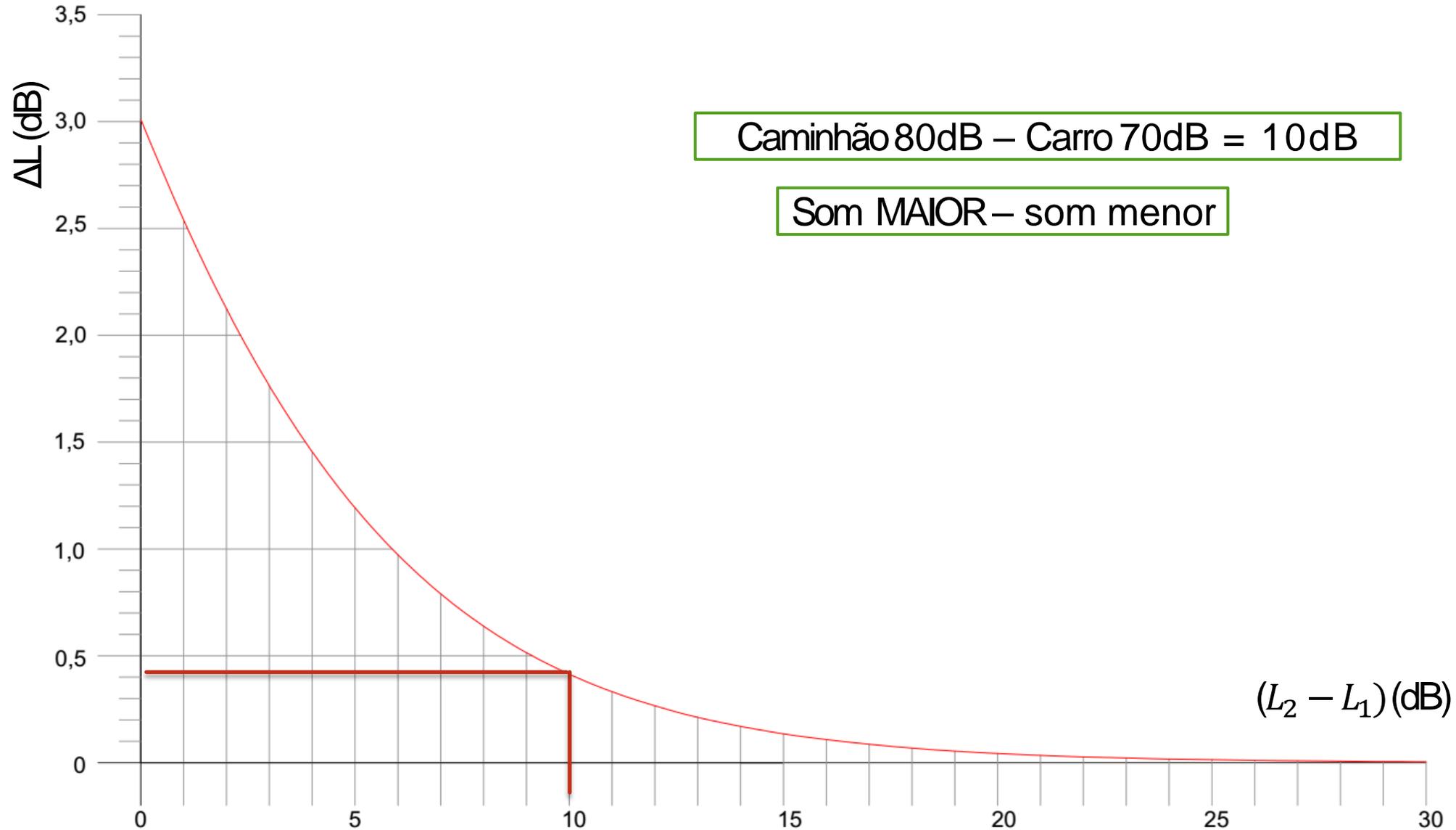
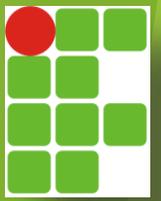
$$80\text{dB} = 10 \cdot \log_{10} \frac{I_2}{I_0}, \text{ assim } \frac{I_2}{I_0} = 10^8$$

$$NIS = 10 \cdot \log_{10} (10^7 + 10^8)$$

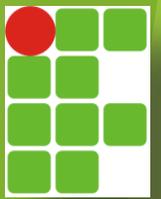
$$NIS = 80,41\text{dB}$$

# Conceitos técnicos

## Comportamento do som – Isolamento



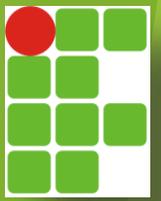
# Roteiro para desenvolvimento do tratamento



1. Cálculo do Tempo de Reverberação
  - ▶ NBR 12179 (auditórios, salas de conferência, escritórios, igrejas, ambientes onde é desejado o controle do ruído)
2. Estudo da Morfologia do Local e Estudo Geométrico Acústico
3. Materiais, usos, aplicações e estratégias



# Cálculo do Tempo de Reverberação



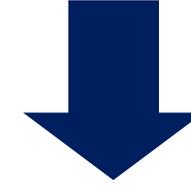
# Tratamento acústico

## Roteiro para desenvolvimento do tratamento



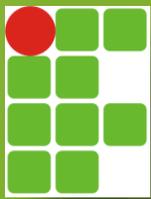
### **CONDICIONAMENTO ACÚSTICO**

Estudo morfológico do ambiente;  
Definição de revestimentos;  
Estudo da forma;  
Estudo das direções dos raios sonoros;  
Inteligibilidade da palavra;  
Correção de fenômenos acústicos;



### **ISOLAMENTO ACÚSTICO**

Bloqueio e/ou amortecimento  
da onda sonora;  
Definição da configuração do  
envelope;  
Compatibilização de sistemas;  
Definição de aberturas;  
NBR 10152



# Tratamento acústico

## 1 - Cálculo do Tempo de Reverberação

- ▶ O tempo de reverberação é medido como o tempo necessário para que o som sofra um decréscimo de 60dB.
- ▶ Cálculo do tempo de reverberação:

- ▶ Formula de SABINE para  $\alpha \leq 0,3$

$$t_r = \frac{0,161 \cdot V}{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots}$$

- ▶  $t_r$  - tempo de reverberação (s)
- ▶ V – volume do recinto ( $m^3$ )
- ▶ S – áreas da superfície do recinto ( $m^2$ )
- ▶  $\alpha$  – coeficiente de absorção sonora

- ▶ Formula de EYRING para  $\alpha \geq 0,3$

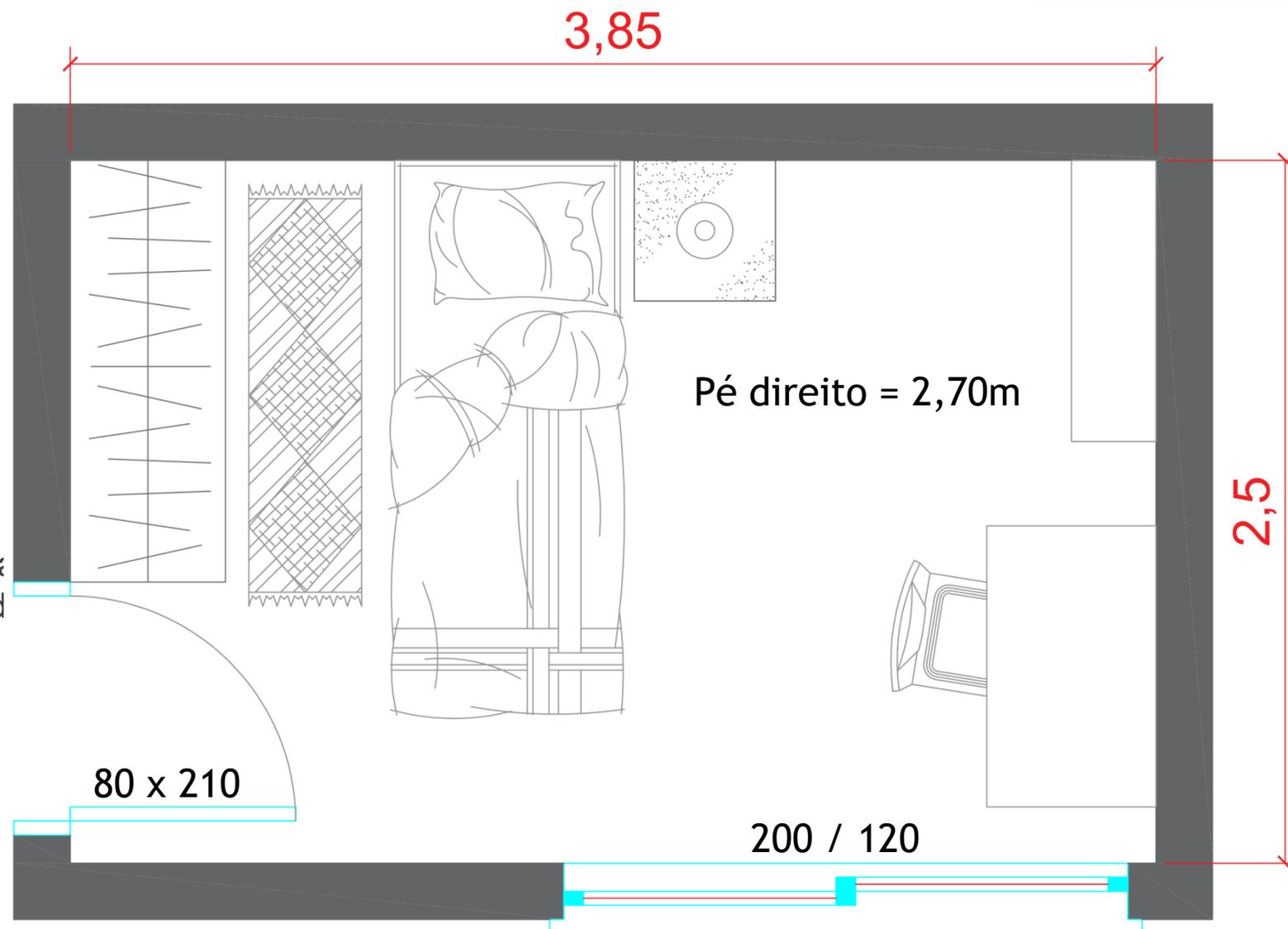
$$t_r = \frac{0,161 \cdot V}{-2,3 S \log(1 - \alpha_m)}$$

- ▶  $t_r$  - tempo de reverberação (s)
- ▶ V – volume do recinto ( $m^3$ )
- ▶ S – área total das paredes do recinto ( $m^2$ )
- ▶  $\alpha$  – coeficiente médio ponderado de absorção sonora das varias superfícies interiores do recinto e demais elementos absorventes nele contidos do tipo espectadores, cadeiras, mesas etc.

# Exercício - Cálculo de reverberação



- ▶ Forro de lambri
- ▶ 1 pessoa
- ▶ Paredes reboco
- ▶ Piso madeira
- ▶ Porta madeira
- ▶ Esquadria vidro
- ▶ Cortina na esquadria
- ▶ Móvel:
  - ▶ Guarda roupas madeira; tapete, cama solteiro, bidê vidro, mesa desenho madeira, prateleira madeira





<b>Materiais/Produtos/Componentes</b>	<b>Frequências (Hz)</b>					
	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
<b>Materiais de construção usuais, densos</b>						
<b>Revestimento, pintura</b>						
Reboco áspero	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Teto pesado suspenso (de gesso)	0,02	-	0,03	-	0,05	-
Estuque	0,03	-	0,04	-	0,07	-
Superfície de concreto	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Revestimentos de pedras	0,02	-	0,05	-	0,07	-
Chapas de mármore	0,01	0,01	0,01	-	0,02	-
Revestimento aderente de vidro	0,04	-	0,03	-	0,02	-
Revestimento espaçado 5 cm da parede	0,25	0,20	0,10	0,05	0,02	0,02
Vidraça de janela	-	0,04	0,03	0,02	-	-
<b>Assoalhados</b>						
Tapetes de borracha	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Taco colado	0,04	0,04	0,06	0,12	0,10	0,17
Carpete de 5 mm de espessura	0,04	0,04	0,15	0,29	0,52	0,59
Carpete de veludo	0,05	0,06	0,10	0,24	0,42	0,60
Carpete 5 mm sobre base de feltro de 5mm	0,07	0,21	0,57	0,68	0,81	0,72



Materiais/Produtos/Componentes	Frequências (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Materiais porosos e isolantes</b>						
<b>a) Fibras Naturais</b>						
Feltro de fibra natural, 5mm, diretamente na parede	0,09	0,12	0,18	0,30	0,55	0,59
Chapa acústica macia, de fibra perfurada ranhurada, com espaço de 5 cm da parede (esp. 12 mm de gesso)	0,20	0,36	0,31	0,34	0,46	0,62
Chapa acústica macia, diretamente na parede	0,03	0,14	0,27	0,40	0,52	0,63
<b>b) Minerais</b>						
Parede de pedra-pomes de 100 mm, sem revestimento	0,03	0,17	0,26	0,50	0,56	0,68
<b>c) Materiais sintéticos</b>						
Espuma de uréia, 50 mm, 15 kg/m <sup>3</sup> , diretamente em parede densa	0,12	0,20	0,45	0,65	0,70	0,75
Chapa absorvente microporosa, espaçada da parede a 50 mm	0,37	0,70	0,59	0,54	0,59	0,62
Folha absorvente fina, microporosa, a 50 mm da parede, espaço vazio	0,04	0,15	0,52	0,95	0,93	0,58



<b>Materiais/Produtos/Componentes</b>	<b>Freqüências (Hz)</b>					
	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
<b>Móveis/tecidos/humanos</b>						
Uma pessoa com cadeira	0,33	-	0,44	-	0,46	-
Público por pessoa, em fileiras fechadas	0,28	-	0,40	-	0,44	-
Cadeira estofada, chata, com tecido	0,13	-	0,20	-	0,25	-
Tecido de algodão, esticado liso	0,04	-	0,13	-	0,32	-
Tecido de algodão, esticado liso, 50/150mm, na frente de parede lisa	0,20	-	0,38	-	0,45	-
Cortina grossa, drapeada	0,25	-	0,40	-	0,60	-
Público em ambientes muito grandes, por pessoa	0,13	0,31	0,45	0,51	0,51	0,43
<b>Portas/janelas/aberturas</b>						
Janela aberta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Portas de madeira, fechadas	0,14	-	0,06	-	0,10	-



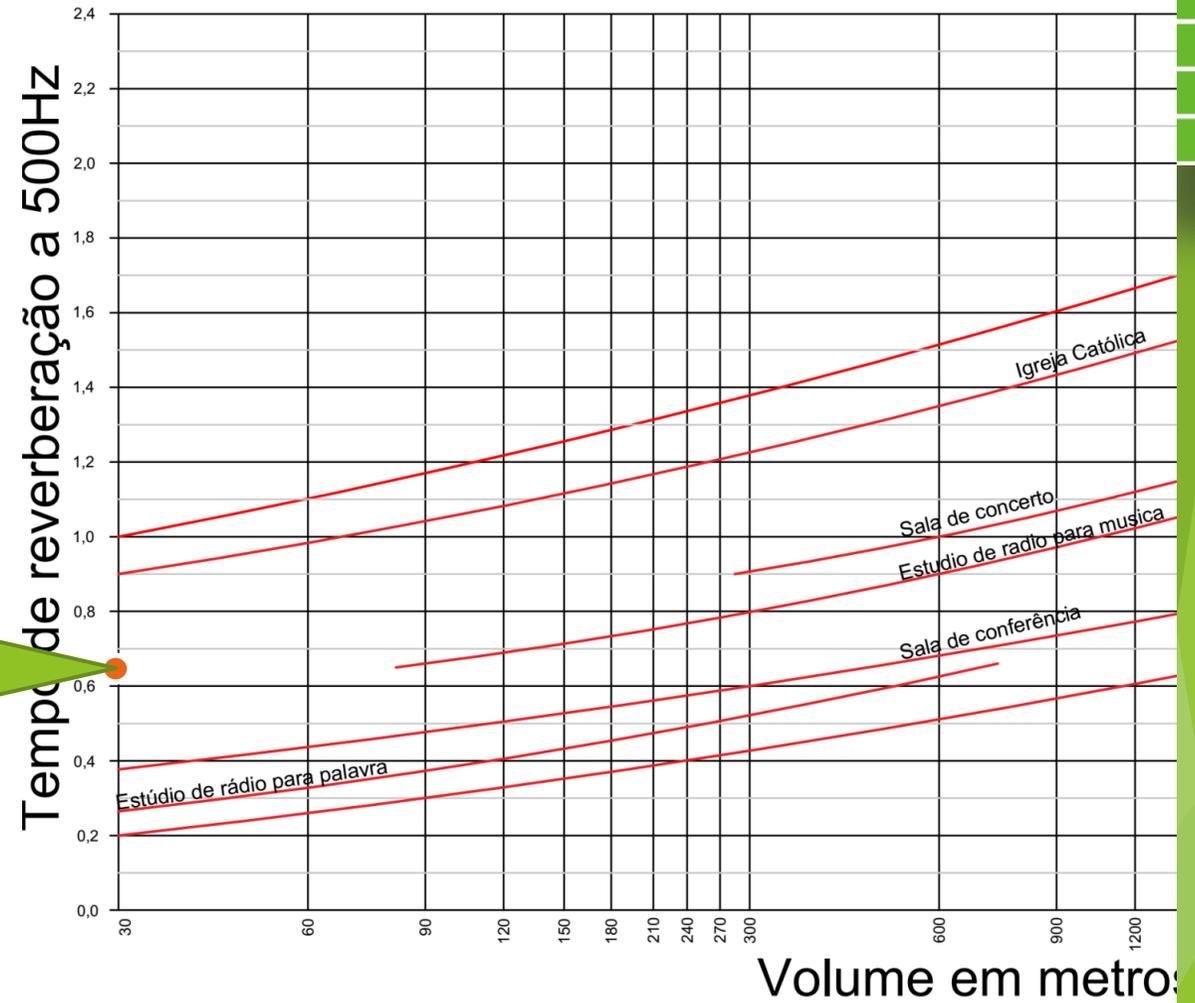
Materiais/Produtos/Componentes	Frequências (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Co-vibradores (chapas densas e folhas)</b>						
Madeira compensada de 3 mm, a 50 mm da parede, espaço vazio	0,25	0,34	0,18	0,10	0,10	0,06
Madeira compensada de 3 mm, a 50 mm da parede, espaço preenchido com lã mineral	0,61	0,65	0,24	0,12	0,10	0,06
Lã mineral de 50 mm, coberta de papelão denso	0,74	0,54	0,36	0,32	0,30	0,17
<b>Sistemas absorventes especiais</b>						
Caixões de chapa perfurada, com chapas de feltro de lã de vidro de 30 mm, suspensos a 180 mm	0,30	0,43	0,61	0,62	0,85	0,66
Chapa perfurada, forrada de lã de vidro na frente, com 40 a 50 mm de espaço vazio	0,01	0,03	0,10	0,16	0,17	0,20
Chapa perfurada de 3 mm, proporção de furos cada 16%, forrada c/lã mineral de 0,5 mm na frente, com 45 a 50 mm de espaço vazio	0,01	0,10	0,19	0,25	0,46	0,21

Material	Coeficiente Absorção ( $\alpha$ )	Área (S)	S x $\alpha$
Forro			
Pessoa			
Parede			
Piso			
Porta			
Esquadria			
Cortina			
Guarda roupas			
Tapete			
Cama			
Bidê			
Cadeira			
Mesa			
Prateleira			
TOTAL			

$$t_r = \frac{0,161 \cdot V}{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots}$$

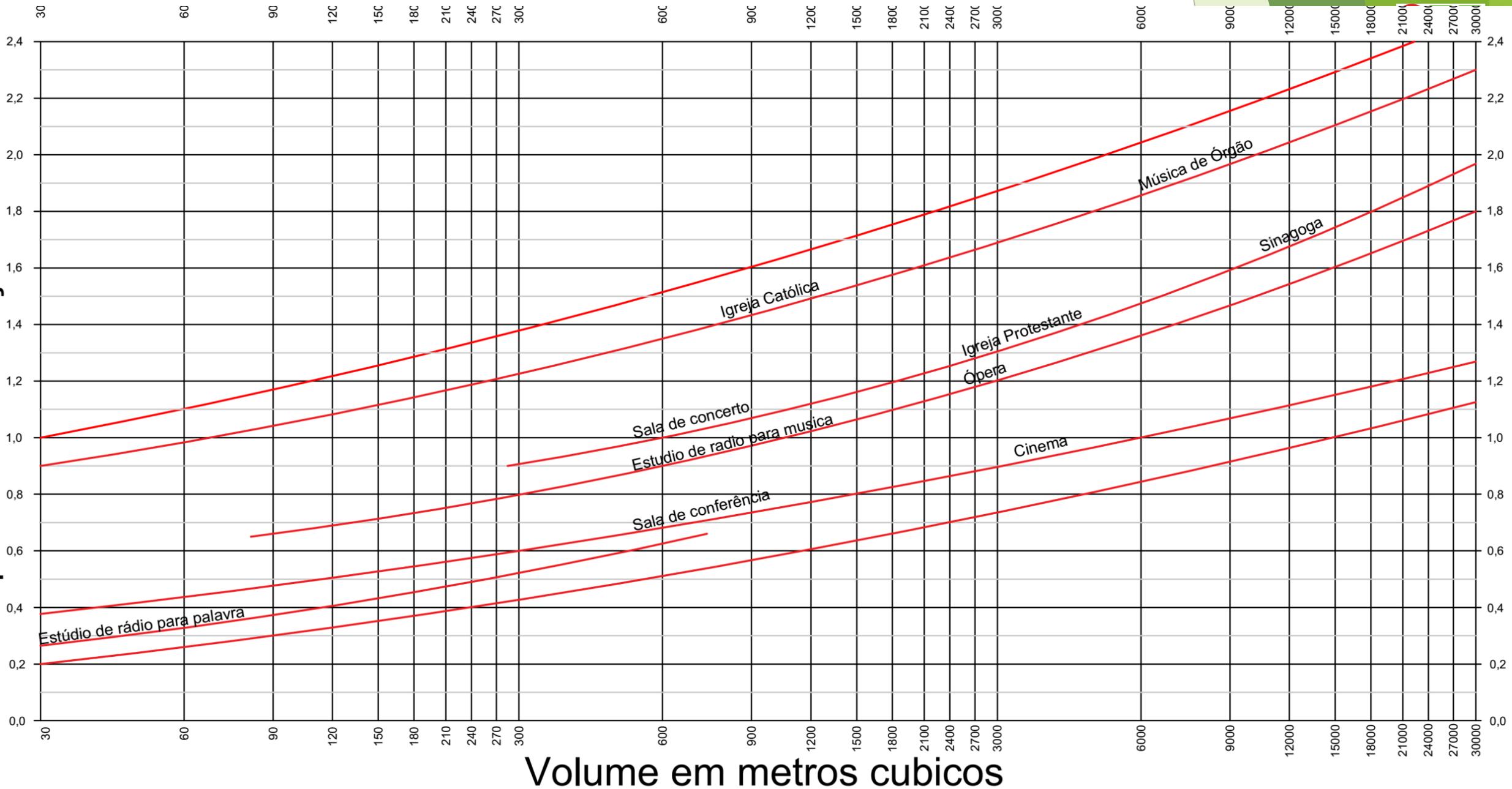
$$t_r = \frac{0,161 \times 25,9875}{6,848}$$

$$t_r = 0,611s$$

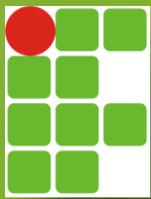


Pela norma, a sala está apta a ser uma igreja ou uma sala para musica de órgão.

Tempo de reverberação a 500Hz



- ▶ Tendo o  $t_r$  em mãos, compara-se ao gráfico ao lado.
- ▶ A diferença  $t_o - t_r$  deve ser a menor possível.



# Tratamento acústico

## Cálculo da absorção

- ▶ Reverberação

$$t_r = \frac{0,161 \cdot V}{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots}$$



$$\text{Absorção} = \sum (\alpha_i \cdot S_i) + \sum (\alpha_i \cdot n_i)$$

- ▶ Para “concertar” o ambiente, devemos aumentar a absorção para alcançar o tempo ideal de reverberação



Tipo de edifício	Local	Tempo de reverberação recomendado
Residencial	Áreas de estar Dormitórios Serviços Zonas comuns	< 1,0 s < 1,0 s < 1,0 s < 1,5 s
Serviços administrativos e oficinas	Escritórios Lojas Zonas comuns	< 1,0 s < 1,0 s < 1,5 s
Centro de saúde	Estar Dormitório Zonas comuns	< 1,0 s < 1,0 s < 1,5 s
Educativa	Aulas Sala de leitura Zonas comuns	0,8 s < Tr < 1,5 s 0,8 s < Tr < 1,5 s 1,5 s < Tr < 2,0 s

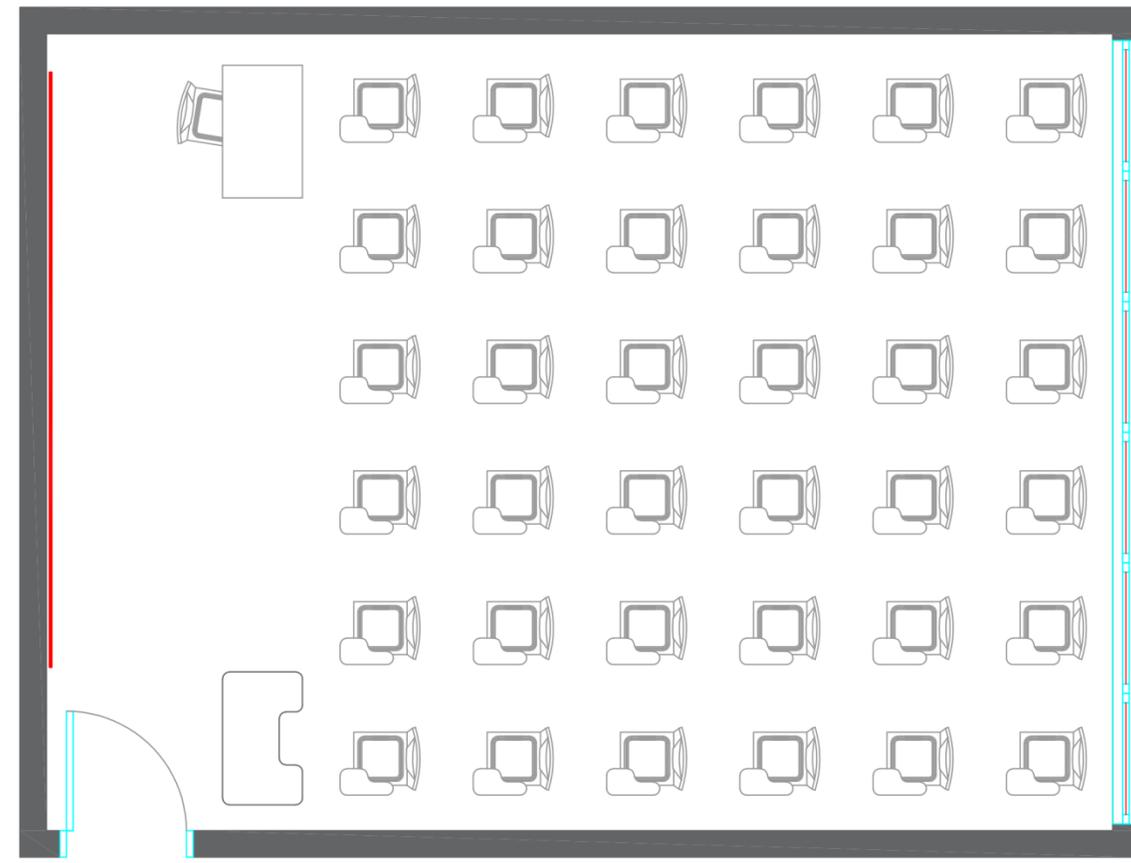
# Exercício - Cálculo de reverberação

## Sala de aula

Material	Coefficiente Absorção ( $\alpha$ )	Área (S)	S x $\alpha$
Forro			
Pessoa			
Parede			
Piso			
Porta			
Esquadria			
Cortina			
Cadeiras			
Mesas			
Quadro Branco			
TOTAL			

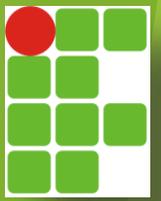
Calcule a TR da nossa sala de aula e logo faça uma proposta de readequação.

$$0,8s < Tr < 1,5s$$



# Trabalho 1 - Cálculo de reverberação

## Sala de aula



- ▶ Grupo 1
  - ▶ 701 - Contando esquadrias e mobília. Tr sala vazia e Tr sala cheia
- ▶ Grupo 2
  - ▶ 707 - Contando esquadrias e mobília. Tr sala vazia e Tr sala cheia
- ▶ Grupo 3
  - ▶ 712 - Contando esquadrias e mobília. Tr sala vazia e Tr sala cheia
- ▶ Grupo 4
  - ▶ 401 - Contando esquadrias e mobília. Tr sala vazia e Tr sala cheia
- ▶ Grupo 5
  - ▶ Sala de refeições do bar - Contando esquadrias e mobília. Tr sala vazia e Tr sala cheia
  
- ▶ Comente a relação entre o uso da sala e o ábaco da norma.
- ▶ Proponha uma melhoria.
- ▶ Entrega dia \_\_\_\_/\_\_\_\_



# Estudo da Morfologia do Local e Estudo Geométrico Acústico

# Tratamento acústico

## 2 - Estudo da Morfologia e Geométrico



Figura 14  
Auditório retangular

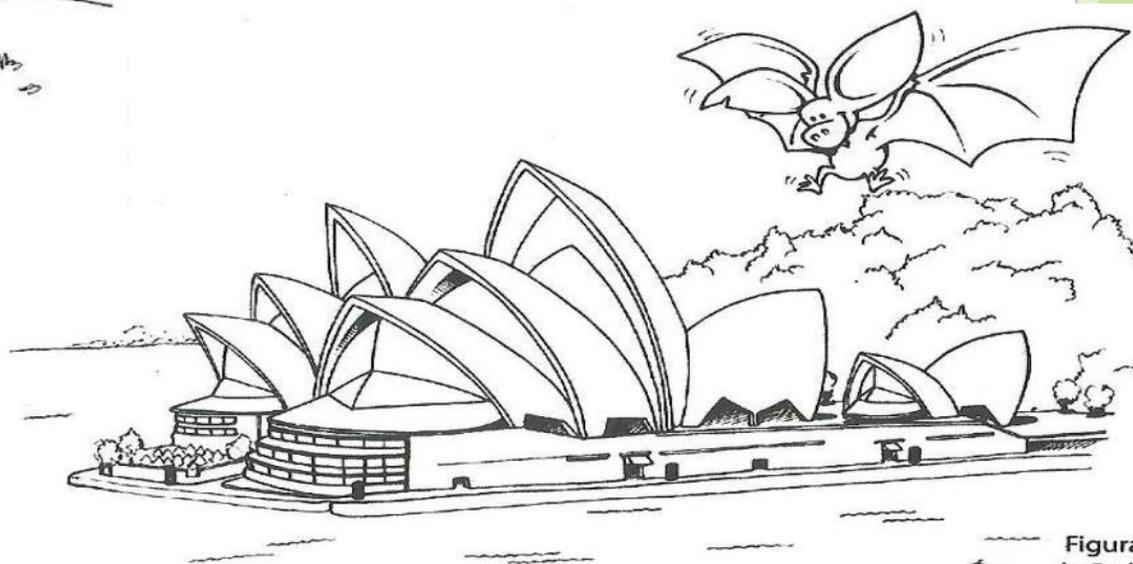
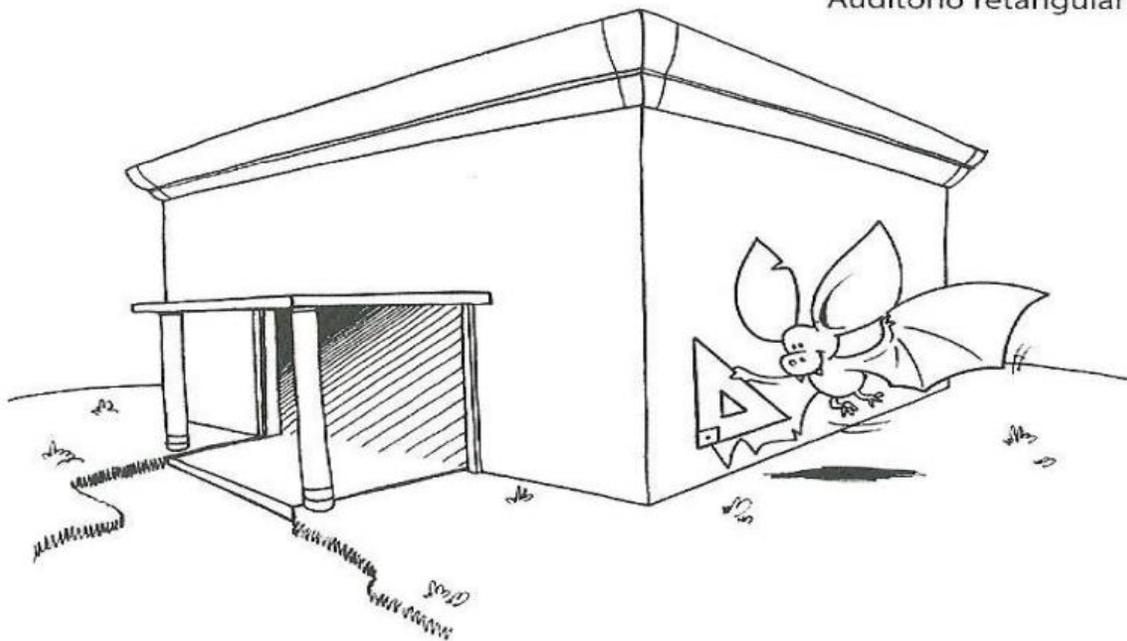


Figura 15  
Ópera de Sydney

# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – reflexão

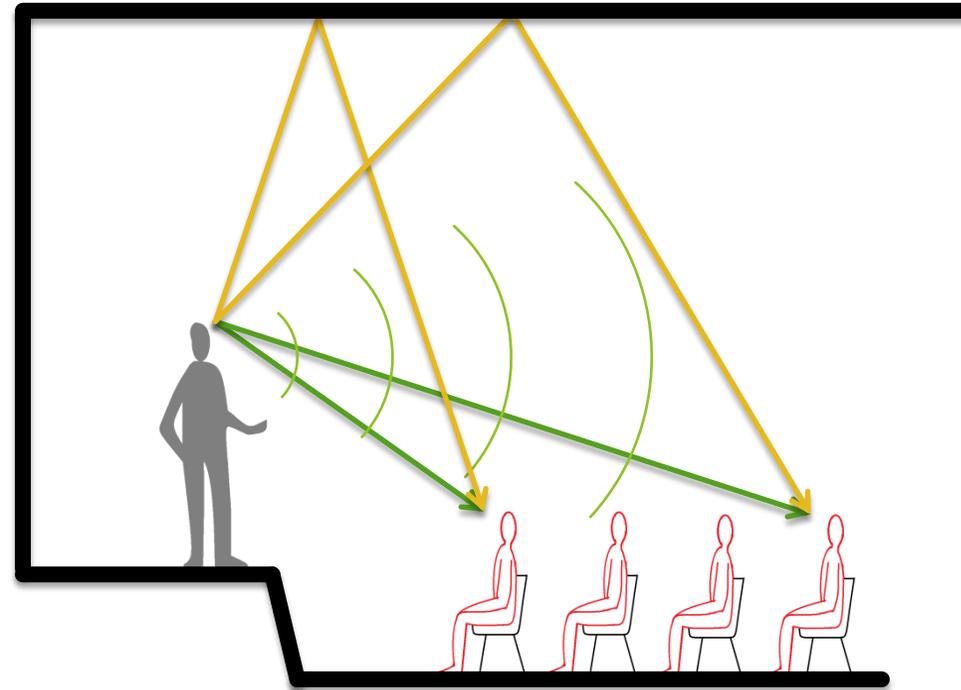
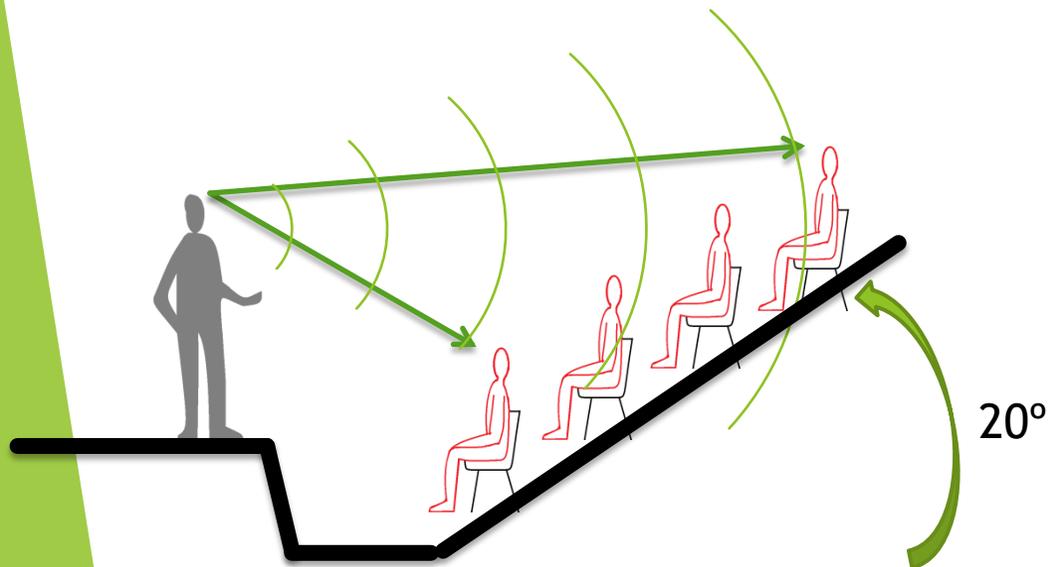
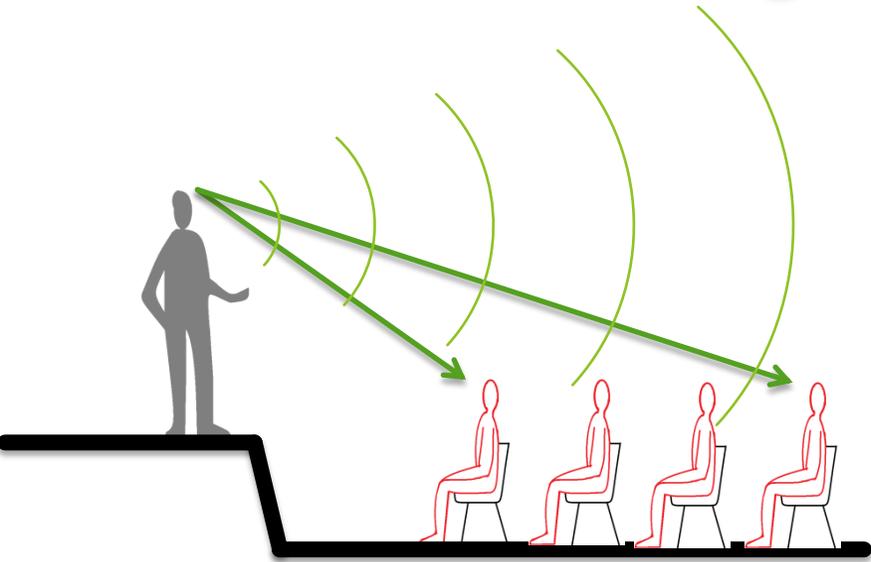


- ▶ NBR 12179/92
- ▶ Estudo geométrico-acústico
- ▶ Para auditórios, teatros, cinemas. etc., devem ser examinadas as plantas e cortes do recinto, e, levando-se em conta os materiais a serem empregados, é feito o estudo geométrico-acústico, considerando-se uma ou mais fontes sonoras, precisamente localizadas. Tal estudo visa conhecer a distribuição dos sons diretos ou refletidos, de modo a serem conseguidas em todos o recinto as melhores condições de audibilidade.
- ▶ O projetista deve utilizar as superfícies do teto para obter o reforço sonoro necessário a boa audibilidade, e ainda eventualmente utilizar as superfícies das paredes; para tanto deve empregar defletores (no caso de reflexão do som orientado) ou difusores (no caso de simples distribuição do som em todos os sentidos).
- ▶ A forma geométrica do recinto pode assim sofrer modificações tanto em planta como em corte, necessárias à boa distribuição do som



# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – reflexão

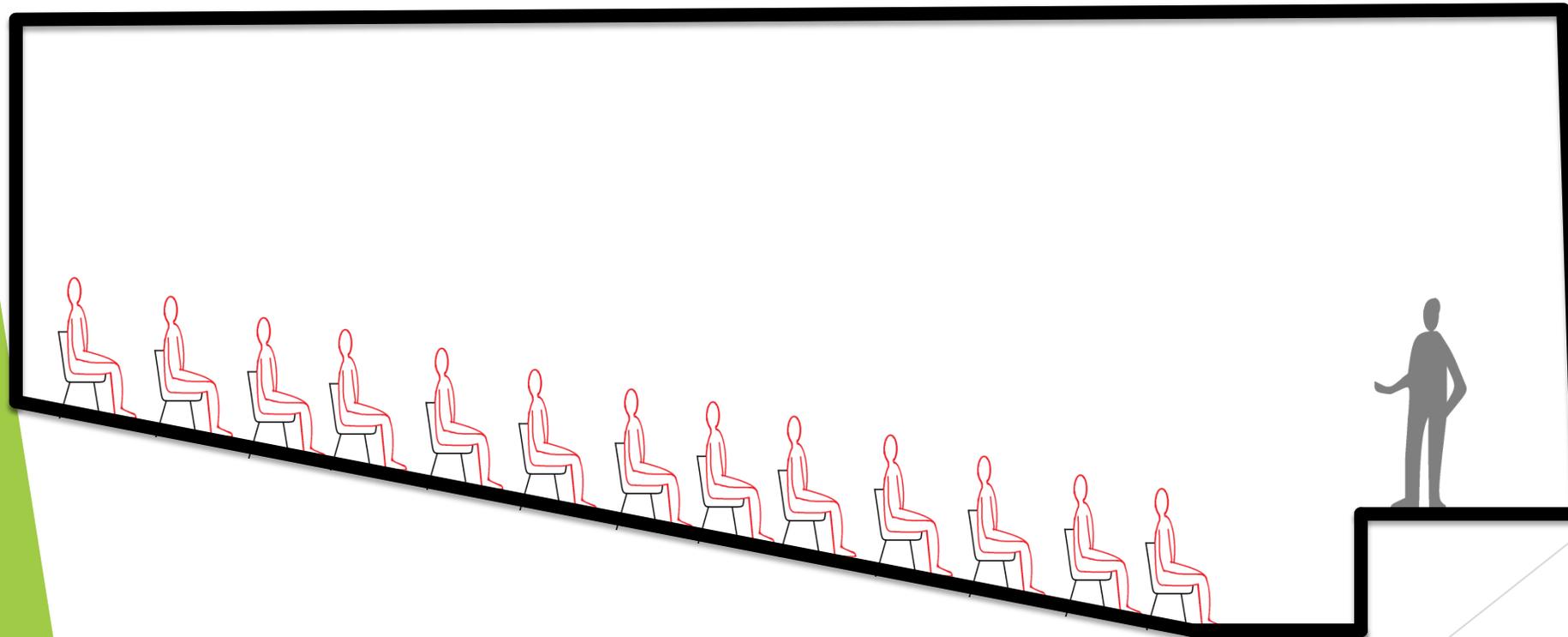


# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – reflexão



Geometria da sala

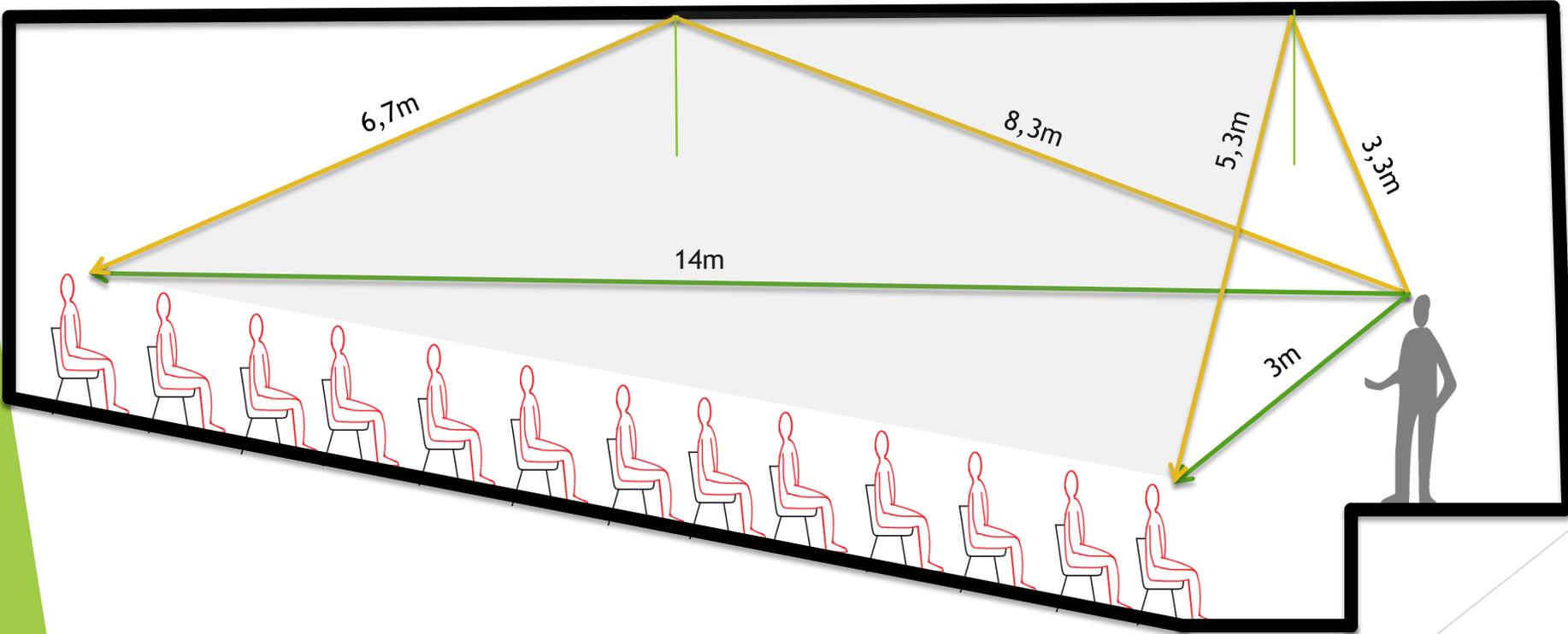




# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – reflexão

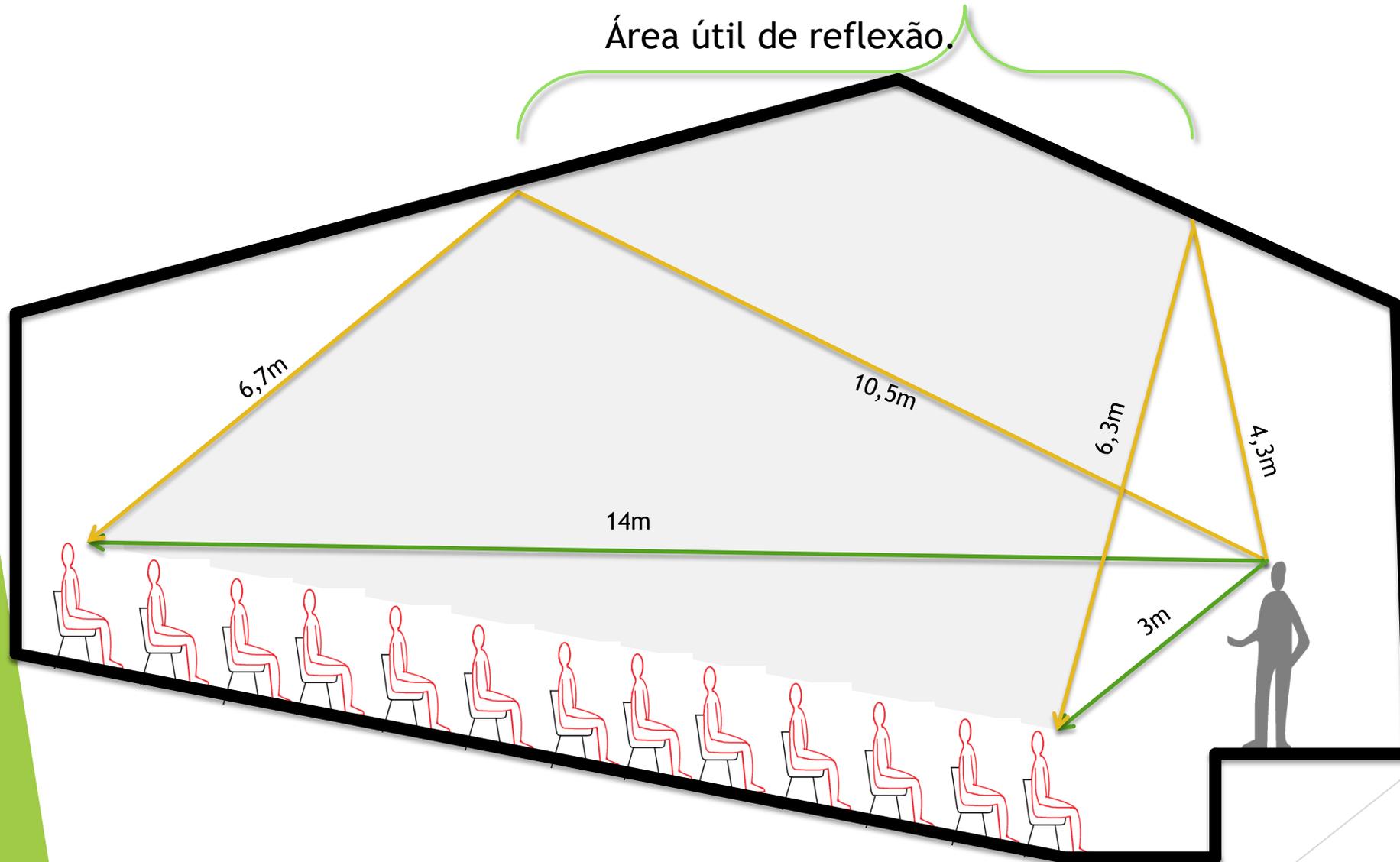
Área útil de reflexão.





# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – reflexão

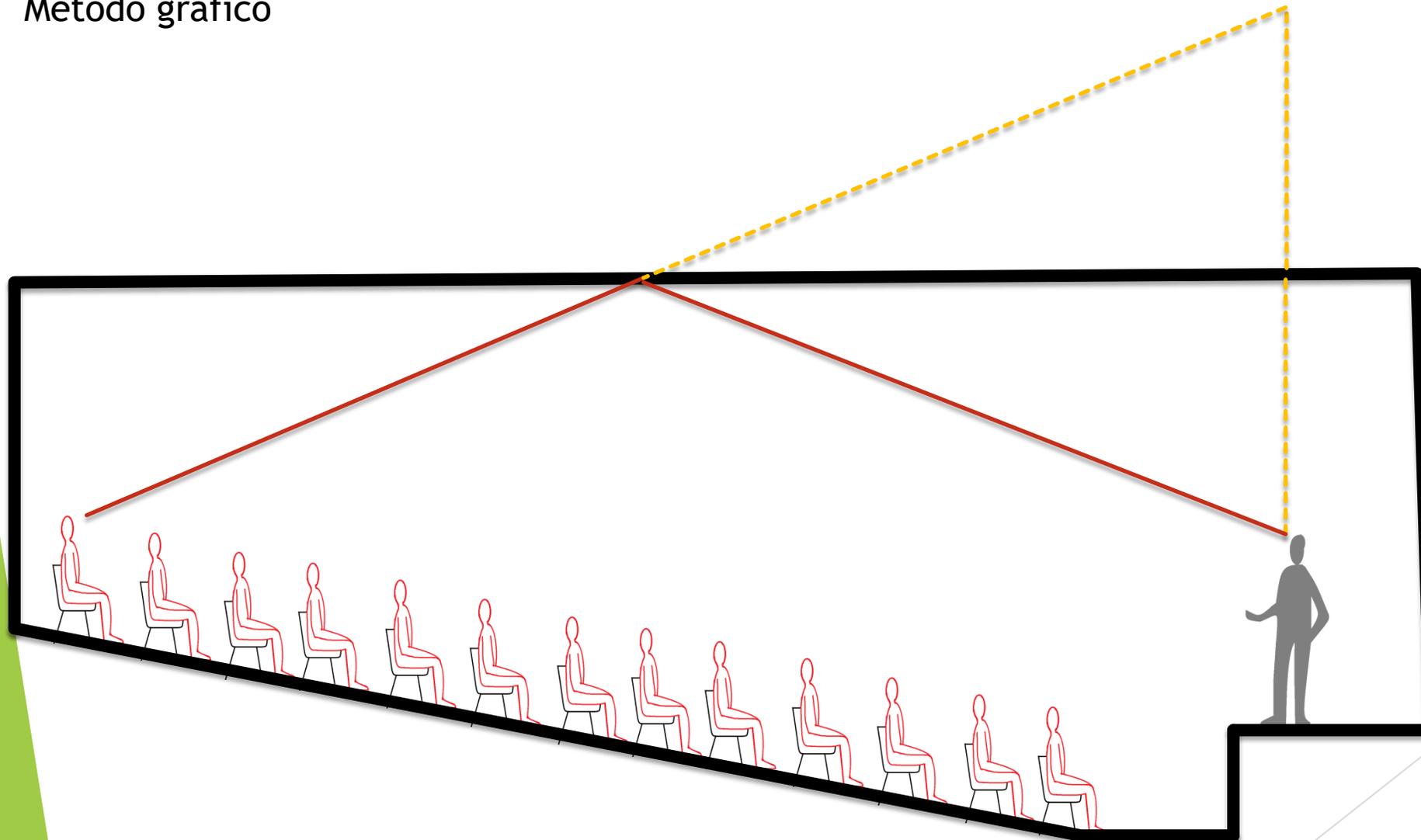


# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – reflexão



Método gráfico

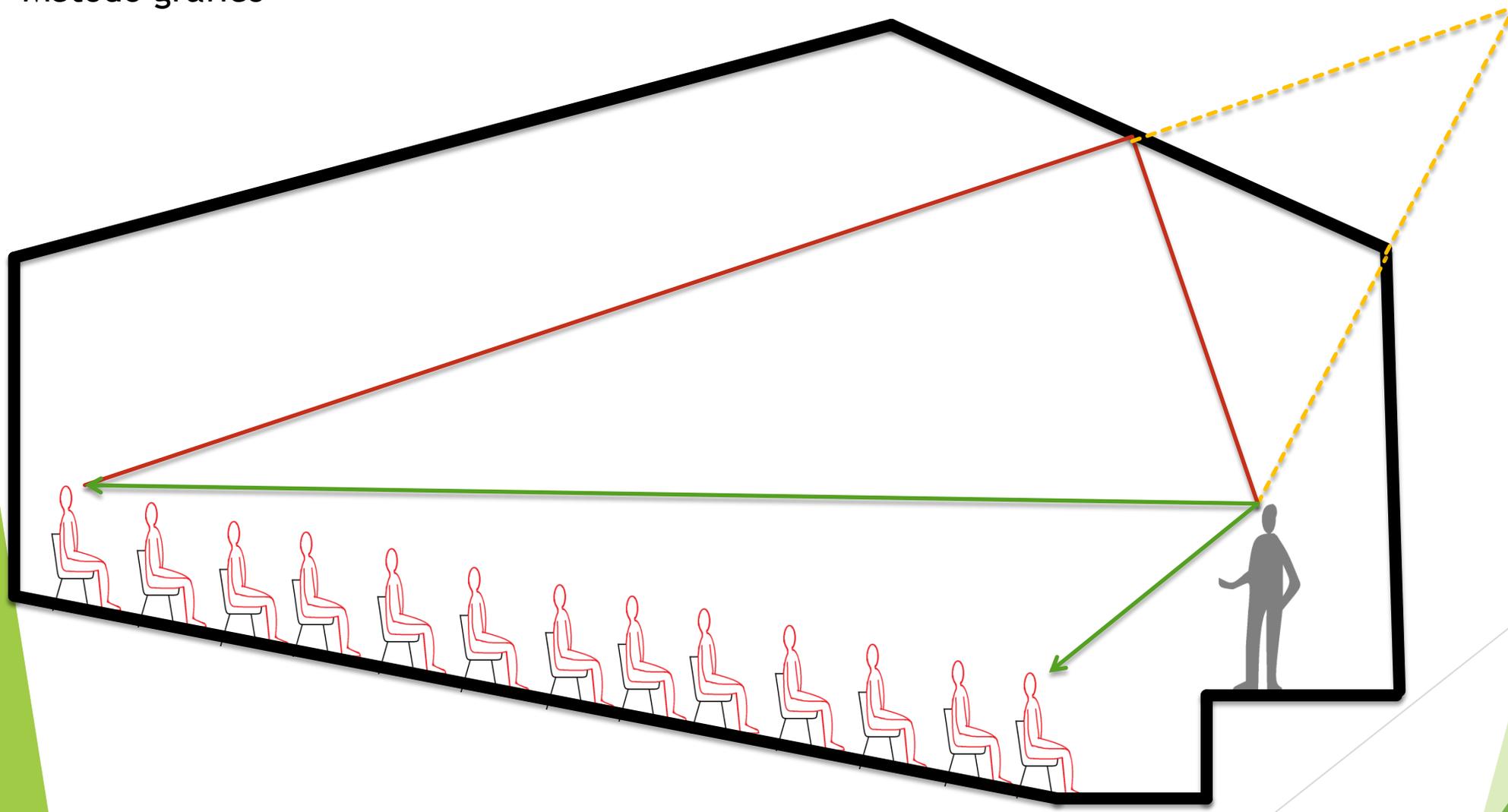




# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – reflexão

Método gráfico

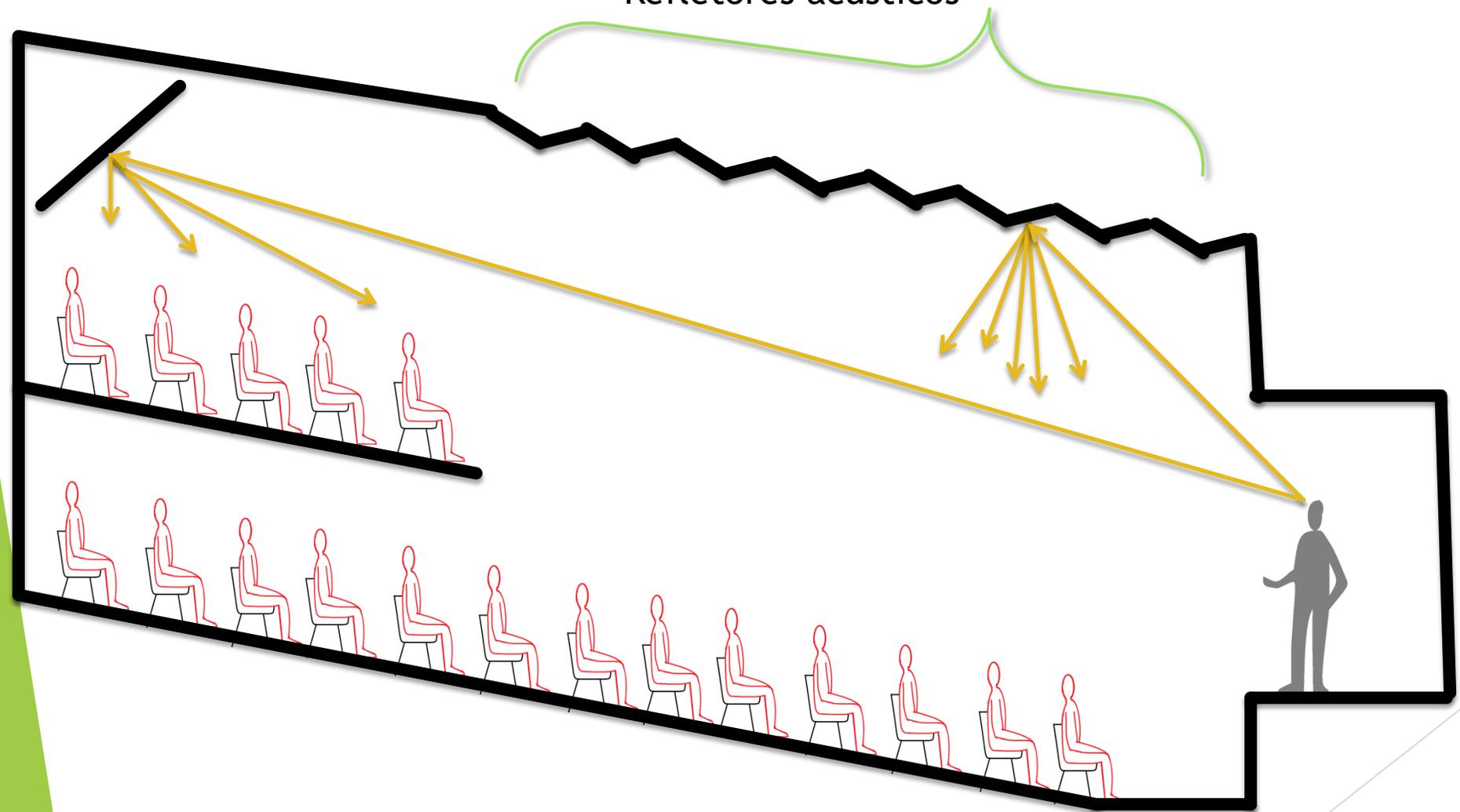




# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – reflexão

Refletores acústicos

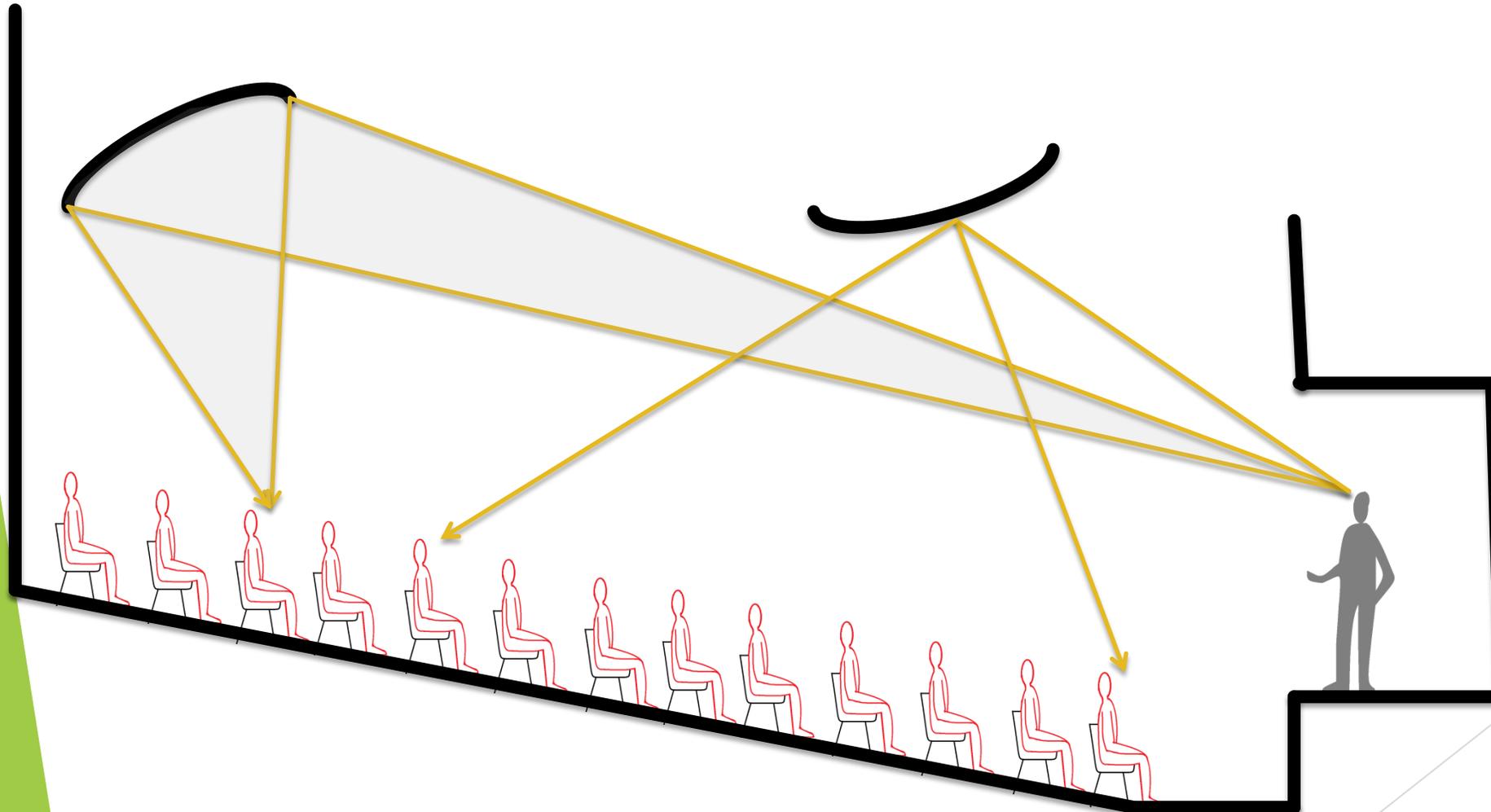




# Tratamento acústico

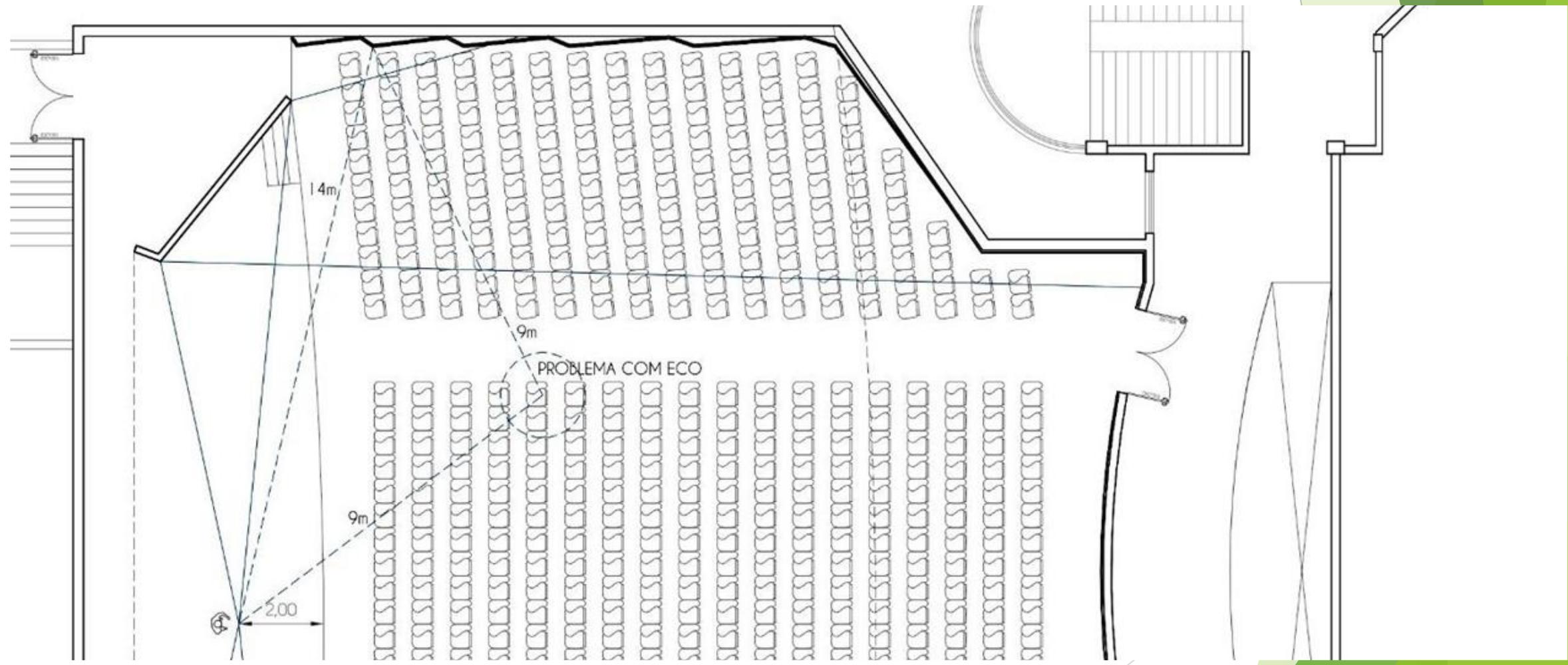
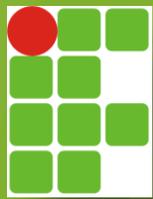
## Estudo da Morfologia e Geométrico – reflexão

Refletores acústicos



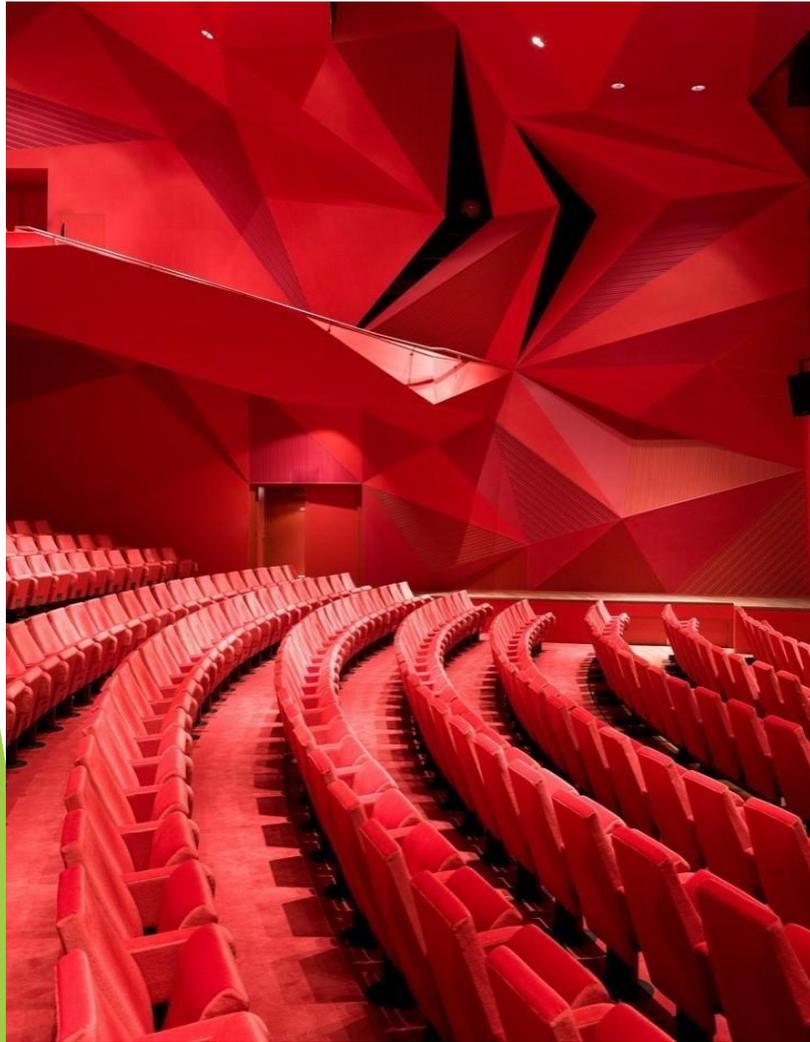
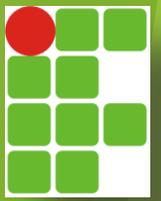
# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico



# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – EXEMPLOS



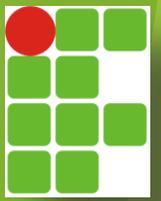
**AGORA THEATRE – Lelystad – Holanda.**  
Arquitetos: UNStudio



**CAIXA FORUM – Zaragoza – Espanha**  
Arquiteta Carme Pinos

# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – EXEMPLOS



AUDITÓRIO – L'Aquila – Itália  
Arquiteto Renzo Piano

# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – EXEMPLOS



CIDADE DAS ARTES – Rio de Janeiro – Brasil

Arquiteto Cristian de Portzamparc

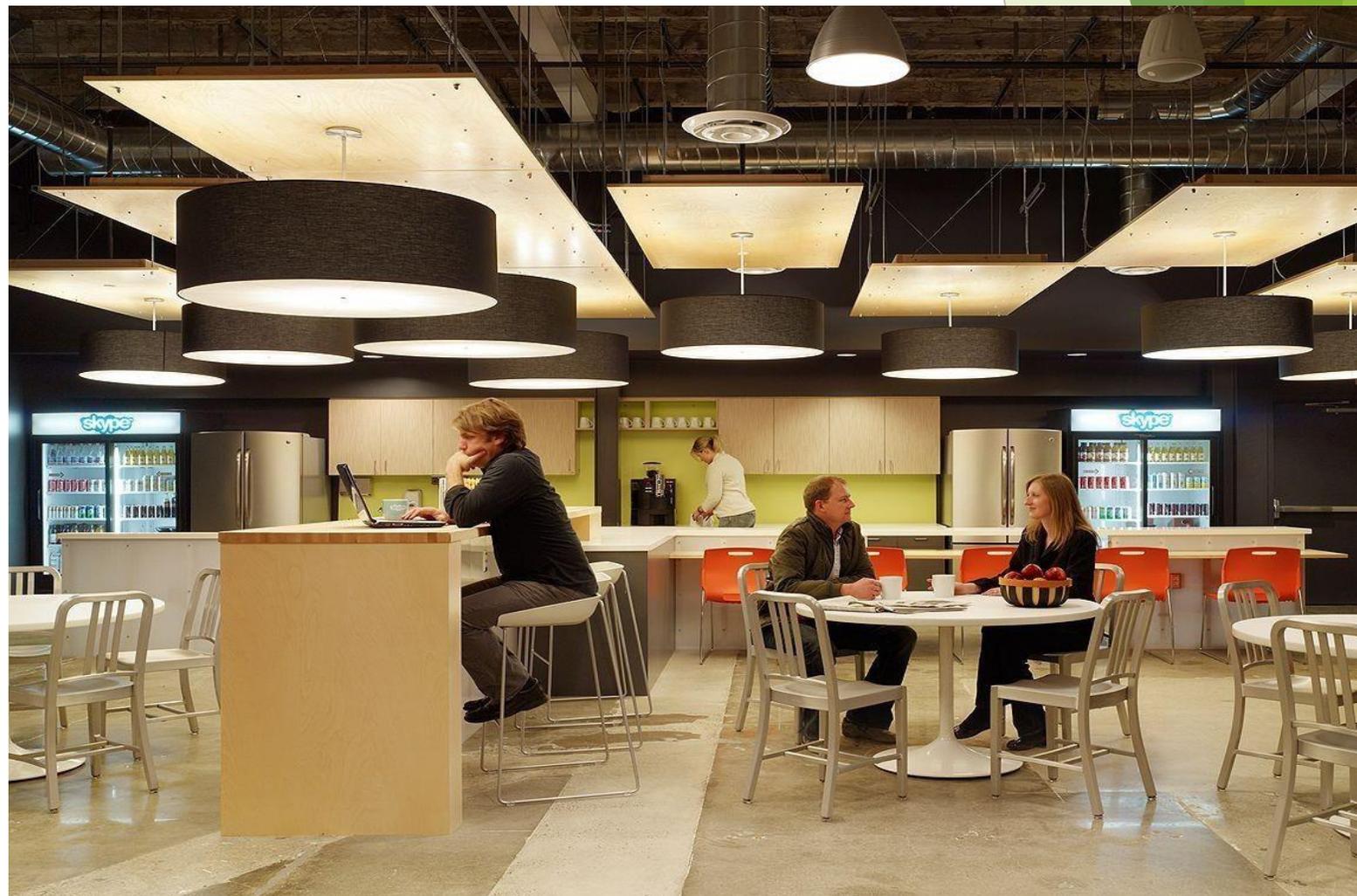


# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – EXEMPLOS



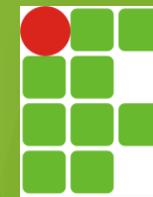
ESCRITÓRIO KENOGARD – Barcelona - Espanha



ESCRITÓRIO SKYPE – Califórnia – Estados Unidos  
Arquitetos Design Blitz

# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – EXEMPLOS



**CENTRO ESPORTIVO – Leonberg - Alemanha**  
Arquitetos 4a Architekten



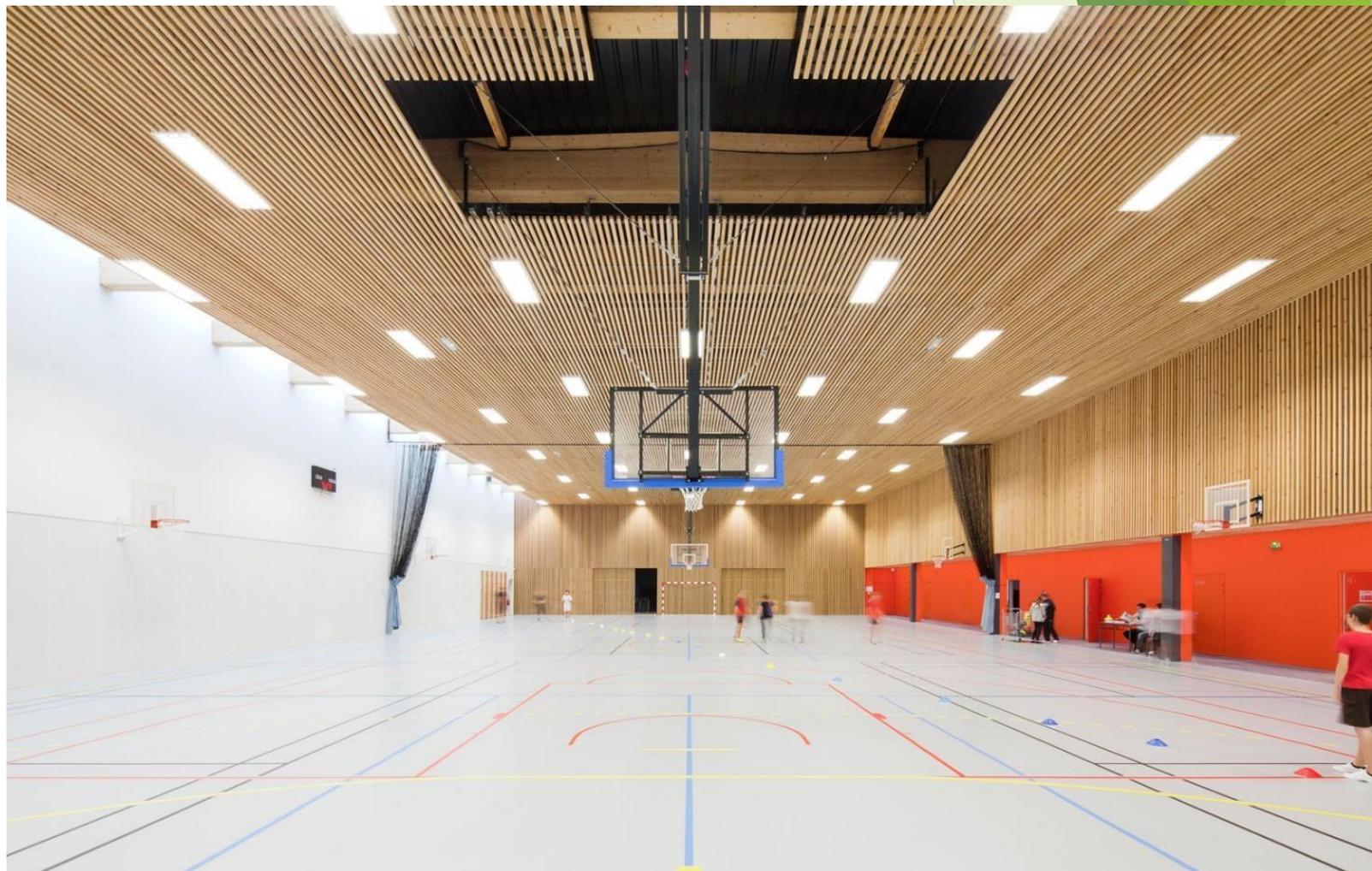
**CENTRO ESPORTIVO PAJOL – Paris – França**  
Arquiteto Brisac Gonzalez

# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – EXEMPLOS



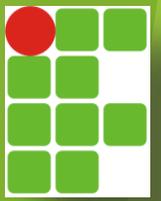
**GINÁSIO EM VAGNEY – Vagneu - França** Arquitetos  
Abc Studio Architects e Christian Vicent



**PAVILHÃO DESPORTIVO – Neuves Maisons – França**  
Arquitetos Abc Studio Architects e Giovanni Pace

# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico – EXEMPLOS



**SALAS DE AULA UNIVERSIDADE DO CHILE – Las Palmeras – Chile**  
Arquitetos Marsino Arquitectura



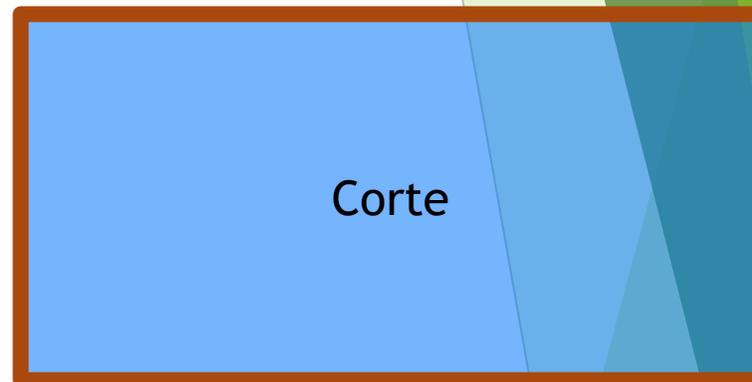
# Tratamento acústico

## Estudo da Morfologia e Geométrico

- ▶ Relação entre dimensões;
  - ▶  $h$  - altura,  $c$  - comprimento,  $l$  - largura;
  - ▶  $0.40 c < h < 0.55 c$
  - ▶  $1.4 l < c < 1.6 l$
- ▶ Comprimento (distância do palco até a última fileira de cadeiras)
  - ▶  $< 17.0$  metros (quando possível);
- ▶ Segundo NEUFERT: A relação correta entre altura, largura e comprimento é:
  - ▶ 2 (H), 3 (L) e 5 (C).
  - ▶  $H = 0,4 C$ ;
  - ▶  $C = 1,66 L$ ;

Altura - \_\_\_\_\_

Altura - \_\_\_\_\_



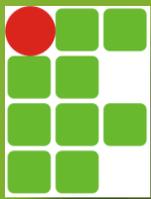
Largura - \_\_\_\_\_

Largura - \_\_\_\_\_



Comprimento - \_\_\_\_\_

Comprimento - \_\_\_\_\_



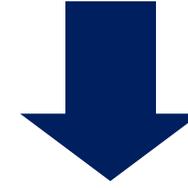
# Tratamento acústico

## Roteiro para desenvolvimento do tratamento



### **CONDICIONAMENTO ACÚSTICO**

Estudo morfológico do ambiente;  
Definição de revestimentos;  
Estudo da forma;  
Estudo das direções dos raios sonoros;  
Inteligibilidade da palavra;  
Correção de fenômenos acústicos;

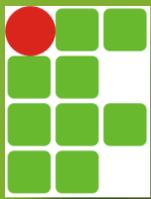


### **ISOLAMENTO ACÚSTICO**

Bloqueio e/ou amortecimento  
da onda sonora;  
Definição da configuração do  
envelope;  
Compatibilização de sistemas;  
Definição de aberturas;  
NBR 10152

# Tratamento acústico

## Isolamento acústico



- ▶ NBR 12179/92
- ▶ Isolamento acústico
- ▶ O nível de som do recinto deve ser fixado de acordo com a NBR 10152. estabelecido este nível e conhecido o nível de som exterior, obtém-se por diferença a queda de nível de som ( $\Delta$ ), em decibéis.
- ▶ A seleção de materiais isolantes acústicos deve ser feita em função dos valores fixados na Tabela 1 do anexo.
- ▶ Pode ser utilizada uma combinação de materiais isolantes, para o caso de queda de nível de som ( $\Delta$ ) elevada; e deve-se levar em conta a natureza dos ruídos ou sons a isolar (aéreos ou de impacto)

# Tratamento acústico

## Isolamento acústico



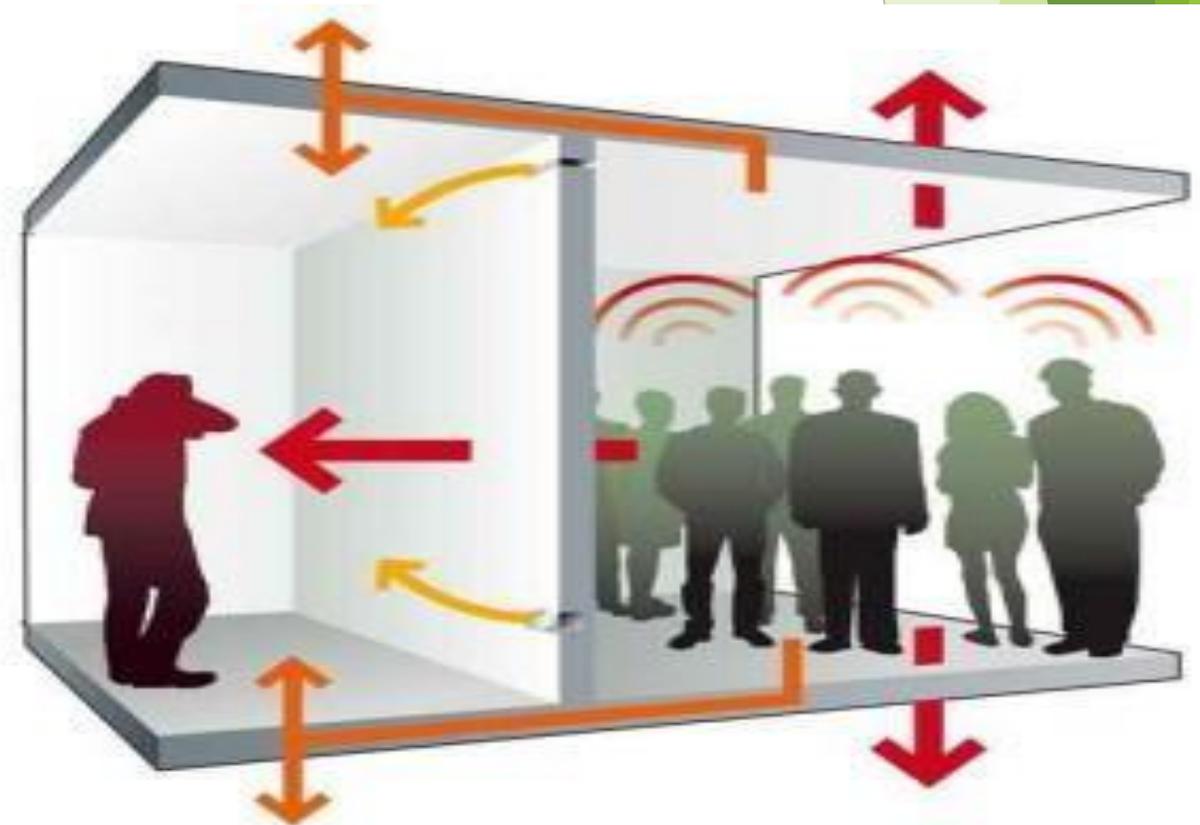
Enquanto os materiais considerados bons absorvedores sonoros são os leves (pouca massa), moles e porosos, os isolantes acústicos são os pesados (muita massa), duros e lisos, como concreto, aço, vidro e chumbo.

Lineu Passeri Júnior

### ▶ CONTROLE DO RUÍDO

PARA REDUÇÃO DO RUÍDO É NECESSÁRIO CONI

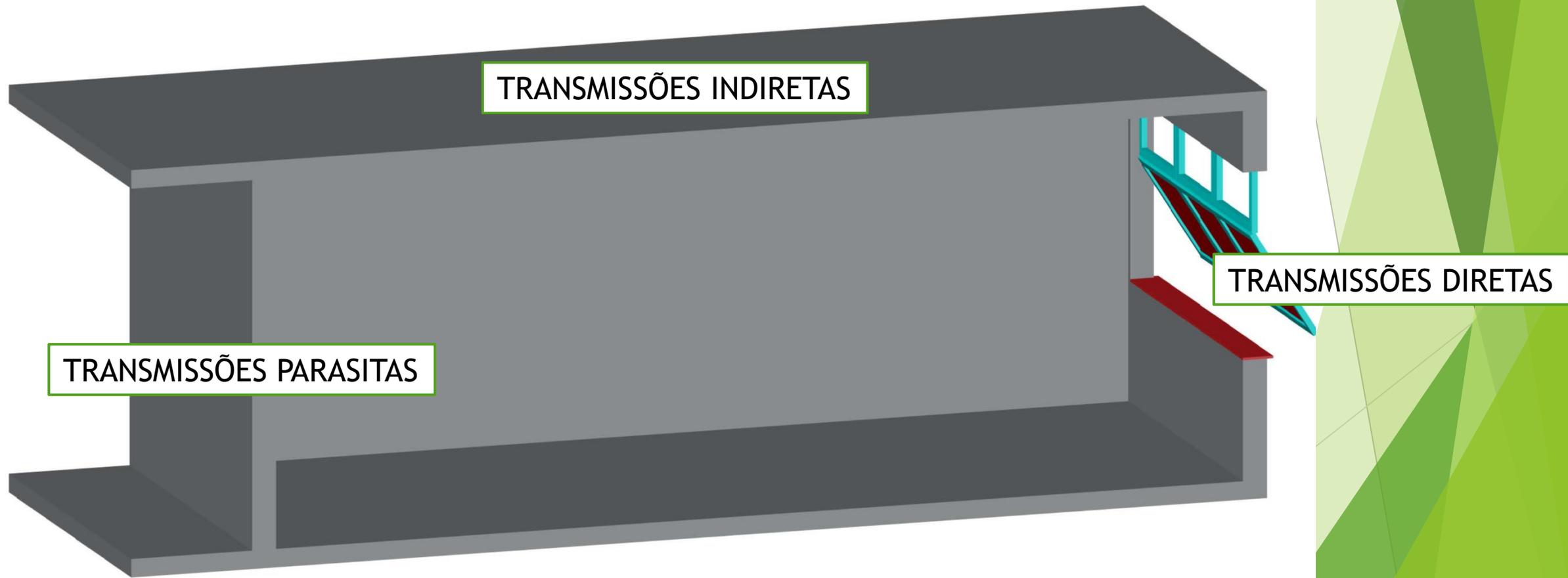
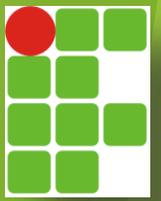
- ▶ A FONTE DO RUÍDO;
- ▶ AS CARACTERÍSTICAS DO RUÍDO;
- ▶ O CAMINHO QUE O RUÍDO PERCORRE E
- ▶ AMBIENTE.





# Tratamento acústico

## Isolamento acústico



# Tratamento acústico

## Isolamento acústico

### ▶ RUÍDO AÉREO (INTERNO OU EXTERNO)

- ▶ Propaga-se pelo ar e pode ser transmitido através dos elementos de construção (paredes, janelas, etc..).

### ▶ RUIDO DE IMPACTO

- ▶ Propaga-se por vibrações provocadas diretamente por pessoas ou objetos atuando sobre elementos construtivos do edifício.

### ▶ RUIDO POR EQUIPAMENTO

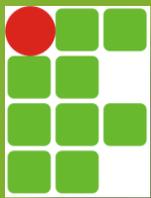
- ▶ Propaga-se por vibrações provocadas diretamente sobre elementos construtivos do edifício.

Tabela 1 - Valores dB(A) e NC

Locais	dB(A)	NC
<b>Hospitais</b>		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35-45	30-40
Laboratórios, Áreas para uso do público	40-50	35-45
Serviços	45-55	40-50
<b>Escolas</b>		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35-45	30-40
Salas de aula, Laboratórios	40-50	35-45
Circulação	45-55	40-50
<b>Hotéis</b>		
Apartamentos	35-45	30-40
Restaurantes, Salas de Estar	40-50	35-45
Portaria, Recepção, Circulação	45-55	40-50
<b>Residências</b>		
Dormitórios	35-45	30-40
Salas de estar	40-50	35-45
<b>Auditórios</b>		
Salas de concertos, Teatros	30-40	25-30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35-45	30-35
<b>Restaurantes</b>	40-50	35-45
<b>Escritórios</b>		
Salas de reunião	30-40	25-35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35-45	30-40
Salas de computadores	45-65	40-60
Salas de mecanografia	50-60	45-55
<b>Igrejas e Templos (Cultos meditativos)</b>	40-50	35-45
<b>Locais para esporte</b>		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60	40-55

Notas: a) O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade.

b) Níveis superiores aos estabelecidos nesta Tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde (ver Nota a do Capítulo 1).



# Tratamento acústico

## Roteiro - Isolamento acústico – ruído aéreo

### ▶ O ISOLAMENTO PROMOVIDO POR UMA SUPERFÍCIE DEPENDE:

1. De sua capacidade de absorção das ondas sonoras. **ok**
2. De sua inflexibilidade. **Quanto mais rígido melhor?**
3. Do tipo de material (consequentemente de sua massa).
4. Das aberturas no material isolante.

### 3 - LEI DA MASSA

- ▶ Quanto mais pesado, mais denso o material, melhor o isolamento.
- ▶ Para uma mesma espessura, uma parede de concreto isolara mais que uma de gesso.

$$R_w = 20 \log(f \cdot m) - 47,4 \quad [dB]$$

### ▶ Onde:

- ▶  $R_w$  = índice de redução sonora;
- ▶  $f$  = frequência (125 Hz, 1000 Hz, ....)
- ▶  $m$  = massa por unidade de área (kg/m<sup>2</sup>)

OBS.: Para sons de baixa frequência, a massa da parede não é tão eficiente quanto para altas frequências.



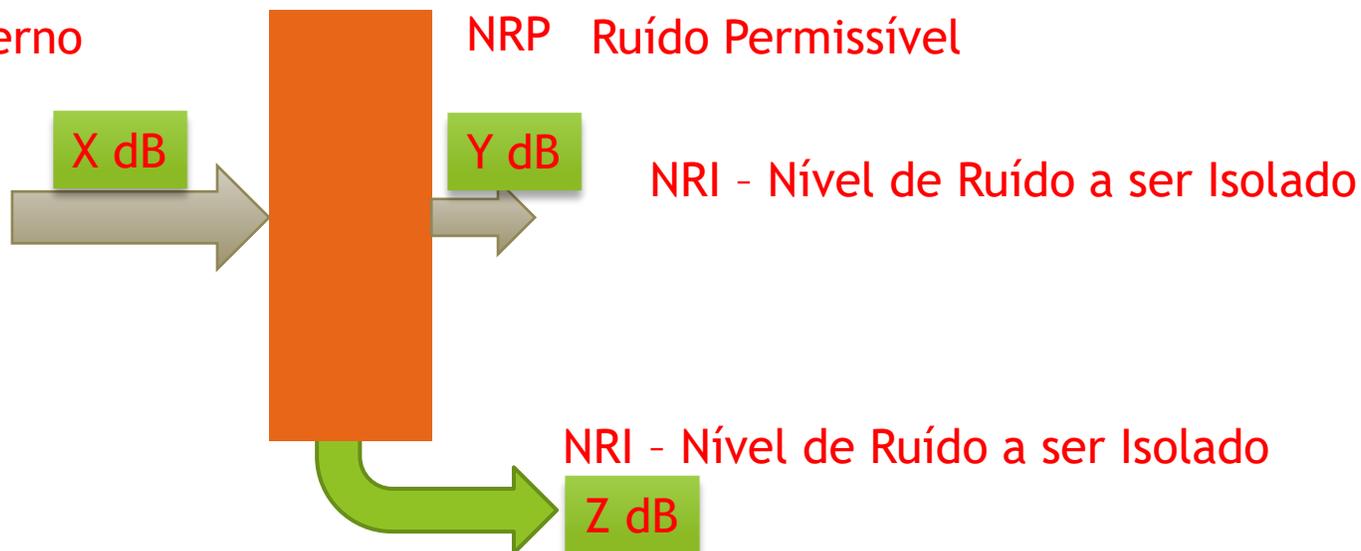
# Tratamento acústico

## Isolamento acústico – ruído aéreo

- ▶ Isolar acusticamente um ambiente é dificultar a entrada ou saída de ruído por intermédio dos fechamentos verticais e horizontais (paredes, lajes e telhado)

NRE - Nível de Ruído Externo

Ex:  
Automóveis,  
Caminhões,  
Pessoas,  
Equipamentos.



NBR 10151 e 10152

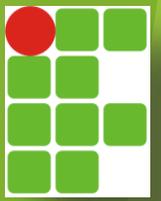
Ex.: ABNT

Auditórios - 35dB

Residência - 40 a 45dB

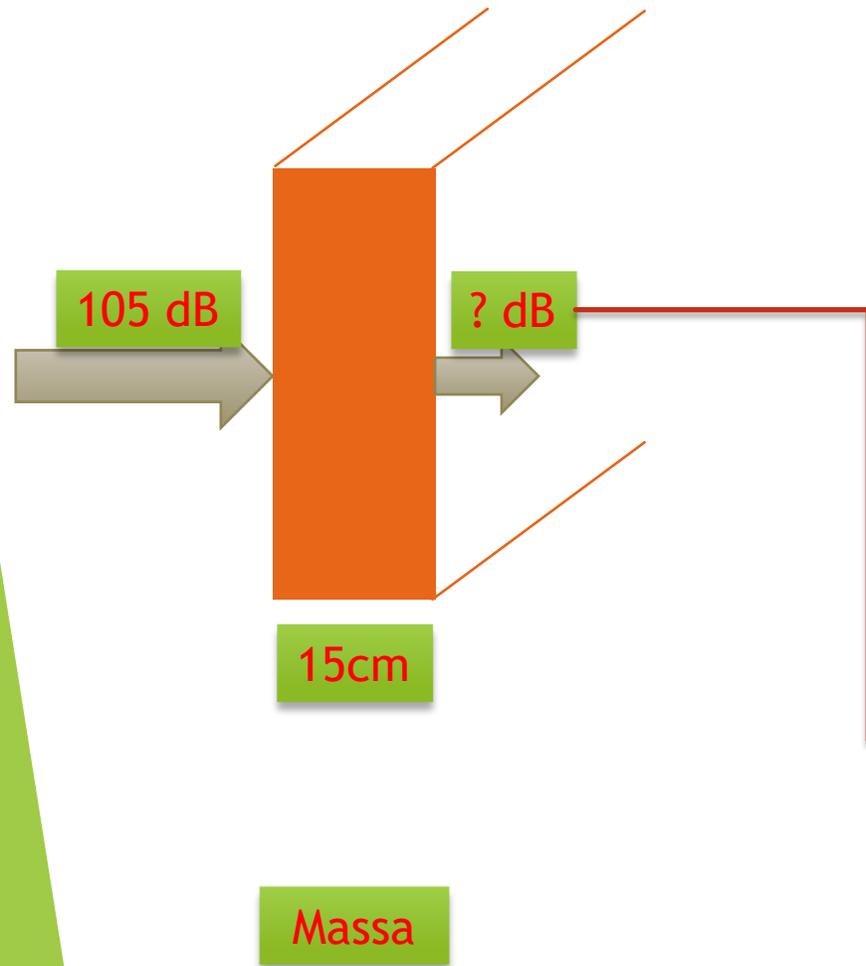
$$NRE - NRP \geq NRI$$

Parede Homogênea



# Tratamento acústico

## Cálculo do Isolamento acústico – ruído aéreo



$$R_w = 20 \log(f \cdot m) - 47,4 \quad [dB]$$

$$\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$f = 500 \text{ Hz}$$

$$R_w = 20 \log(500 \times (2000 \times 0,15)) - 47,4 \quad [dB]$$

$$R_w = 56,12 \quad [dB]$$

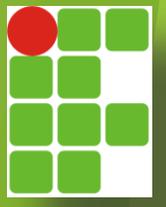
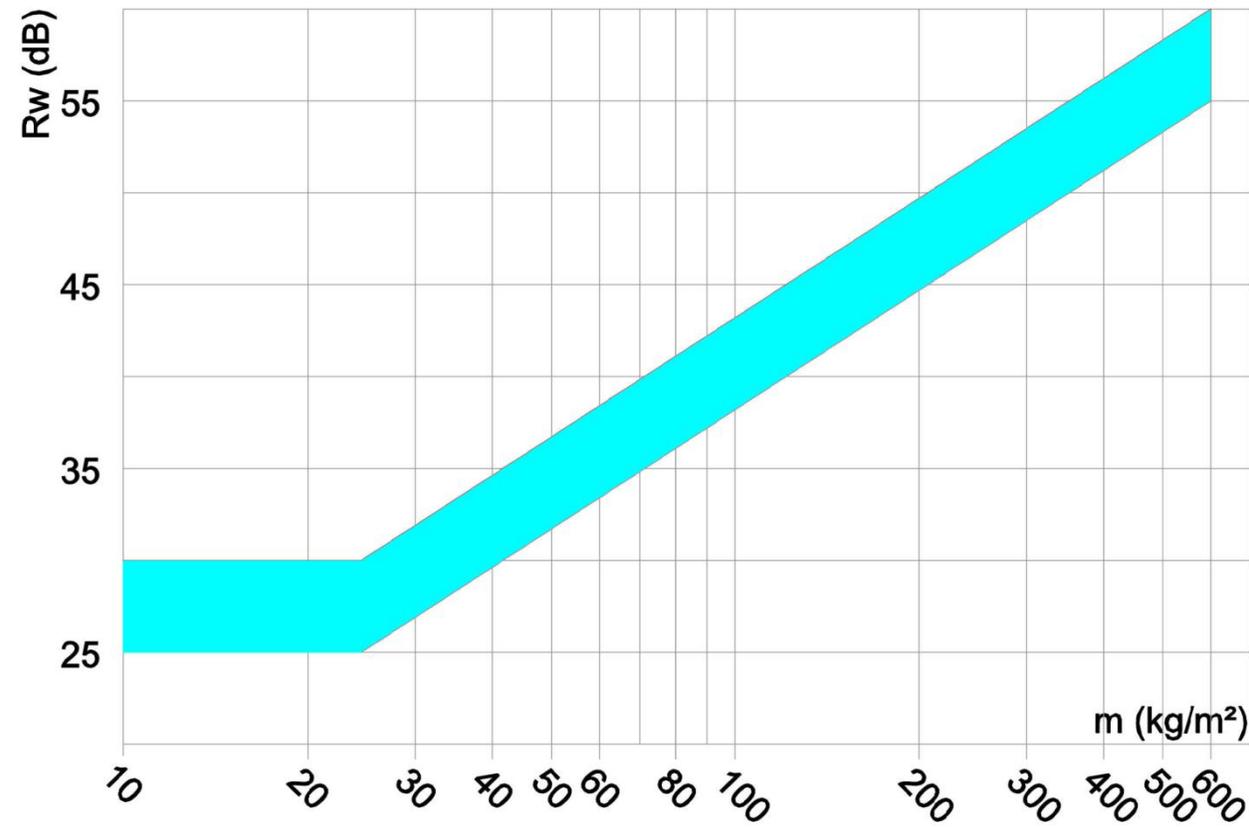
$$48,87 \text{ dB}$$

	125	250	500	1000	2000	4000
140	37,46	43,48	49,50	55,52	61,54	67,56
130	36,82	42,84	48,86	54,88	60,90	66,92
120	36,12	42,14	48,16	54,18	60,20	66,22
110	35,37	41,39	47,41	53,43	59,45	65,47
100	34,54	40,56	46,58	52,60	58,62	64,64
90	33,62	39,64	45,66	51,68	57,71	63,73
80	32,60	38,62	44,64	50,66	56,68	62,70
70	31,44	37,46	43,48	49,50	55,52	61,54
60	30,10	36,12	42,14	48,16	54,18	60,20
50	28,52	34,54	40,56	46,58	52,60	58,62
40	26,58	32,60	38,62	44,64	50,66	56,68
30	24,08	30,10	36,12	42,14	48,16	54,18
20	20,56	26,58	32,60	38,62	44,64	50,66
10	14,54	20,56	26,58	32,60	38,62	44,64

Hz

m  
(kg/m<sup>2</sup>)

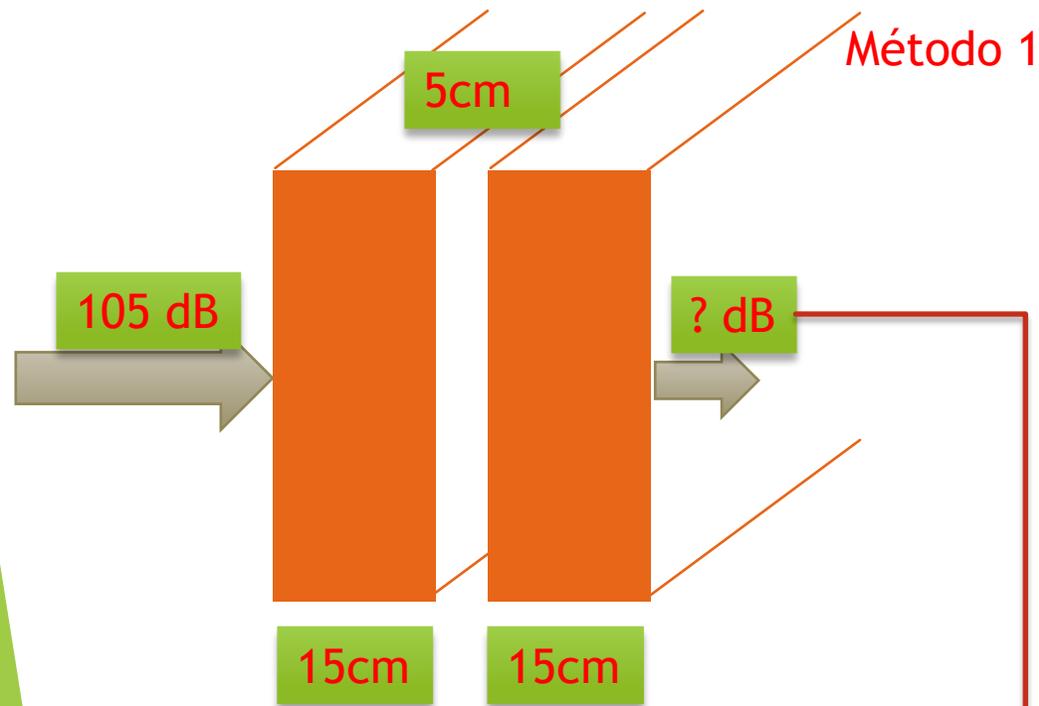
Rw  
(dB)





# Tratamento acústico

## Cálculo do Isolamento acústico – ruído aéreo



$$R'_w = R_w^* + (100 \cdot d \cdot n \cdot c) [dB]$$

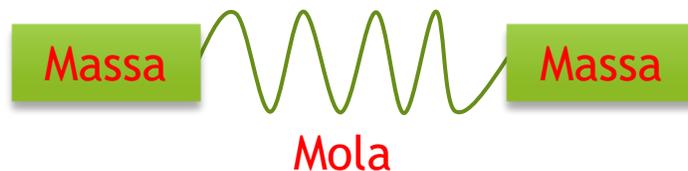
$$\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$f = 500 \text{ Hz}$$

$$R_w = 62,14 + (100 \times 0,05 \times 2 \times 0,8) [dB]$$

$$R_w = 70,14 [dB]$$

$$34,86 \text{ dB}$$



Parede Homogênea

- $R'_w$  = Coeficiente de isolamento sonora da parede dupla;  
 $R_w^*$  = Coeficiente de isolamento sonora da parede simples;  
 $d$  = Distância entre as duas paredes [m];  
 $n$  = Tipo de acoplamento entre as paredes:  
 $n = 1$  se acoplamento rígido;  
 $n = 1,5$  se acoplamento elástico;  
 $n = 2$  se as paredes não possuem meio de ligação.  
 $c$  = Tipo de material que preenche o espaço entre as paredes:  
 $c = 0,8$  se câmara de ar;  
 $c = 1$  se câmara preenchida com material de absorção.

# Tratamento acústico

## Isolamento acústico – ruído aéreo

Material	$\lambda$ (W/m°C)	d (kg/m <sup>3</sup> )
Concreto comum	1,28	2000
Concreto celular autoclavado	0,10	300

Considerando uma parede de 20cm de espessura, Determine qual parede é melhor para as frequências 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000Hz.

- a. Parede de concreto comum d=2000kg/m<sup>3</sup>
- b. Parede de concreto celular d= 300kg/m<sup>3</sup>
- c. Parede ½ comum ½ celular d=1150kg/m<sup>3</sup>

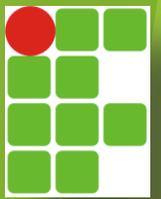
$$R_w = 20 \log(f \cdot m) - 47,4 \quad [dB]$$

$$m = \gamma \cdot e \quad [kg/m^2]$$

$$\gamma = d \quad [kg/m^3]$$

	125	250	500	1000	2000	4000
a	2000Hz					
b	300Hz					
c	1150Hz					

Parede Homogênea



# Tratamento acústico

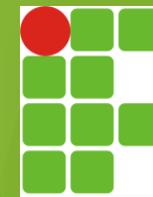
## Isolamento acústico – ruído aéreo

Material	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	E (m)	R (500Hz)
Tijolo maciço	2000	20	
Concreto armado	2400	10	
Madeira	800	15	
Bloco furado	1800	15	
Alvenaria	2200	14	
Tijolo maciço (dupla)	2000	20	
Concreto armado (dupla)	2400	10	
Madeira (dupla)	800	15	
Bloco furado (dupla)	1800	15	
Alvenaria (dupla)	2200	14	

Parede Homogênea

$$R_w = 20 \log(f \cdot m) - 47,4 \quad [dB]$$

$$R_{w,1} = R_w^* + (100 \cdot d \cdot n \cdot c) [dB]$$



# Tratamento acústico

## Isolamento acústico – ruído aéreo

Tipo de parede	Largura do tijolo (cm)	Massa (kg/m <sup>3</sup> )	Revestimento	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	R (dB)
Bloco vazado de concreto	9	1800	Argamassa 1,5cm em cada face	180	
	11,5			210	
	14			230	
Tijolo maciço cerâmico	11	2000	Argamassa 2cm em cada face	260	
	15			320	
	11 + 11			450	
Parede maciça de concreto	5	2400	Sem	120	
	10			240	
	12			290	

# Tratamento acústico

## Isolamento acústico – ruído aéreo



Tabela 1 - Valor do isolamento acústico de diversos materiais

Material	Isolamento acústico em decibels (500 Hz) (dB)
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 10 cm)	45
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 20 cm)	50
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 30 cm)	53
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 40 cm)	55
Alvenaria de tijolo furado (espessura de 25 cm)	10
Chapa de fibra de madeira tipo "Soft-Board" (espessura de 12 mm)	18
Chapa de fibra de madeira tipo "Soft-Board", com camada de ar intermediária de 10 cm	30
Chapas ocas de gesso (espessura de 10 cm)	24
Compensado de madeira (espessura de 6,0 mm)	20
Compensado de madeira (espessura de 6,0 mm) duas placas com camada de ar intermediária de 10 cm	25
Concreto - laje entre pavimentos	68
Vidro de janela (espessura de 2,0 a 4,0 mm)	20 a 24
Vidro grosso (espessura de 4,0 a 6,0 mm)	26 a 32
Vidro de fundição (espessura de 3 a 4 mm) uma placa	24
Vidro de fundição (espessura de 4 a 6 mm) duas placas com camada de ar intermediária	36





# Tratamento acústico

## Isolamento acústico – ruído aéreo

$$R = 10 \times \log \left( \frac{S_1 + S_2}{\frac{S_1}{10^{R_1/10}} + \frac{S_2}{10^{R_2/10}}} \right)$$

- ▶ Parede - 45,8m<sup>2</sup>
- ▶ Porta - 4,2m<sup>2</sup>
- ▶ f = 500Hz



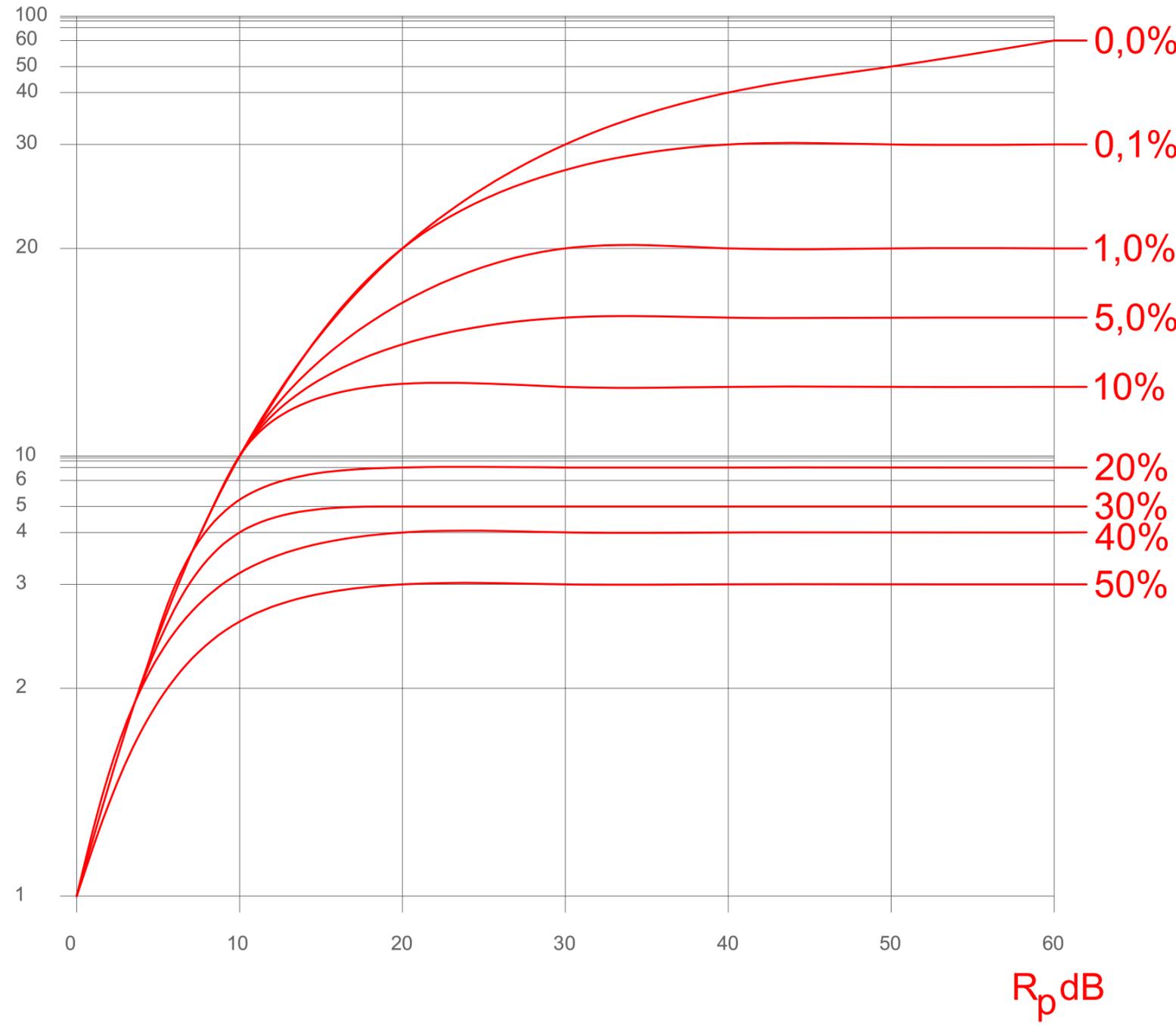
	Parede	Porta	Unidade
$\lambda$	1600	800	Kg/m <sup>3</sup>
e			m
m			Kg/m <sup>2</sup>
R			dB

Parede Heterogênea

# Tratamento acústico Isolamento acústico

$R_r$  dB

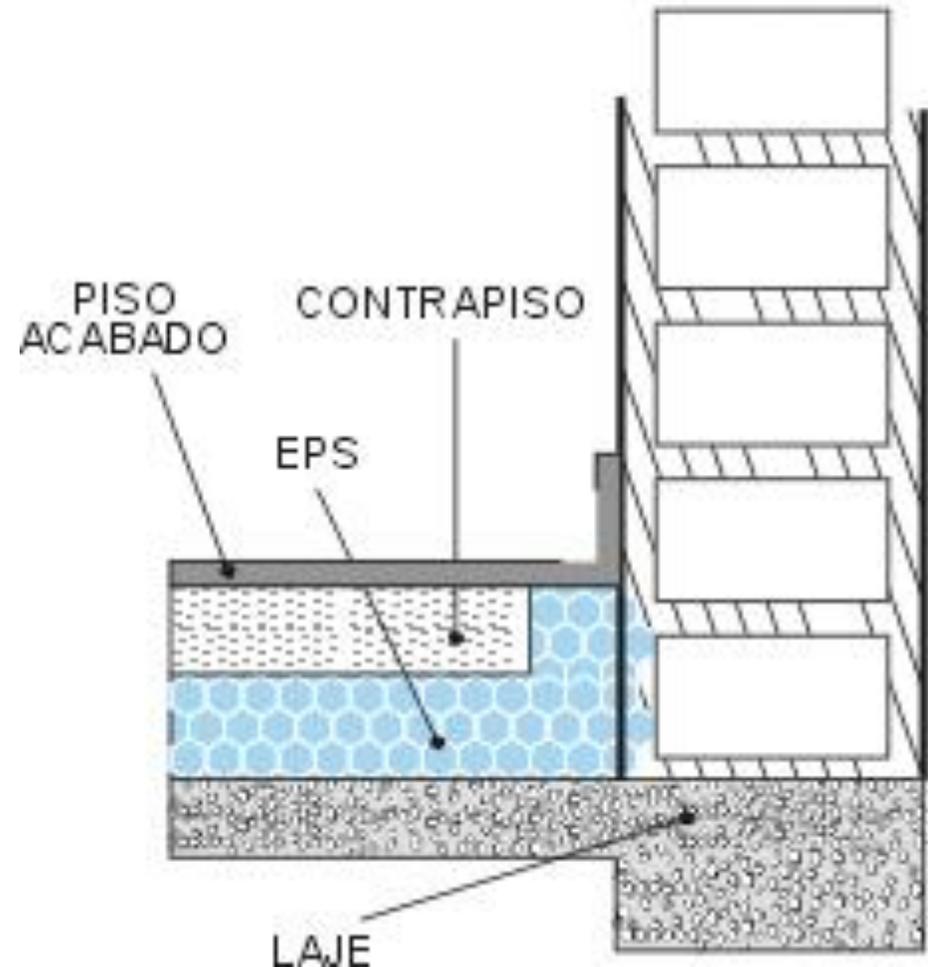
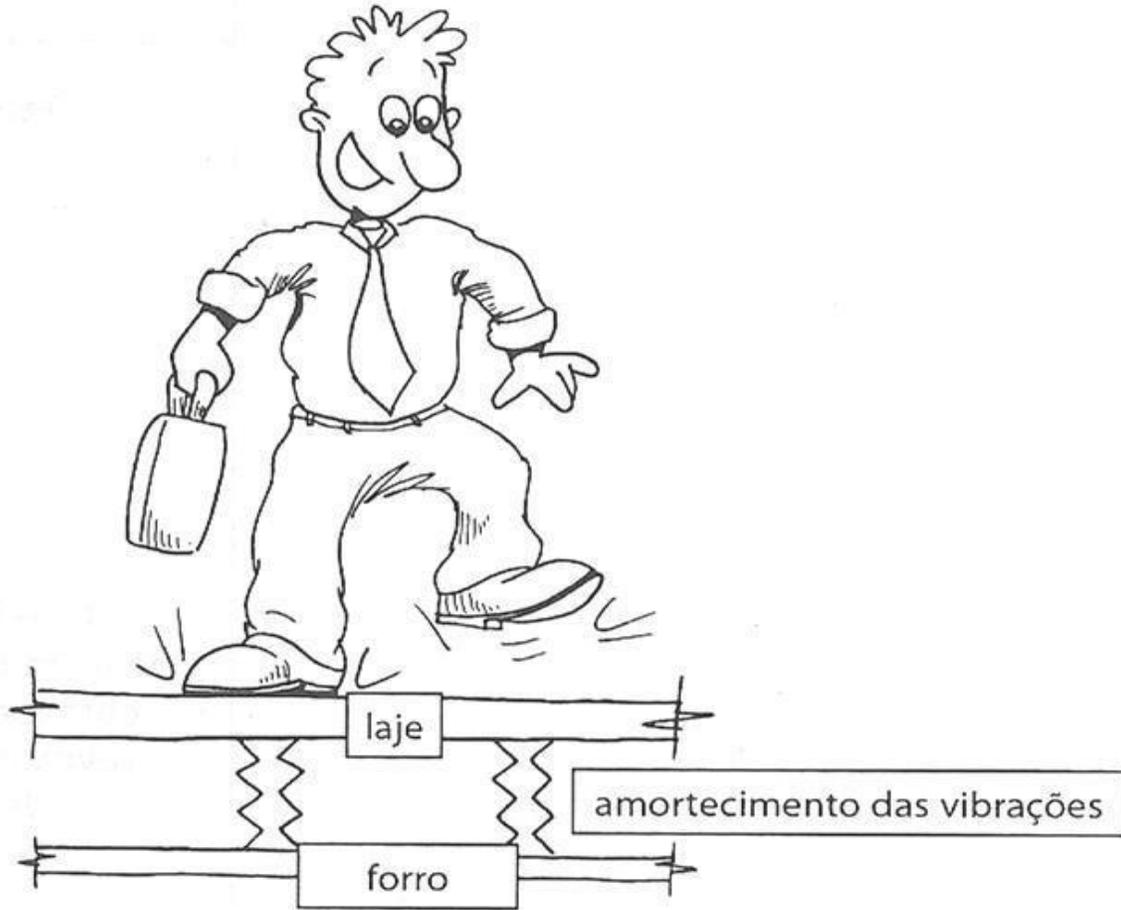
4 - DAS ABERTURAS NO MATERIAL  
ISOLANTE.



$R_p$  dB

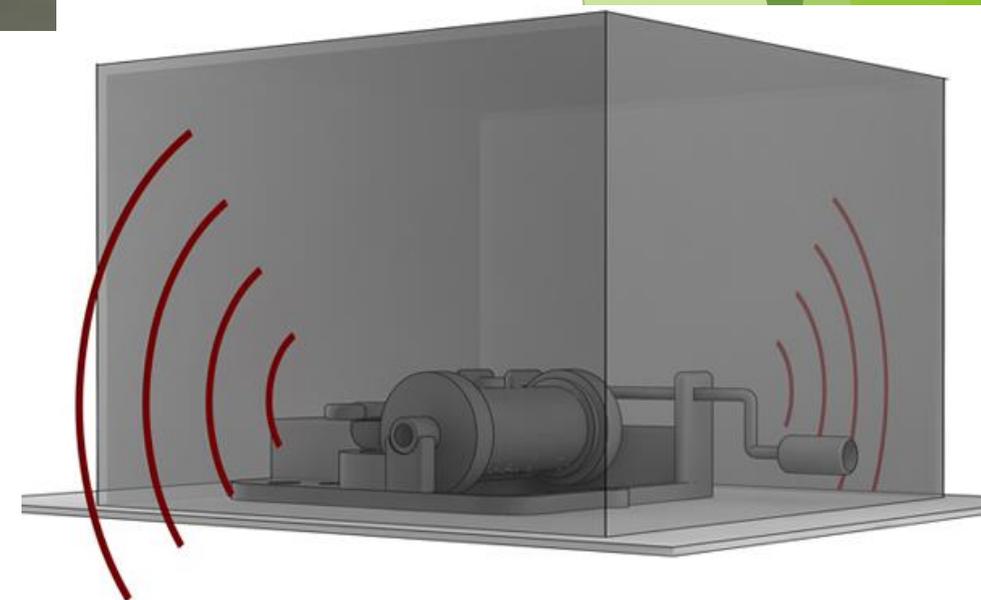
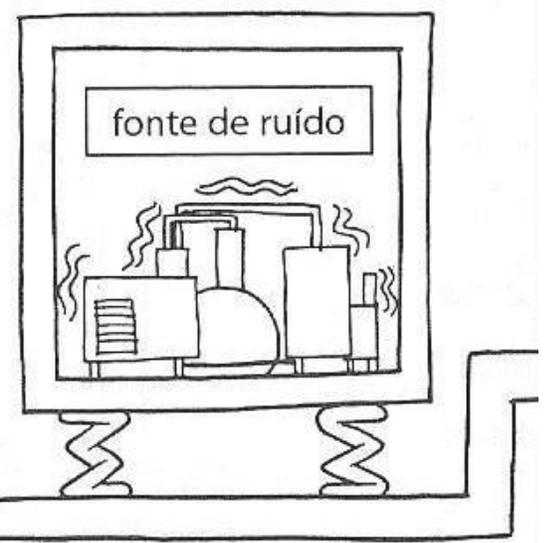
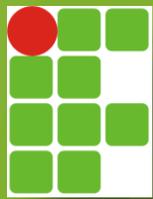
# Tratamento acústico

## Isolamento acústico – ruído impacto



# Tratamento acústico

## Isolamento acústico – ruído equipamentos



# Tratamento acústico

## Isolamento acústico

- ▶ Requisitos para isolamento acústico de ambientes
  - ▶ E.M.A.
    - ▶ E – estanqueidade
    - ▶ M – Massa
    - ▶ A - Absorção

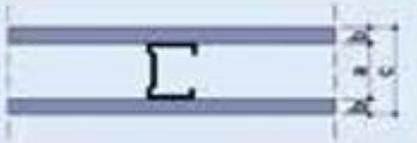
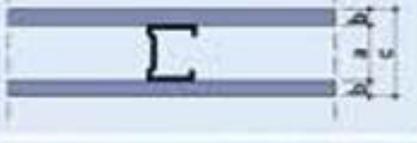
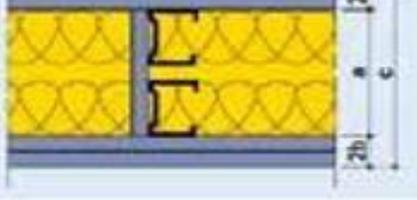


# Tratamento acústico

## Isolamento acústico

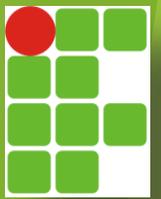


	JANELAS	AUDITÓRIO/BAR NOTURNO	ESTÚDIO DE RADIO OU TV
<b>ESTANQUEIDADE</b>	Tratamento de juntas e batentes	Esquadrias para o exterior seladas com vidros duplos (quanto menos esquadrias melhor)	Sem janelas Caso precise, colocar vidros duplos, batentes de borracha e esquadria do tipo escotilha.
		Portas pesadas com batentes de borracha	Portas pesadas (quanto mais pesada melhor)
		Utilização de antecâmaras, como transição entre espaços	Iluminação e climatização artificial.
		Portas desencontradas	
		Climatização artificial.	
<b>Maior MASSA</b>	Esquadrias com vidros duplos (dobra a massa)	Paredes externas pesadas ou duplas (este com material leve entre elas)	Paredes externas pesadas ou duplas (este com material leve entre elas)
		Laje de concreto maciço	Esquadrias internas com vidros duplos e <b>não</b> paralelos.
<b>Maior ABSORÇÃO</b>		Absorção adequada ao tempo de reverberação (ideal 0,8 a 1,2s)	Absorção adequada ao tempo de reverberação (ideal 0,5 a 0,8s)

Índice de redução sonora ponderado Rw (dB)	Desenho técnico	Isolamento acústico (dB)		Montante	a (mm)	b (mm)	c (mm)	Tipo de estrutura	Placa ST	Placa Phonique	Qtd. de placa (total parede)
		Sem Placoglass	Com Placoglass								
35 a 39		●		48	48	12,5	73	MS		●	2
40 a 44		●		70	70	12,5	95	MS		●	2
45 a 49			●	48	48	12,5	73	MS		●	2
50 a 54			●	48	48	12,5	98	MS		●	4
55 a 57			●	48	110	12,5	160	MS DEL		●	4
62			●	70	110	12,5	160	MS DES	●		4



# Materiais, usos, aplicações e estratégias



# Tratamento acústico

## Materiais e usos

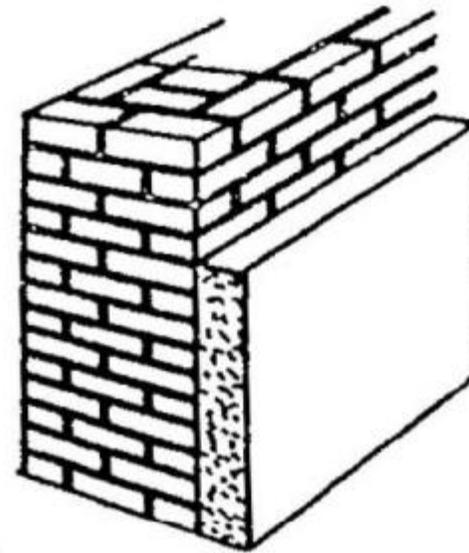
- ▶ Indiferente a “potencia” do ruído, podemos caracterizar os absorventes sonoros em 3 categorias baseados na absorção de cada frequência:

Frequência/Material	Porosos	Fibrosos	Ressonadores	Membranas
Alta	<b>BOA</b>	<b>BOA</b>	Ruim	Muito Ruim
Media	Ruim	Ruim	<b>BOA</b>	Ruim
Baixa	Ruim	Ruim	Médio	<b>BOA</b>

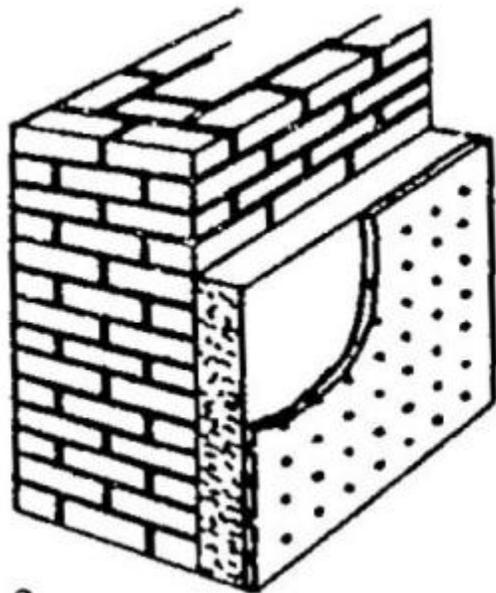
# Tratamento acústico

## Aplicações e estratégias

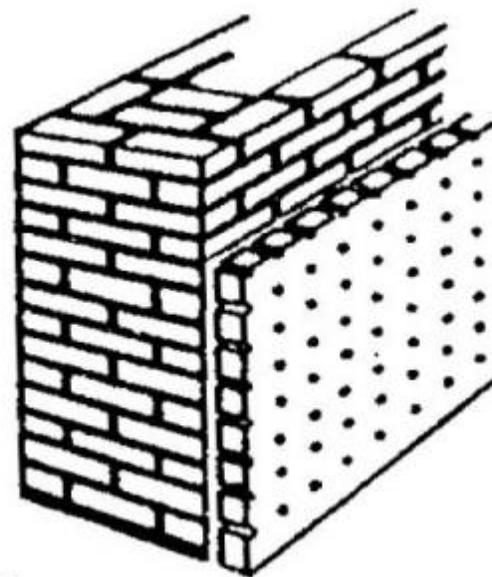
1. Camada porosa sobre parede rígida
2. Camada porosa com revestimento perfurado
3. Placas acústicas perfuradas
4. Placas acústicas estriadas



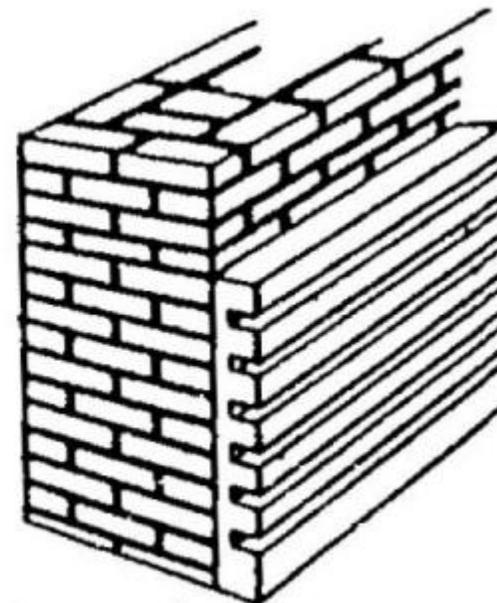
1



2



3



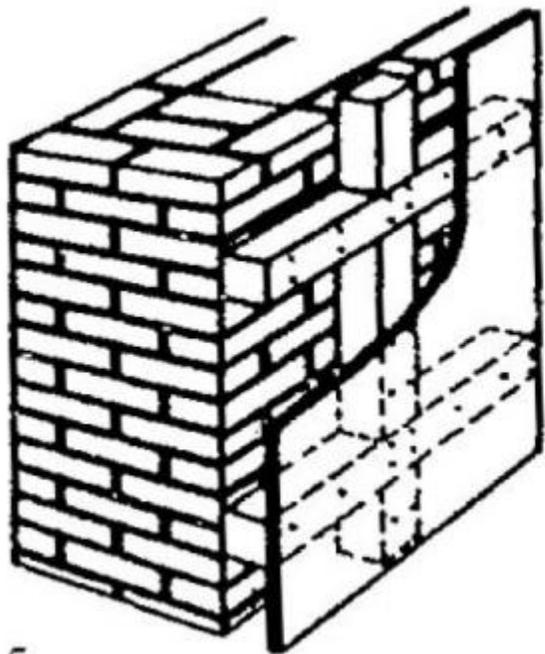
4



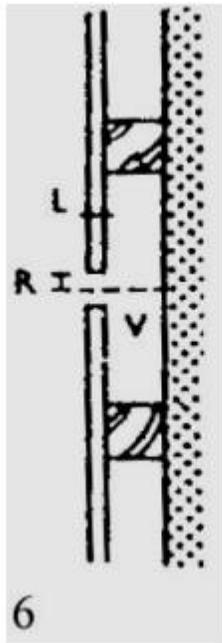
# Tratamento acústico

## Aplicações e estratégias

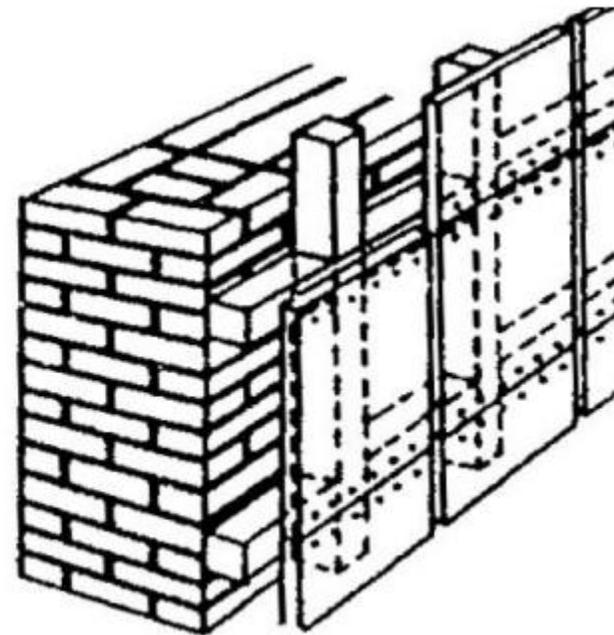
5. Membrana vibrante sobre estrutura de madeira
6. Placas de ressonância de Helmholtz
7. Placas de ressonância com fendas



5



6



7

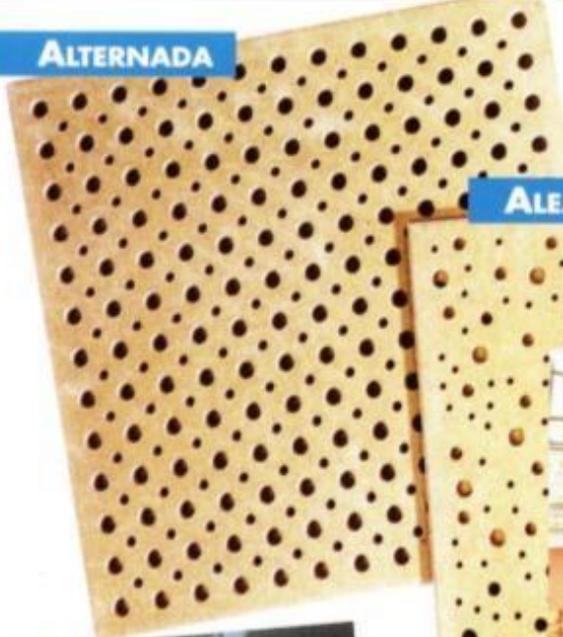
# Tratamento acústico

## Elementos absorventes seletivos - RESSONADORES



VÁRIOS MODELOS DE CHAPAS PERFURADAS OU RANHURADAS  
COM DIVERSAS ESPESSURAS

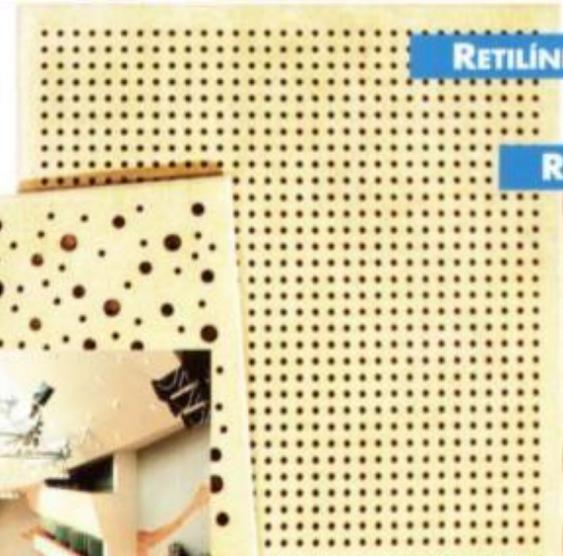
ALTERNADA



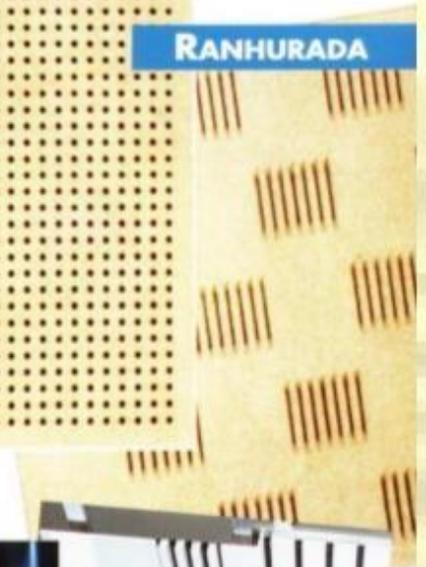
ALEATÓRIA



RETILÍNEA



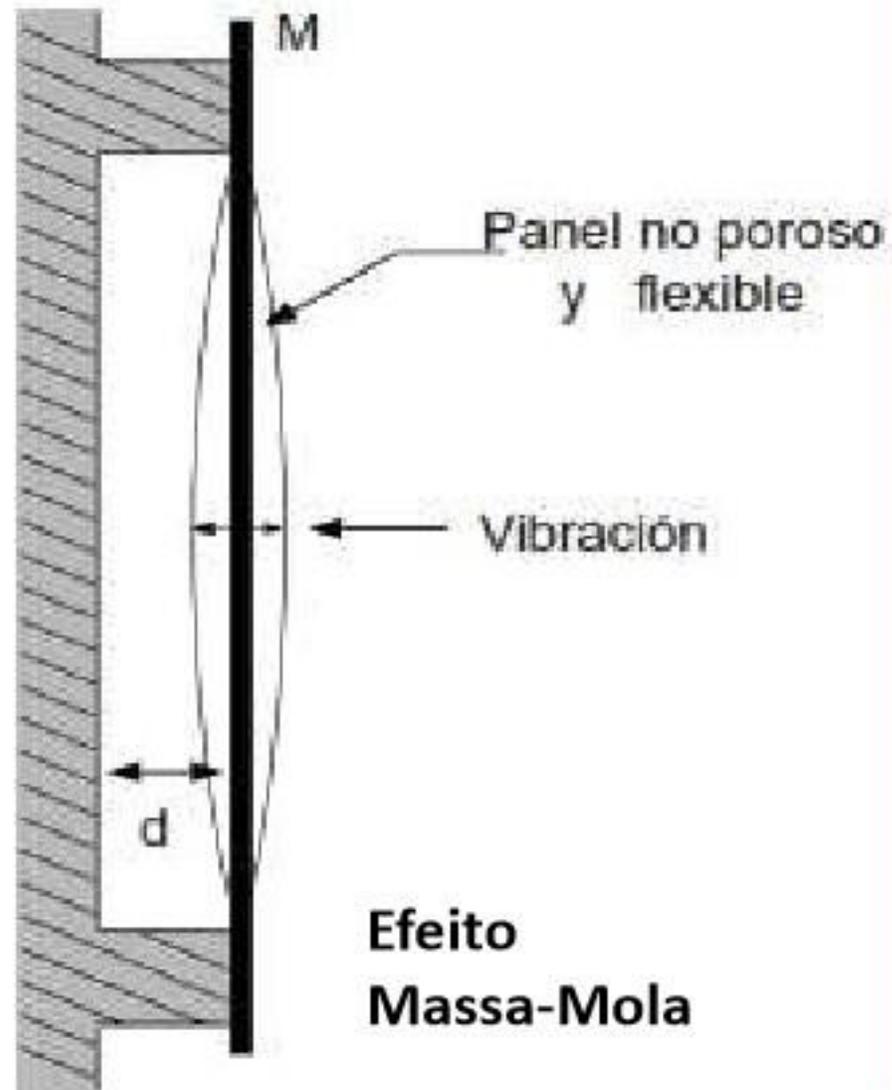
RANHURADA



# Tratamento acústico

## Elementos absorventes seletivos -

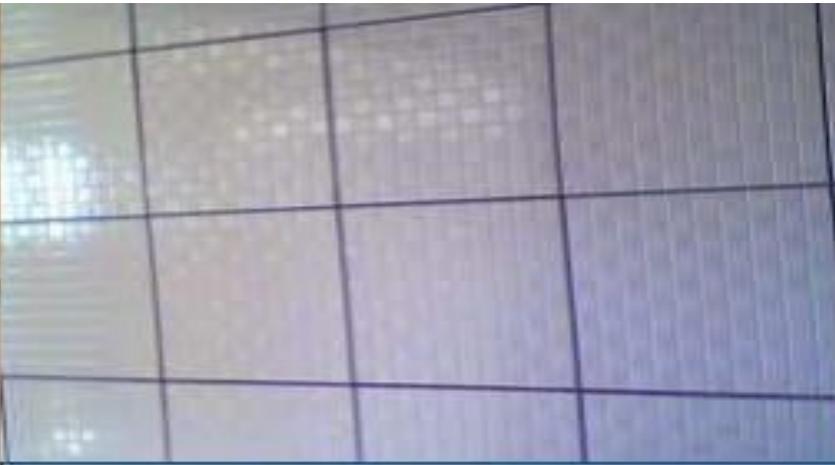
### RESSONADORES



- Painel de compensado é **reflexivo** – quando afastado da parede **absorve graves**;
- Mesmo ocorre com painéis de gesso cartonado;

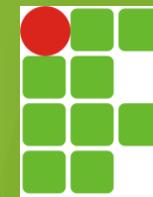
# Tratamento acústico

## Materiais REFLEXIVOS



# Tratamento acústico

## Materiais LIGEIRAMENTE ABSORVENTES



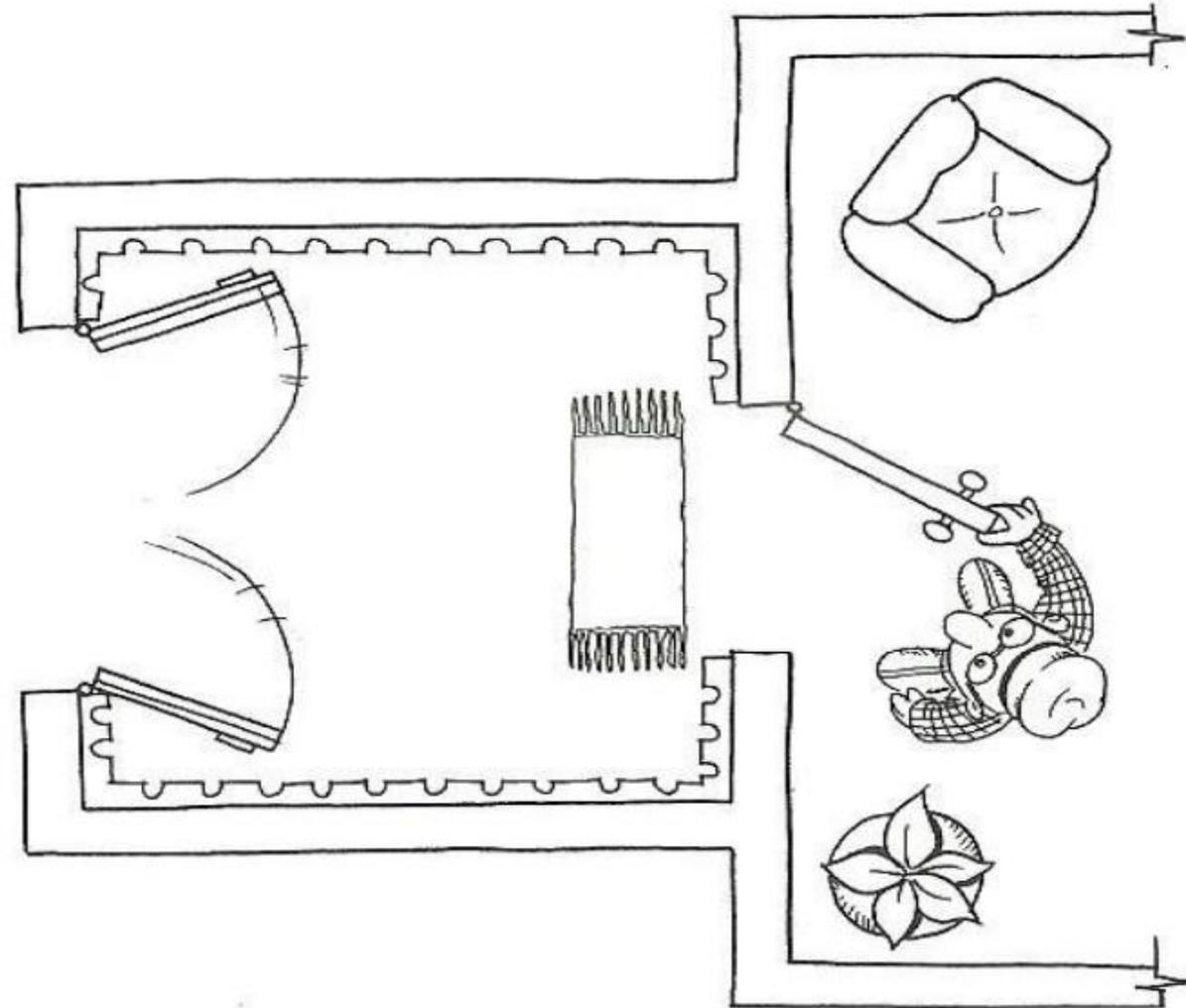
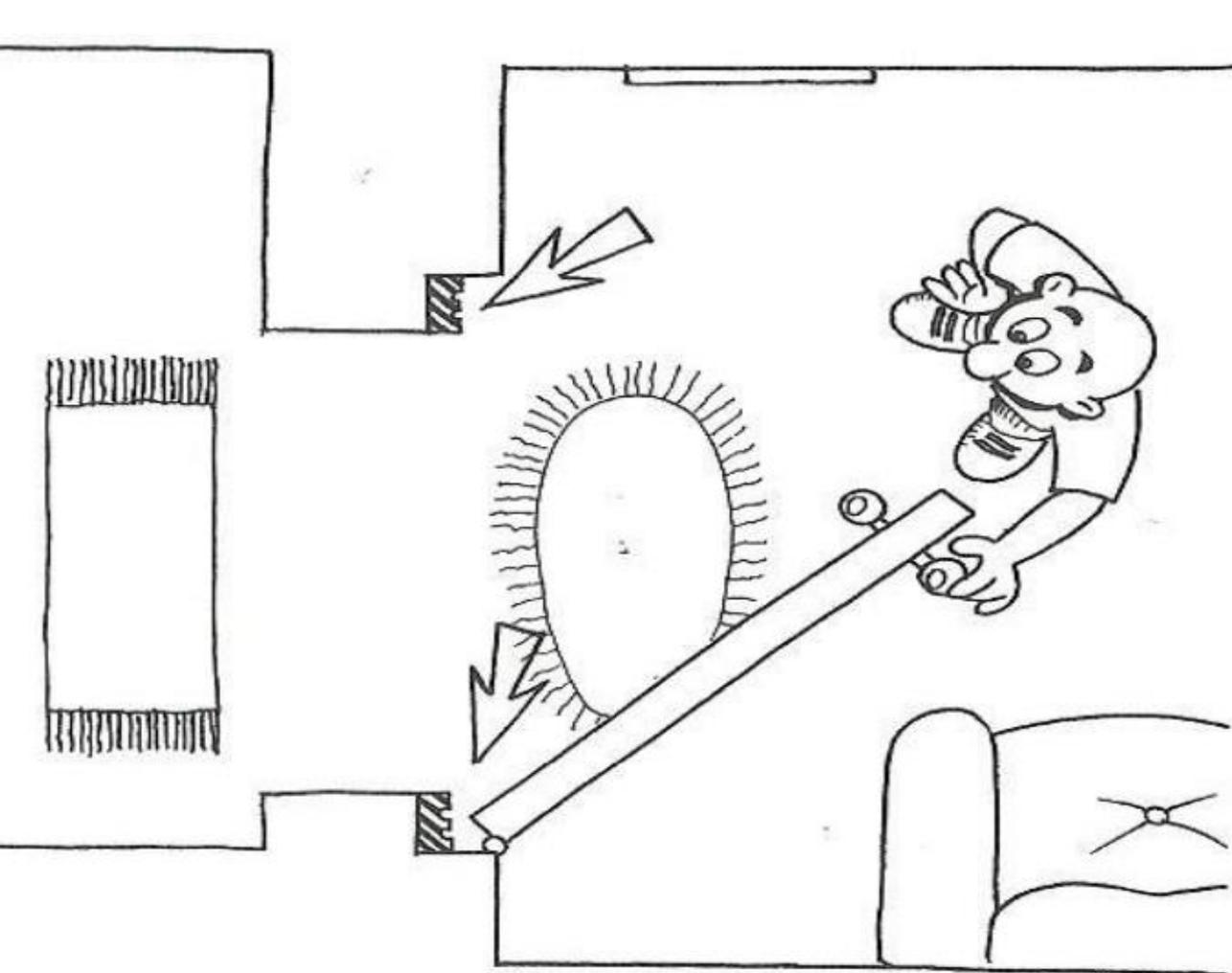
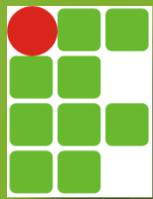
# Tratamento acústico

## Materiais ABSORVENTES



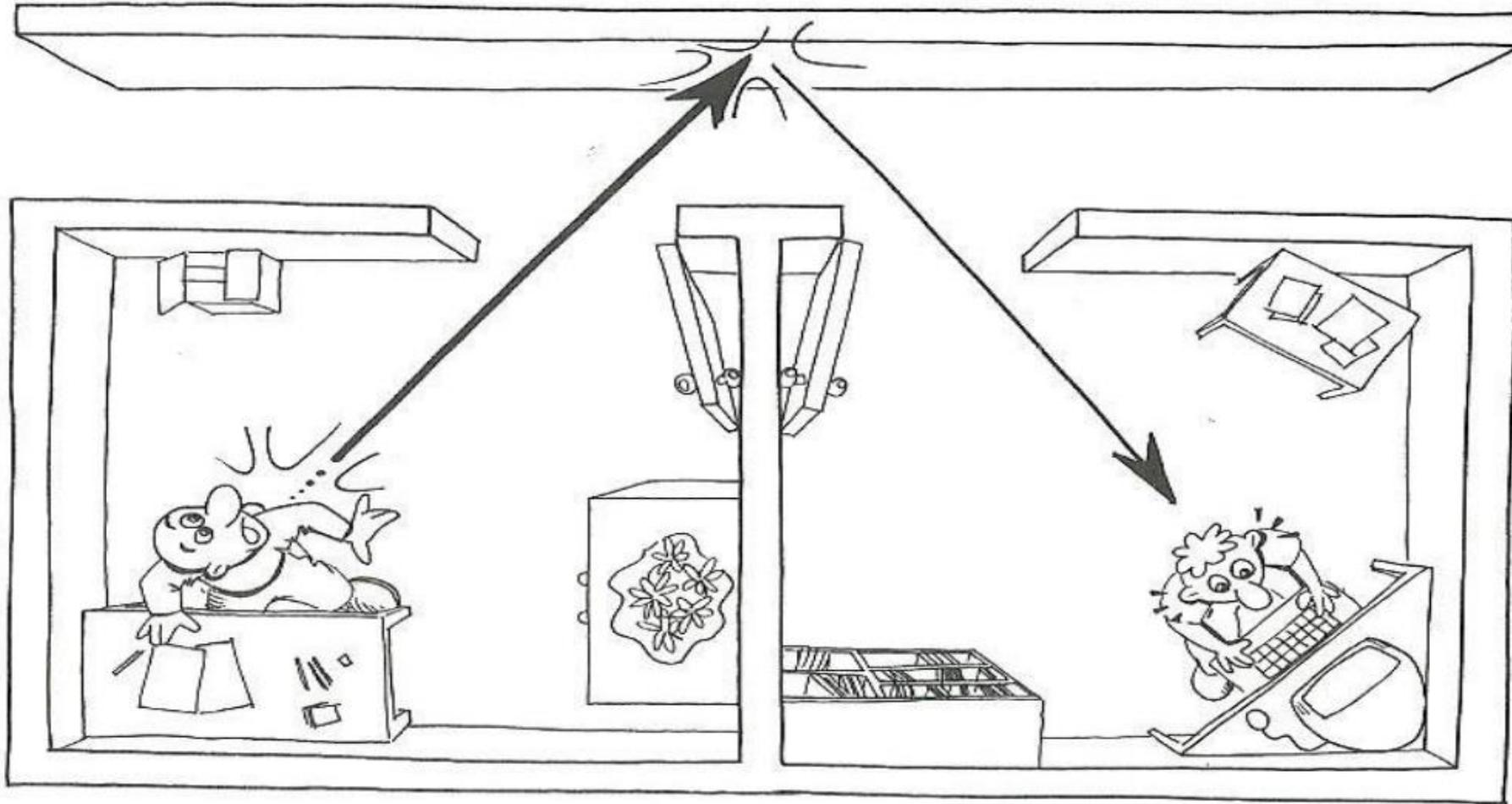
# Tratamento acústico

## Estratégias



# Tratamento acústico

## Estratégias



# Tratamento acústico

## Estratégias

