



ACÚSTICA NOS EDIFÍCIOS

CALOS FAFAIOL
(IST)

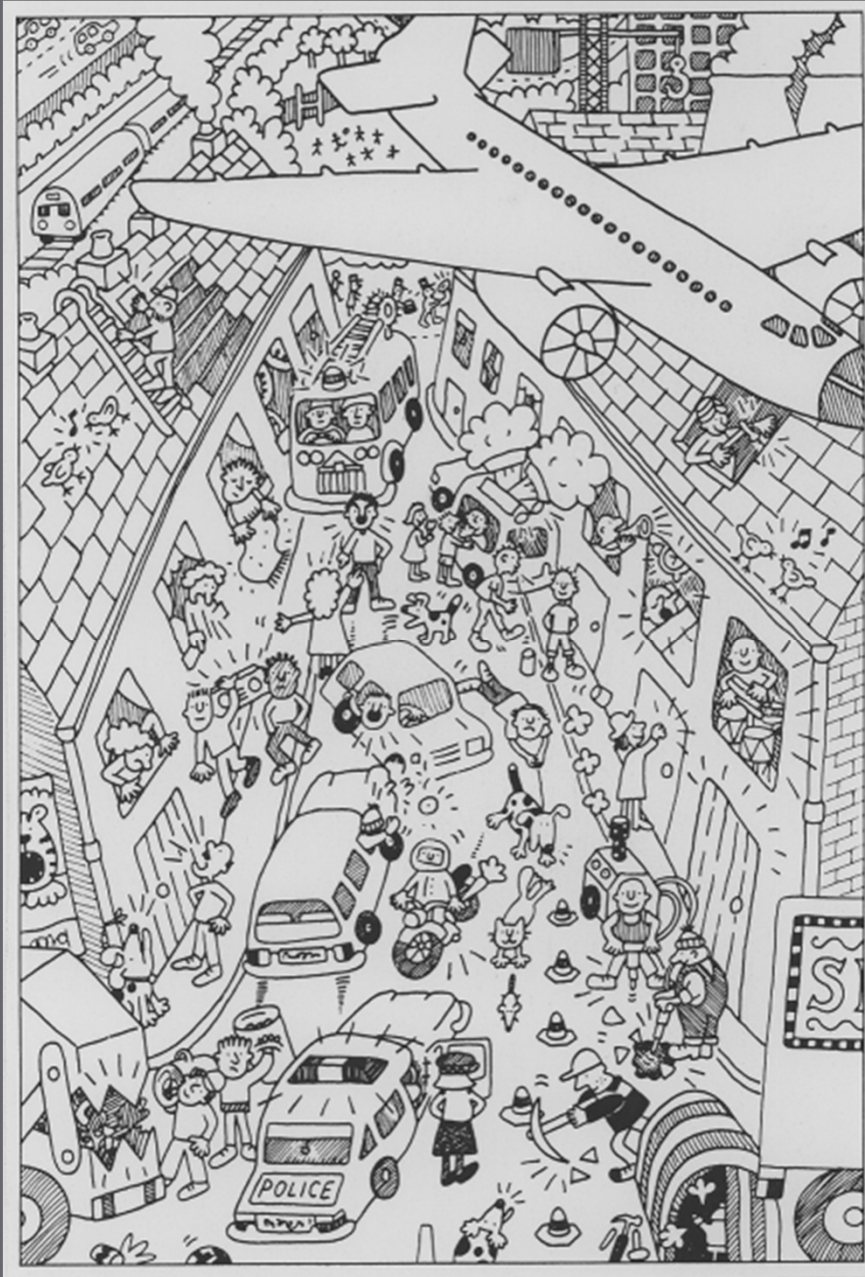
ACÚSTICA NOS EDIFÍCIOS

índice temático:

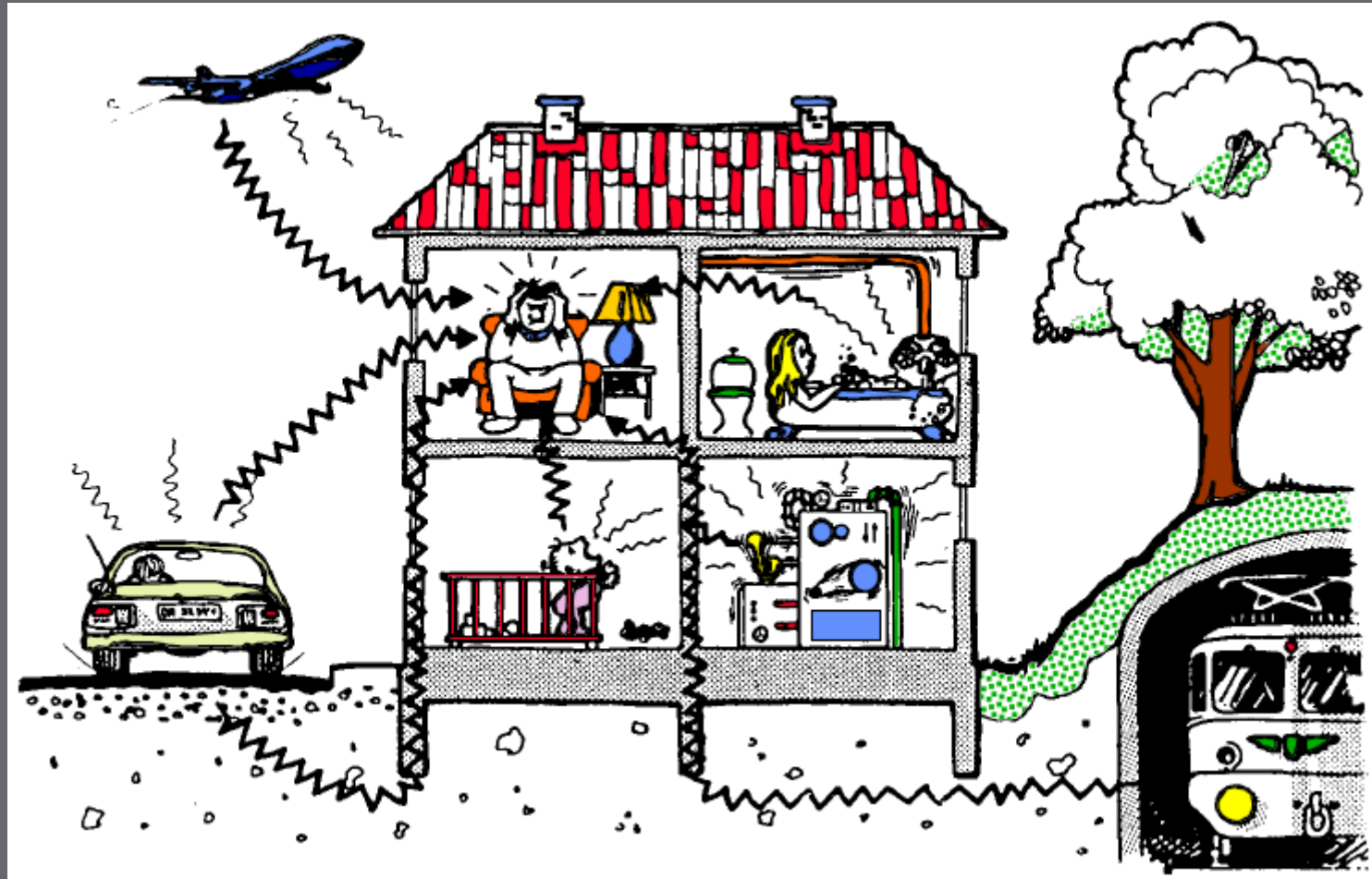
- introdução
- noções teóricas
- disposições regulamentares aplicáveis
 - RGR
 - RRAE
 - licenciamentos
 - operações urbanísticas
 - novos edifícios
 - edifícios existentes
- materiais e soluções construtivas em edifícios
- construção, adaptação e reabilitação acústica de edifícios

introdução

acústica no ambiente urbano

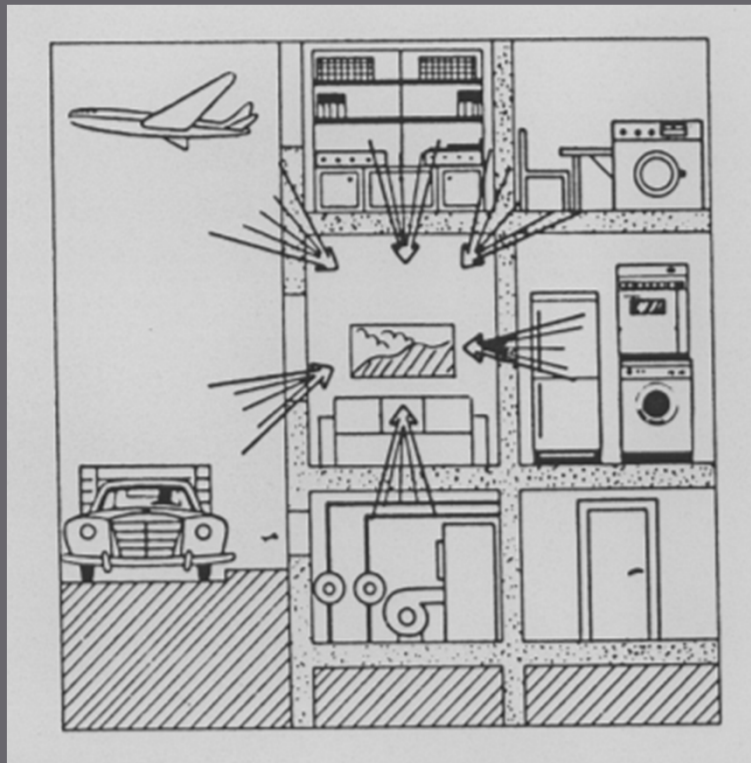


acústica nos edifícios

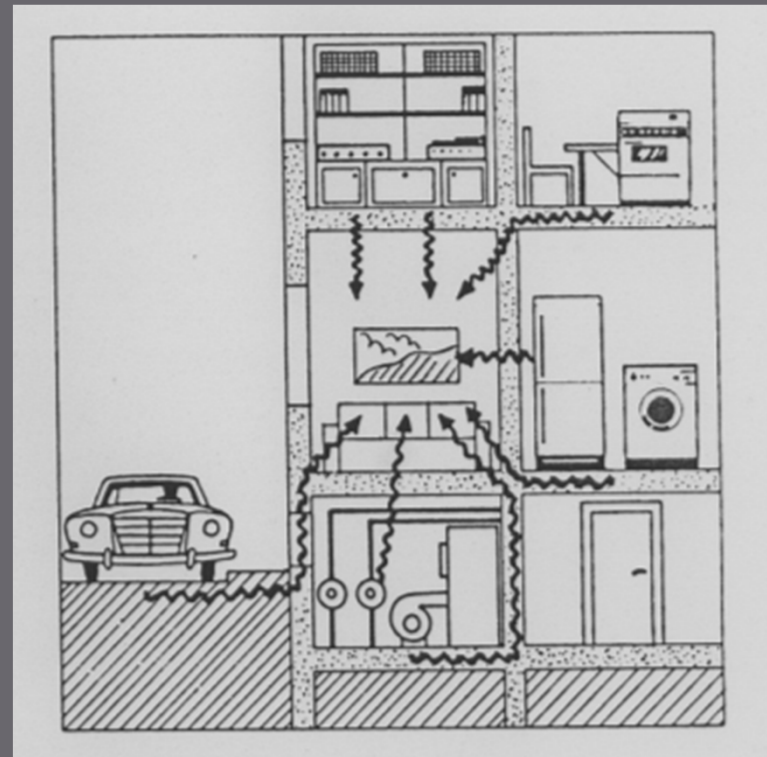


acústica nos edifícios

- ruídos de transmissão aérea:



- ruídos de transmissão estrutural:

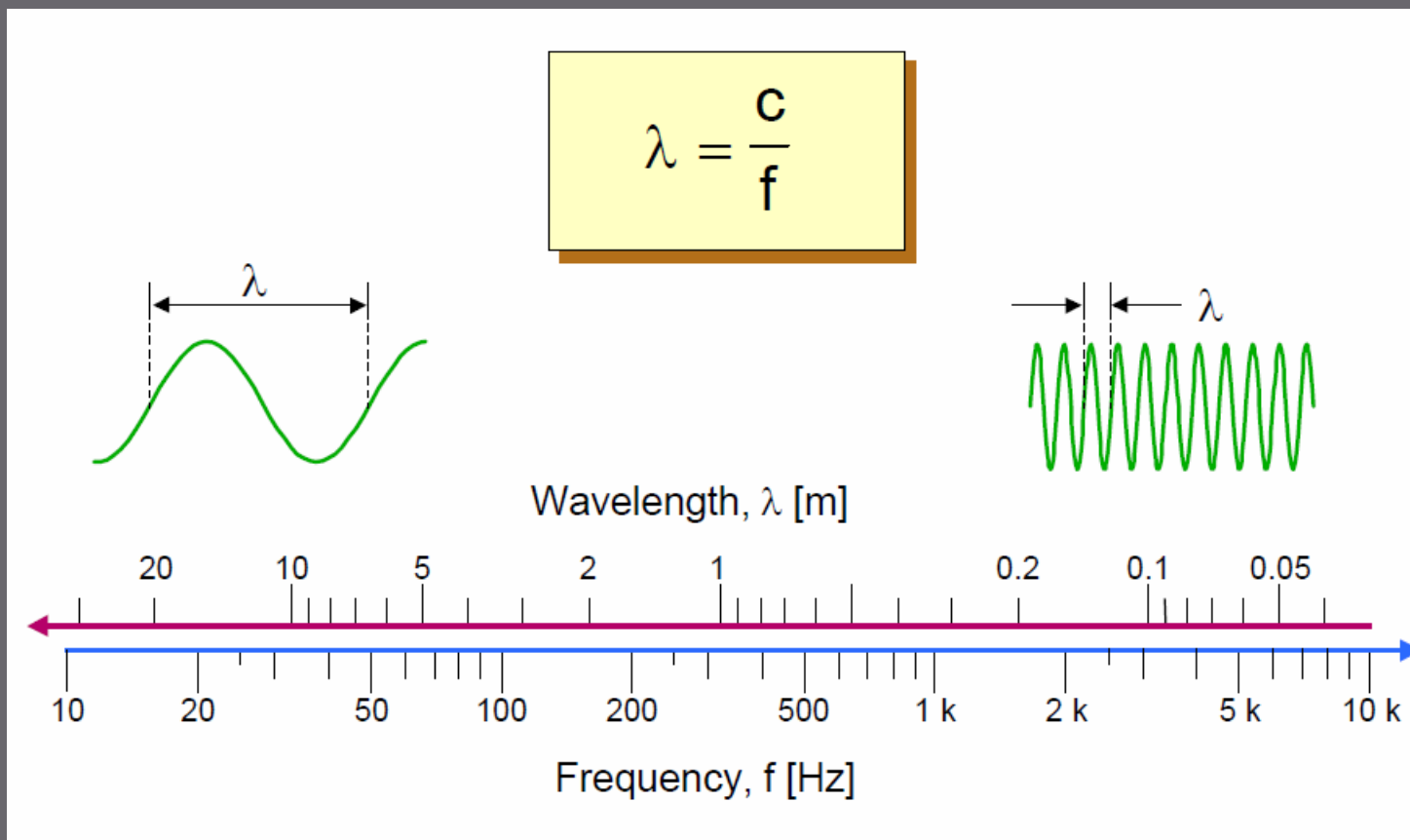


noções teóricas

conceitos básicos em
acústica de edifícios

banda de áudio

– frequência / comprimento de onda:

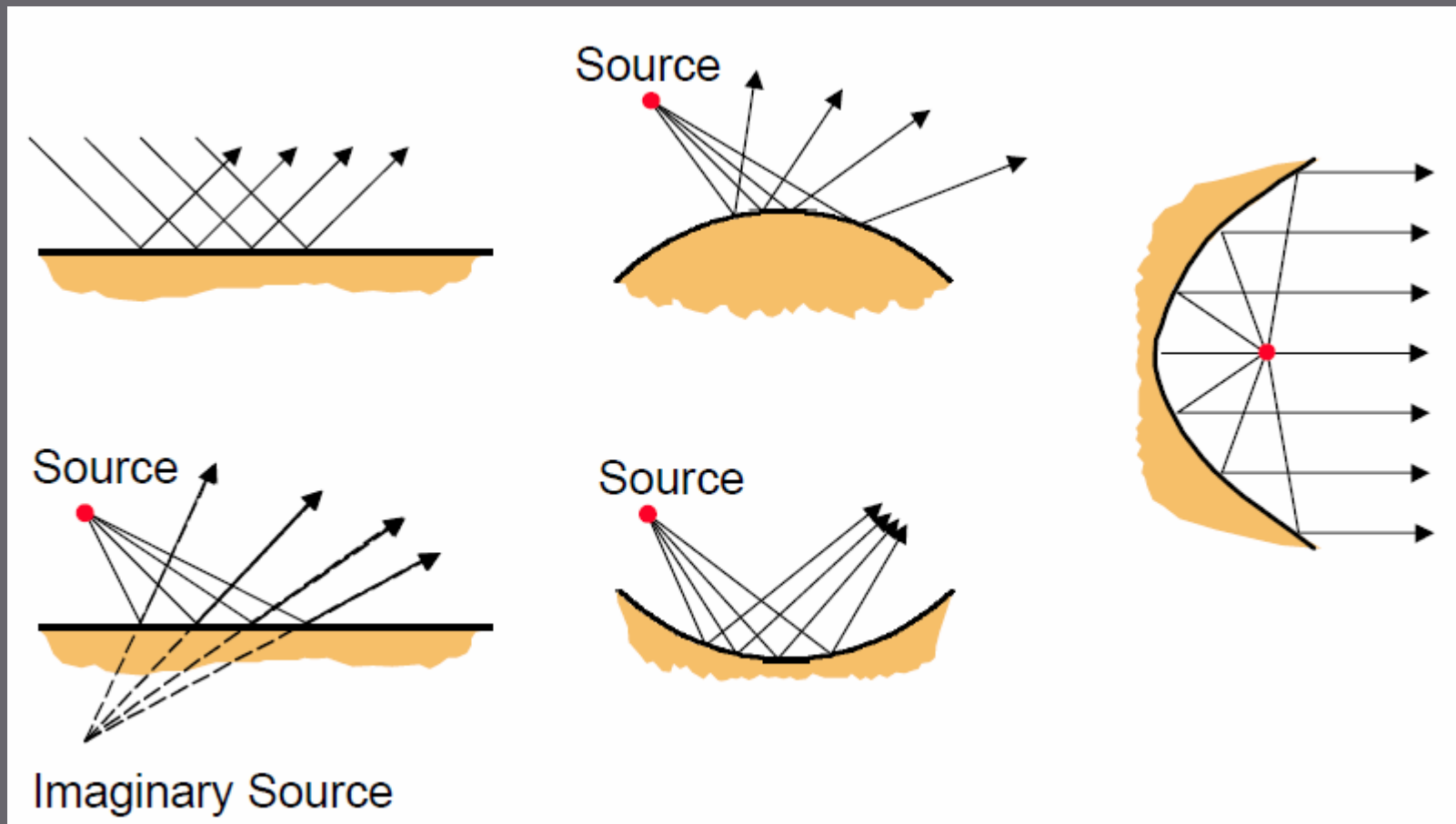


$f = 100 \text{ Hz}$
 $\rightarrow \lambda = 3,4 \text{ m}$

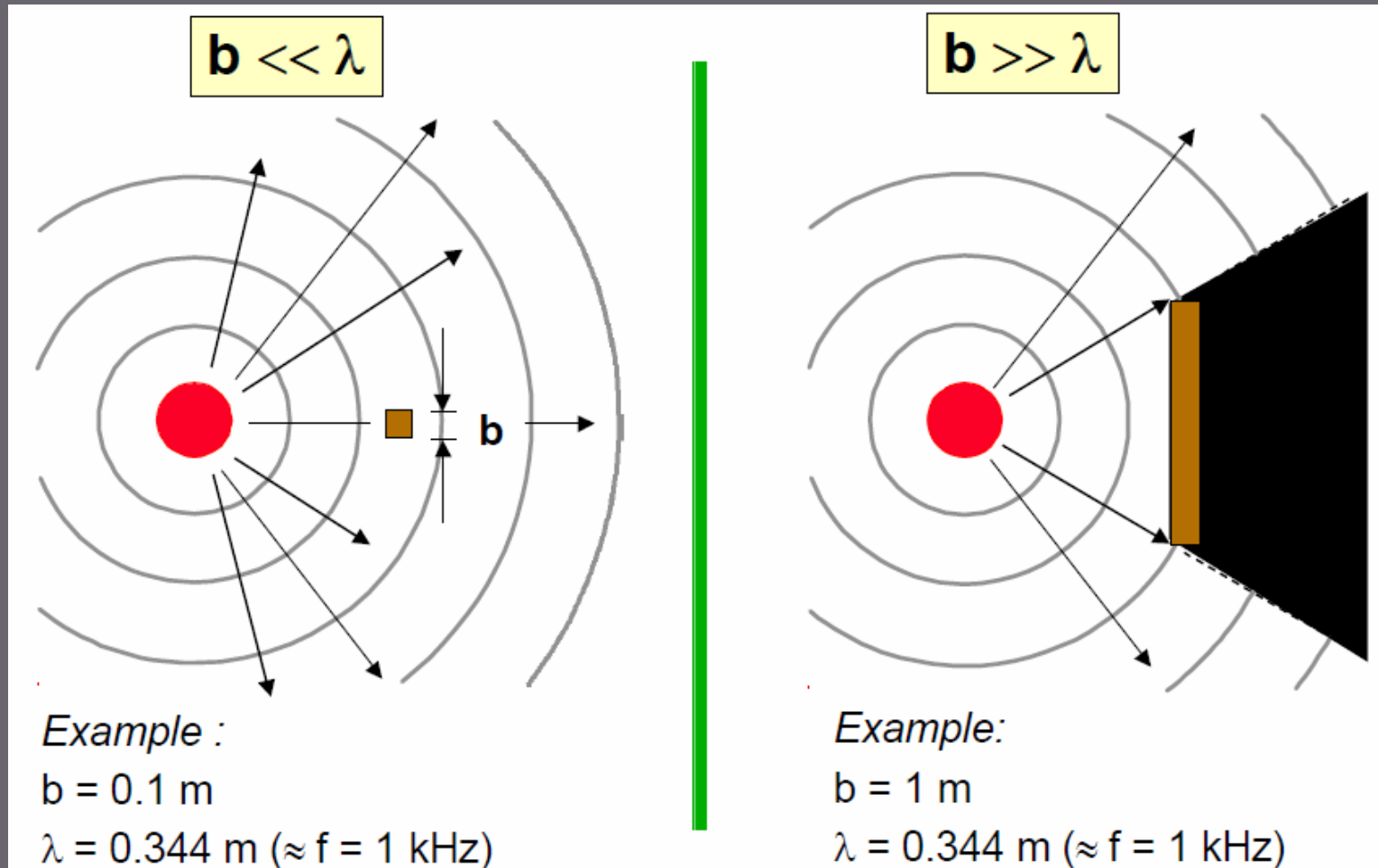
$f = 1.000 \text{ Hz}$
 $\rightarrow \lambda = 34 \text{ cm}$

$f = 10.000 \text{ Hz}$
 $\rightarrow \lambda = 3,4 \text{ cm}$

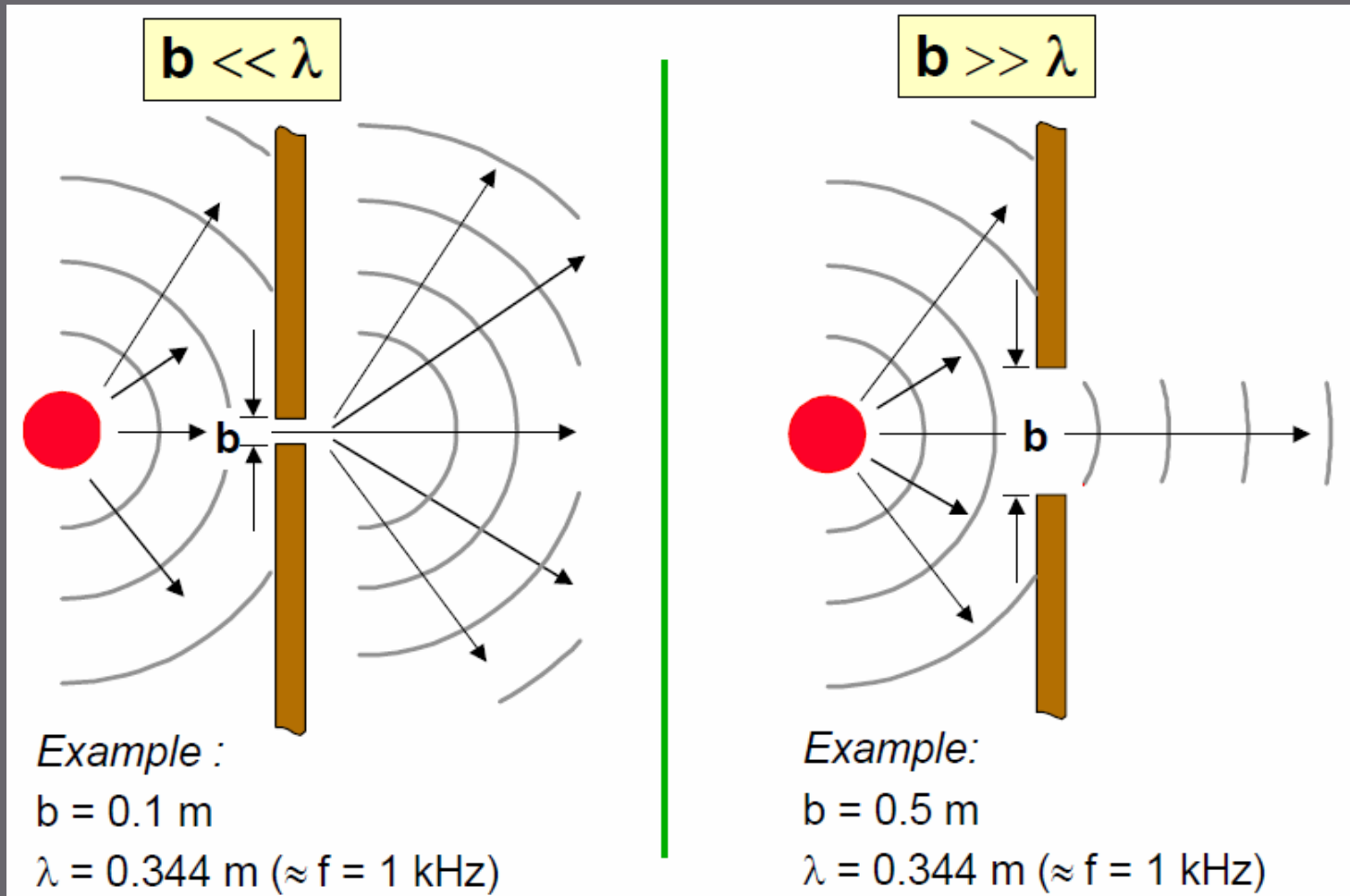
fenómenos da propagação
- reflexão:



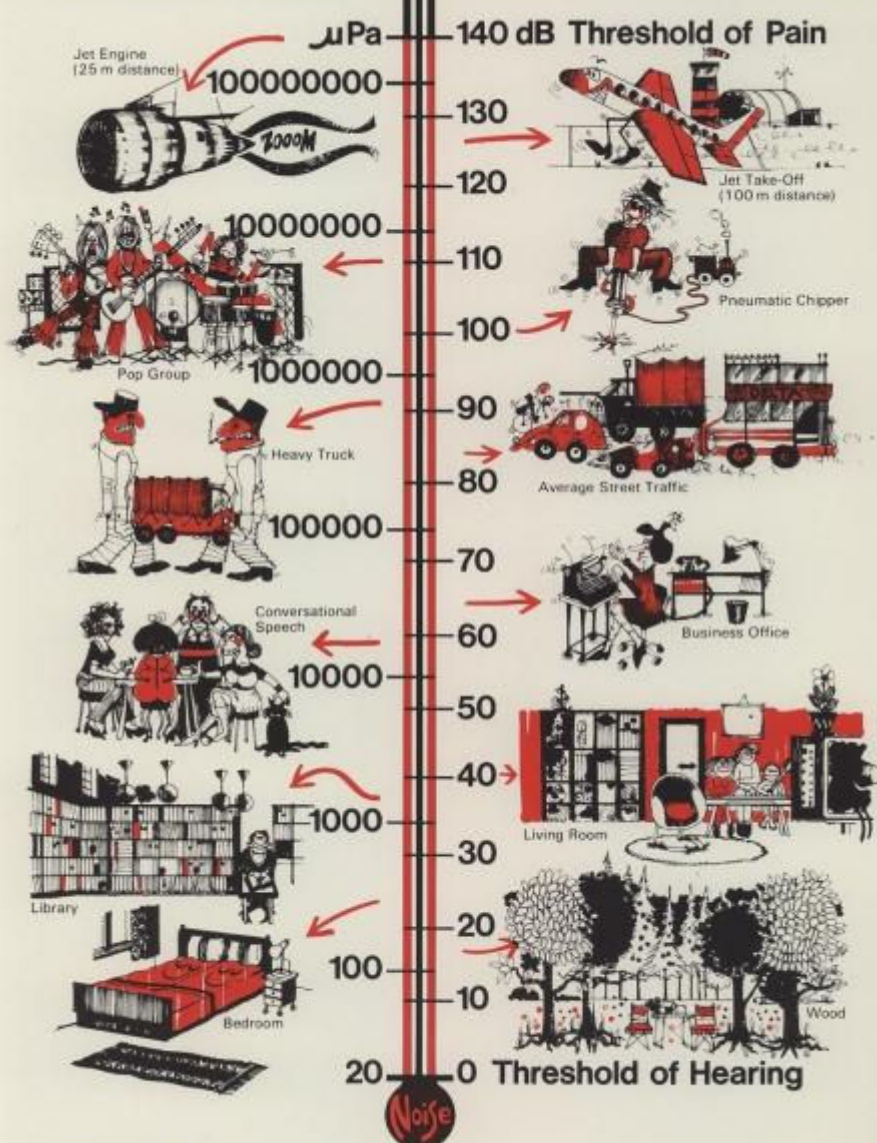
fenómenos da propagação
- difracção:



fenómenos da propagação
- difusão:



Sound Pressure Sound Pressure Level

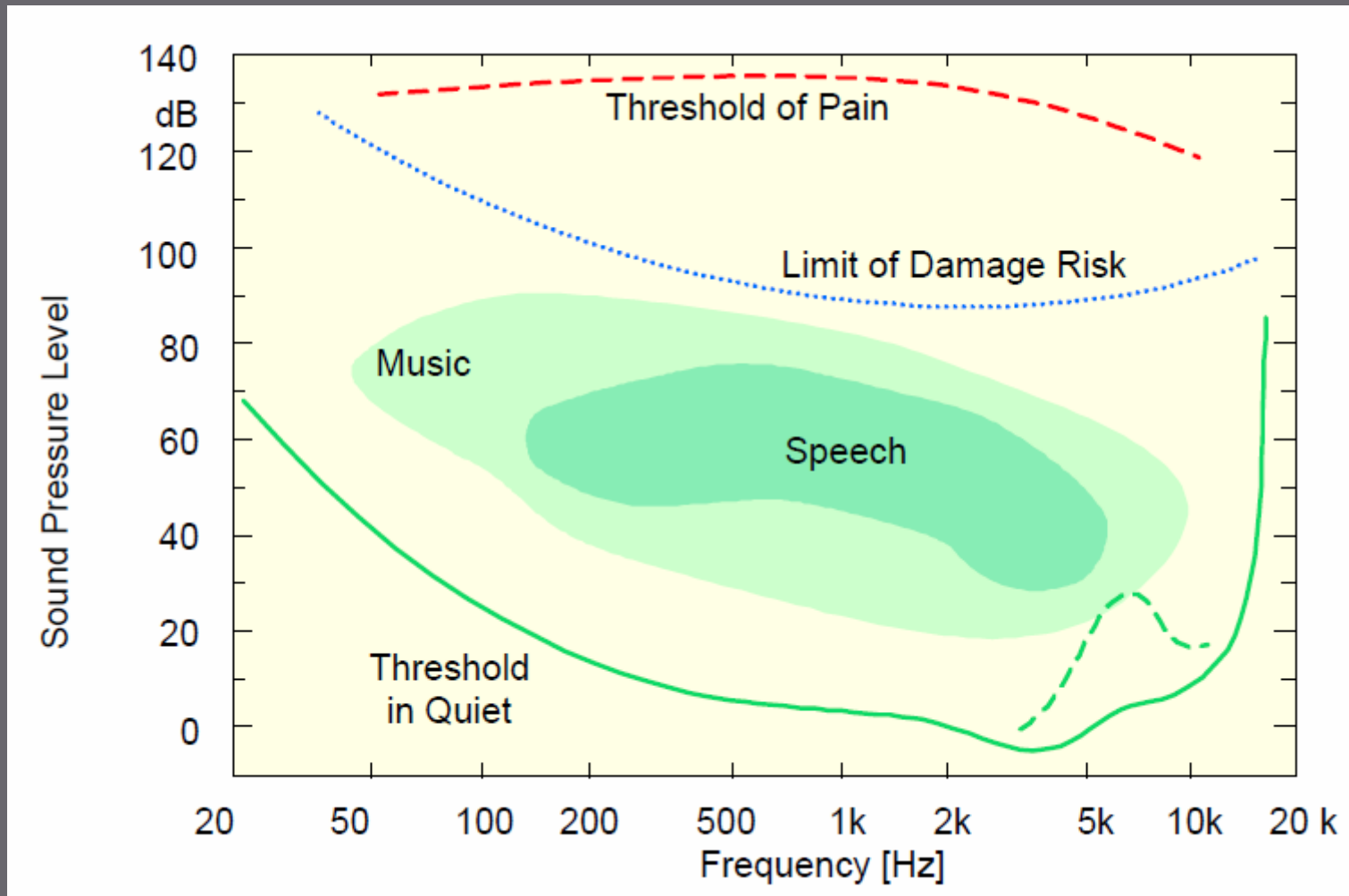


Brüel & Kjær

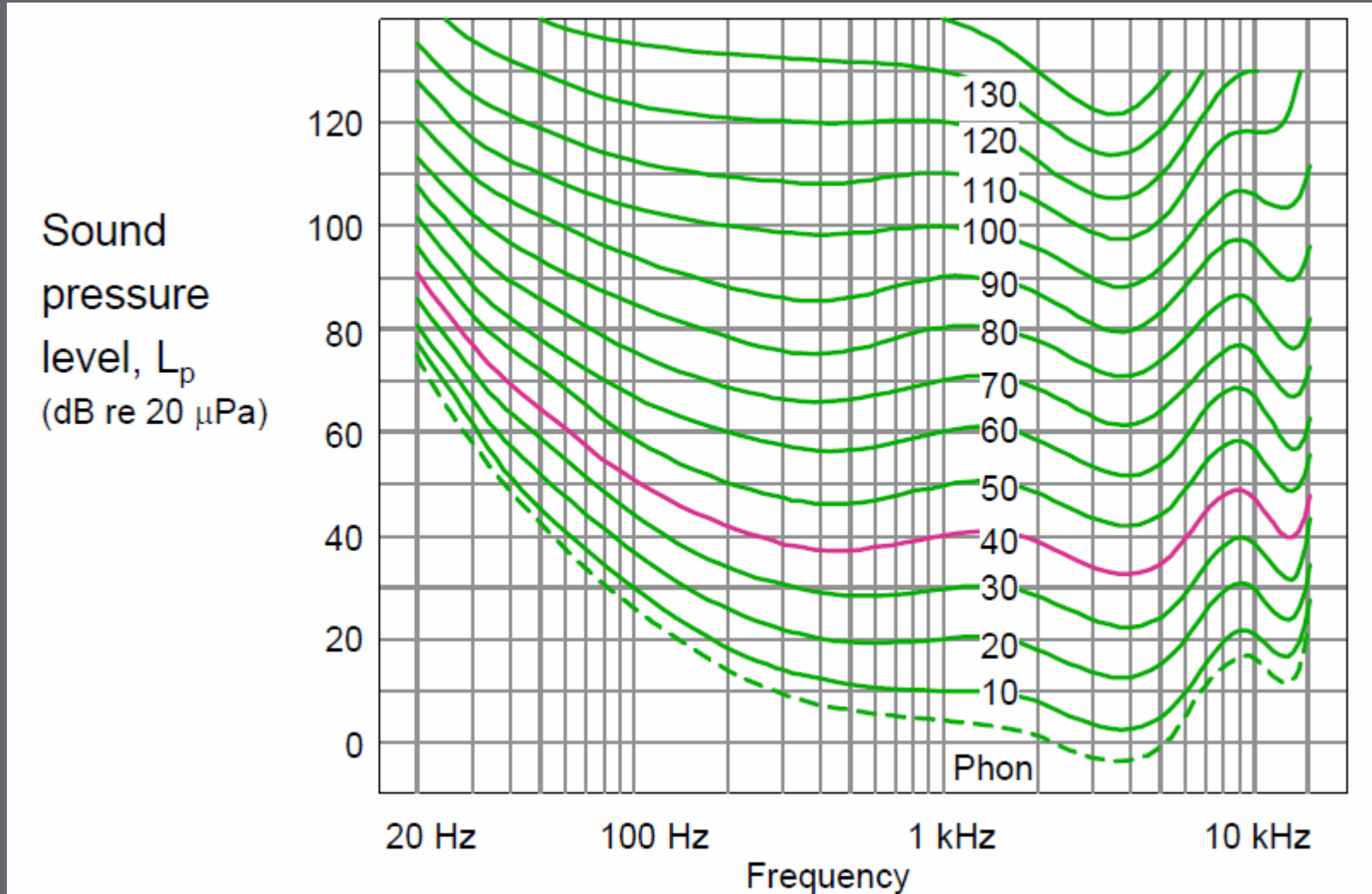
DK-2650 Naerum - Denmark · Telephone: +45 2800 6000 · Telex: 37316 bruks dk · Fax: 02 80 14 05

15-145

campo sonoro da audição humana

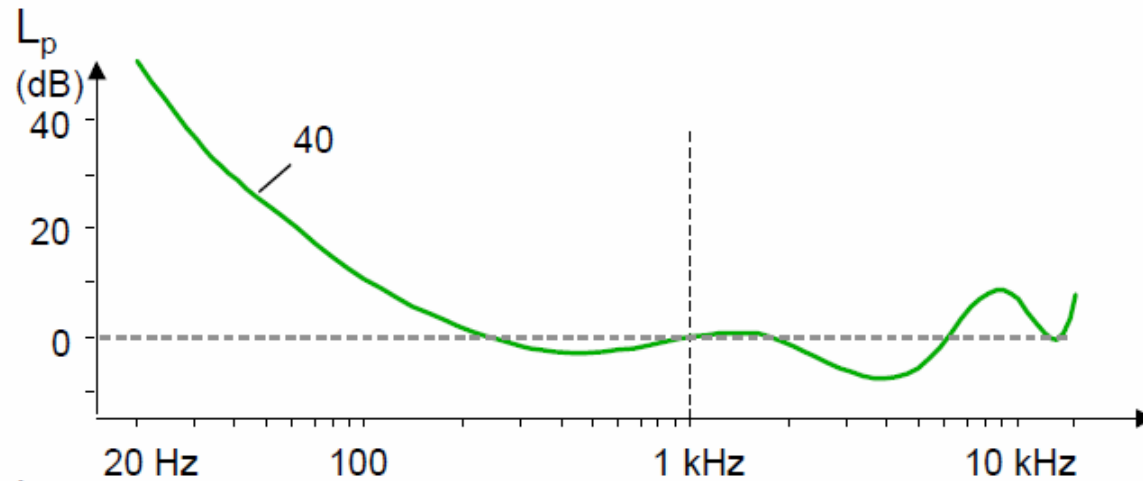


curvas de igual sensação auditiva ('equal loudness')

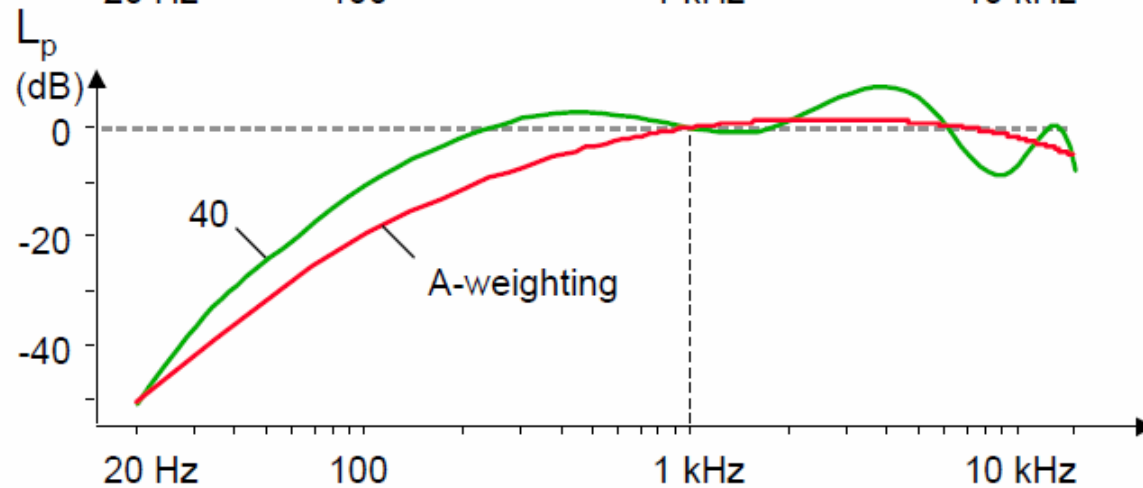


curva de ponderação 'A' → dB(A)

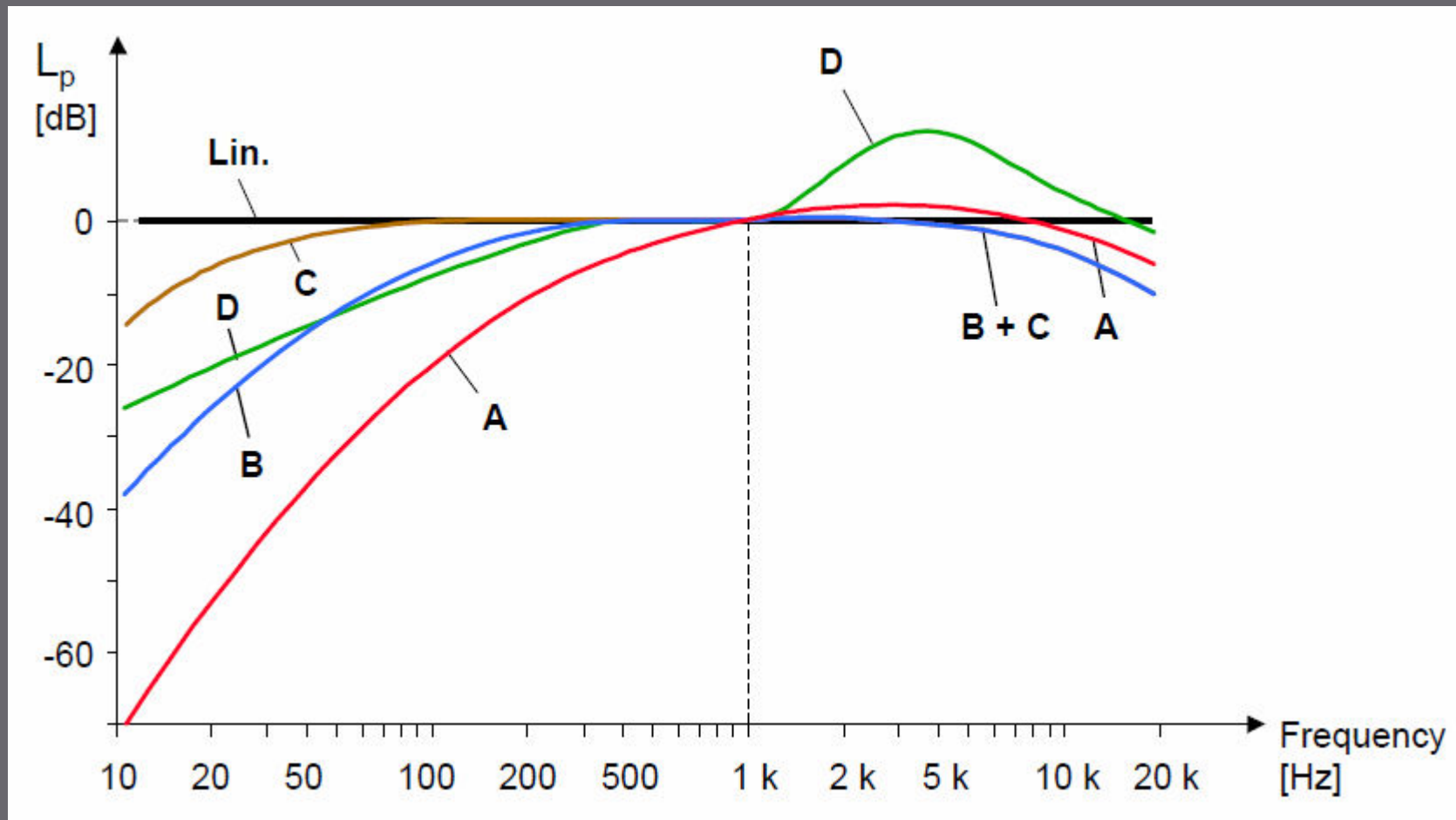
- 40 dB Equal Loudness Contour normalized to 0 dB at 1 kHz



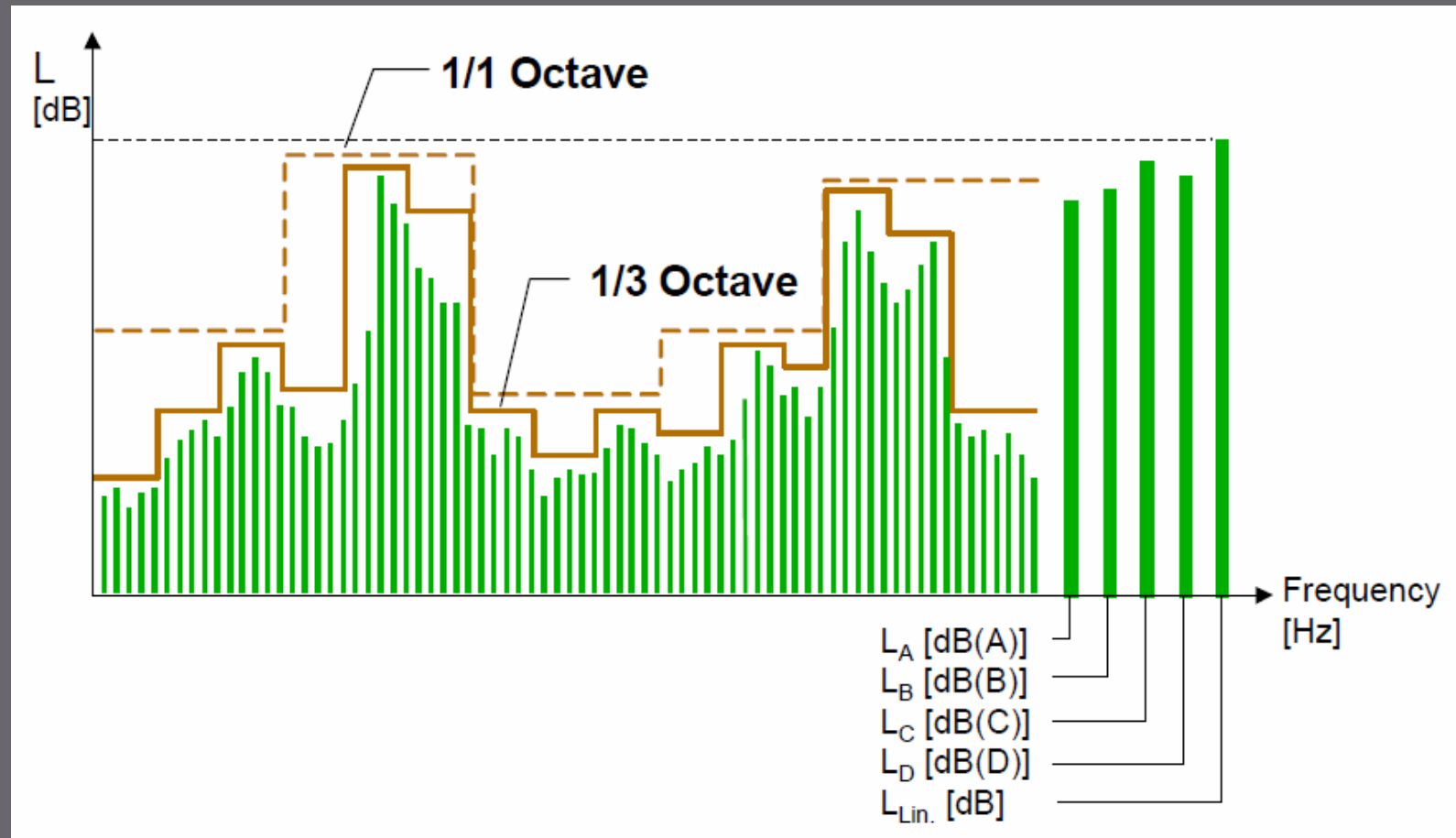
- 40 dB Equal Loudness Contour inverted and compared with A-weighting



curvas de ponderação na frequência mais usuais

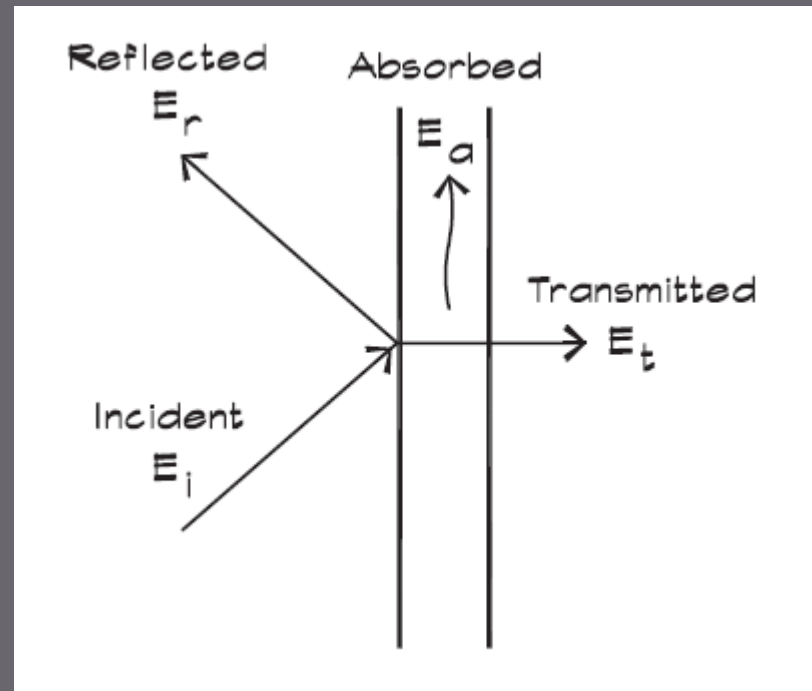


análise em frequência

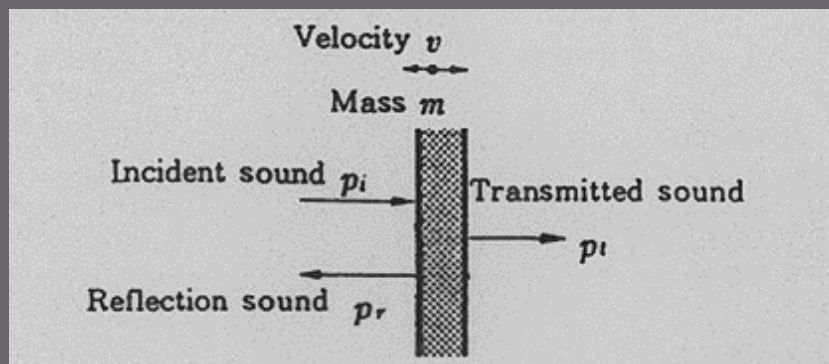
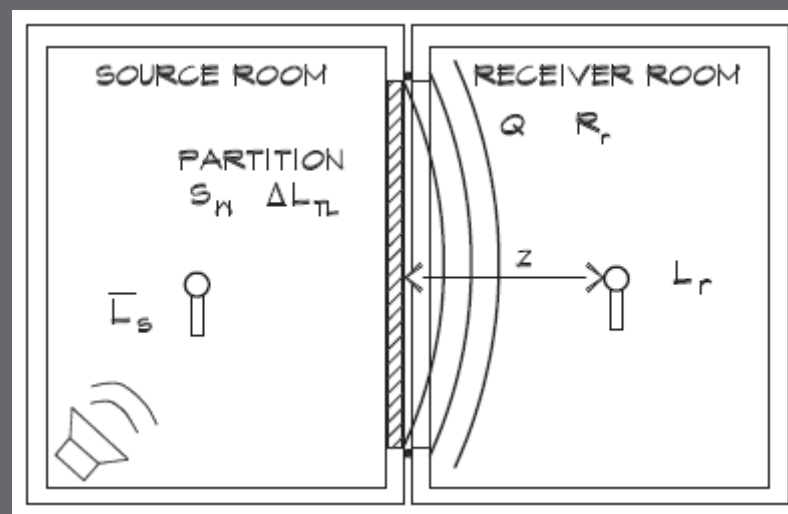


interacção entre as ondas sonoras e os meios sólidos

- incidência \ reflexão \ transmissão \ absorção:



interacção entre as ondas sonoras e os meios sólidos
 - isolamento sonoro:

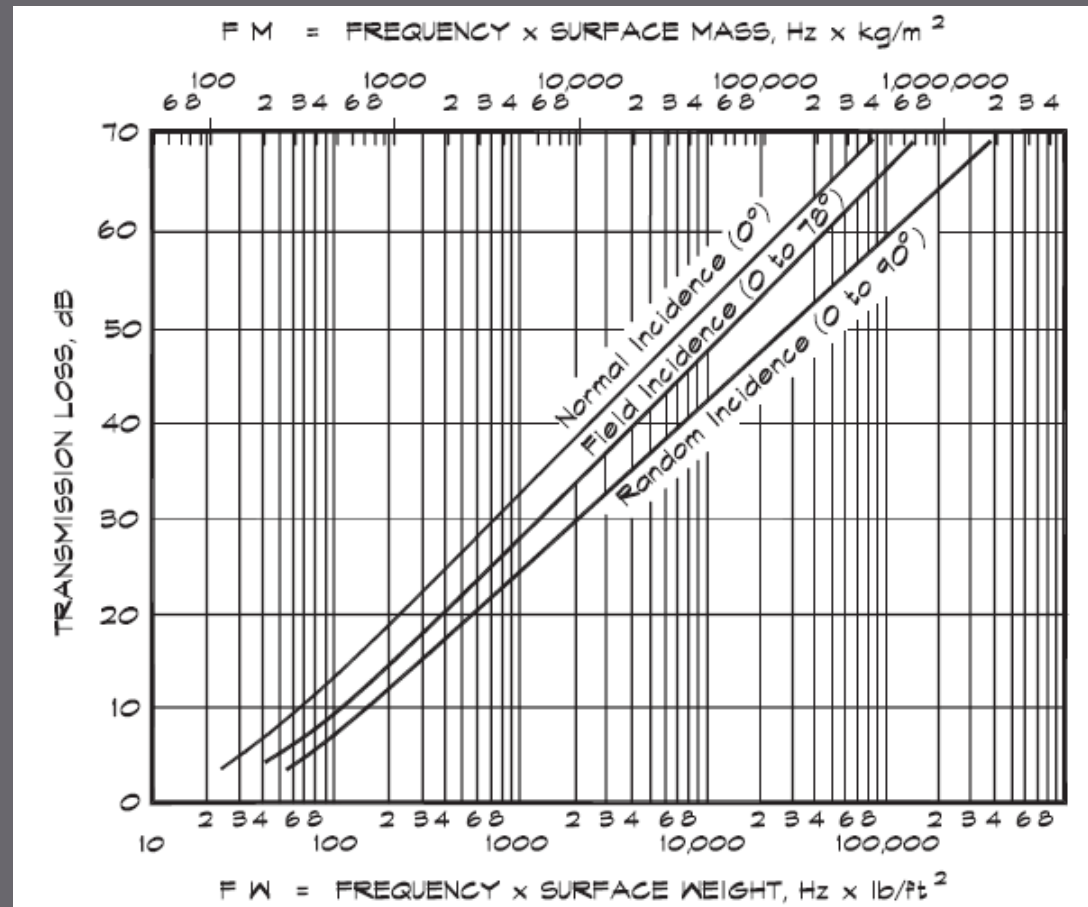


transmission loss is

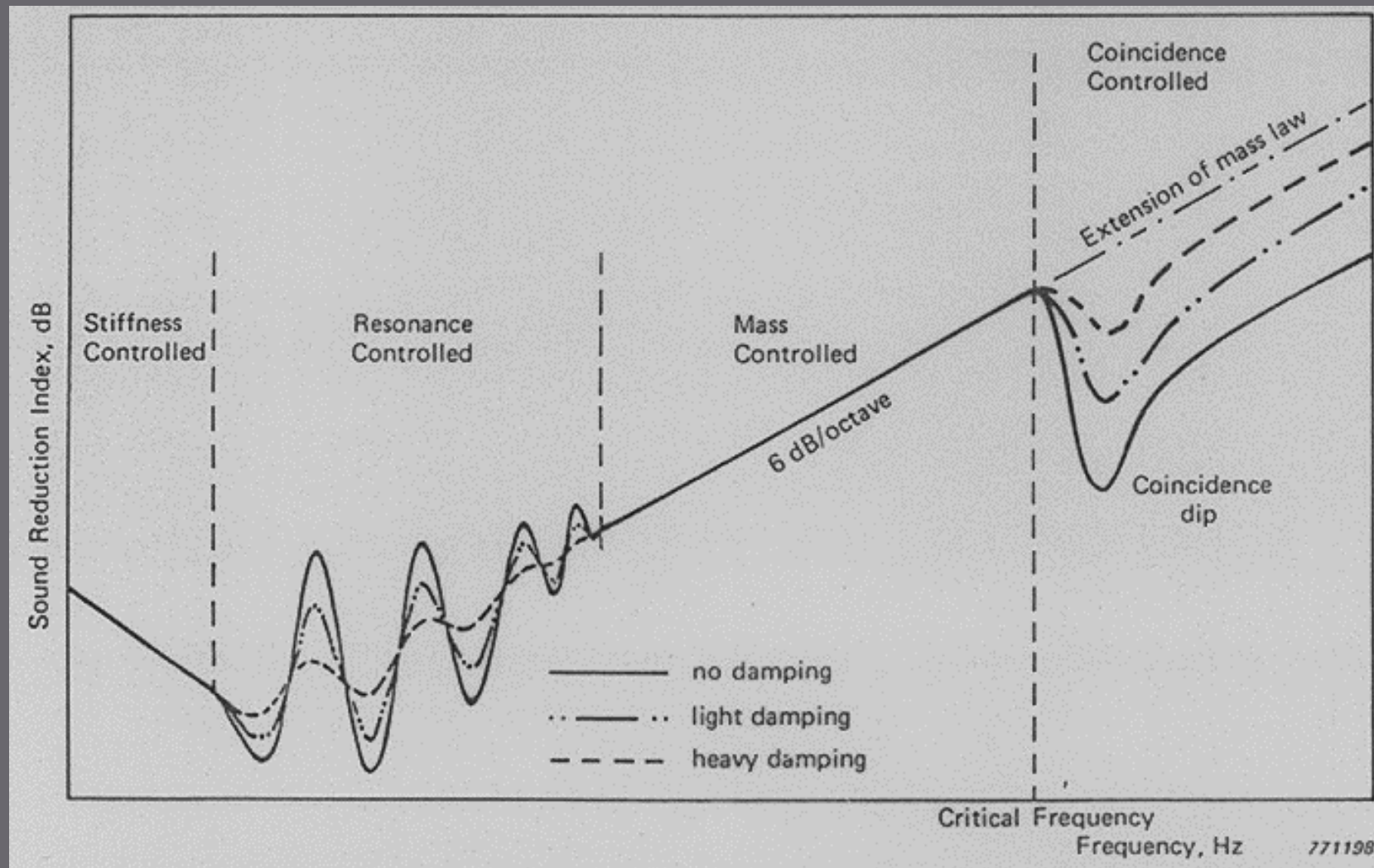
$$R_0 = 10 \log_{10} \frac{1}{\tau} = 10 \log_{10} \left| \frac{p_i}{p_t} \right|^2$$

isolamento sonoro
 - 'lei da massa':

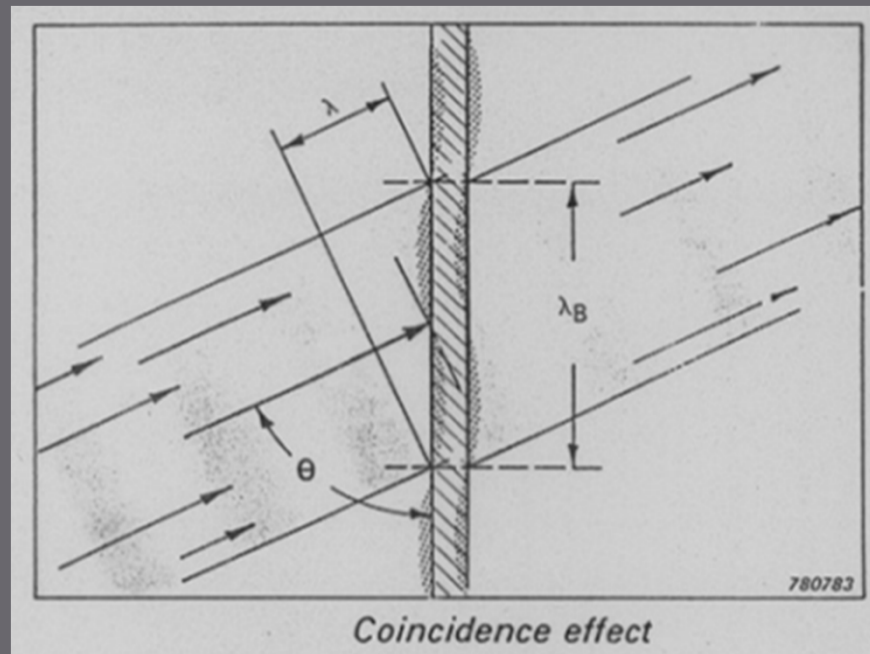
$$\tau_{\theta} = \left[1 + \left(\frac{\omega m_s \cos \theta}{2 \rho_0 c_0} \right)^2 \right]^{-1}$$



isolamento sonoro de um elemento divisório - desempenho vs frequência:



isolamento sonoro de um elemento divisório
- efeito de coincidência:

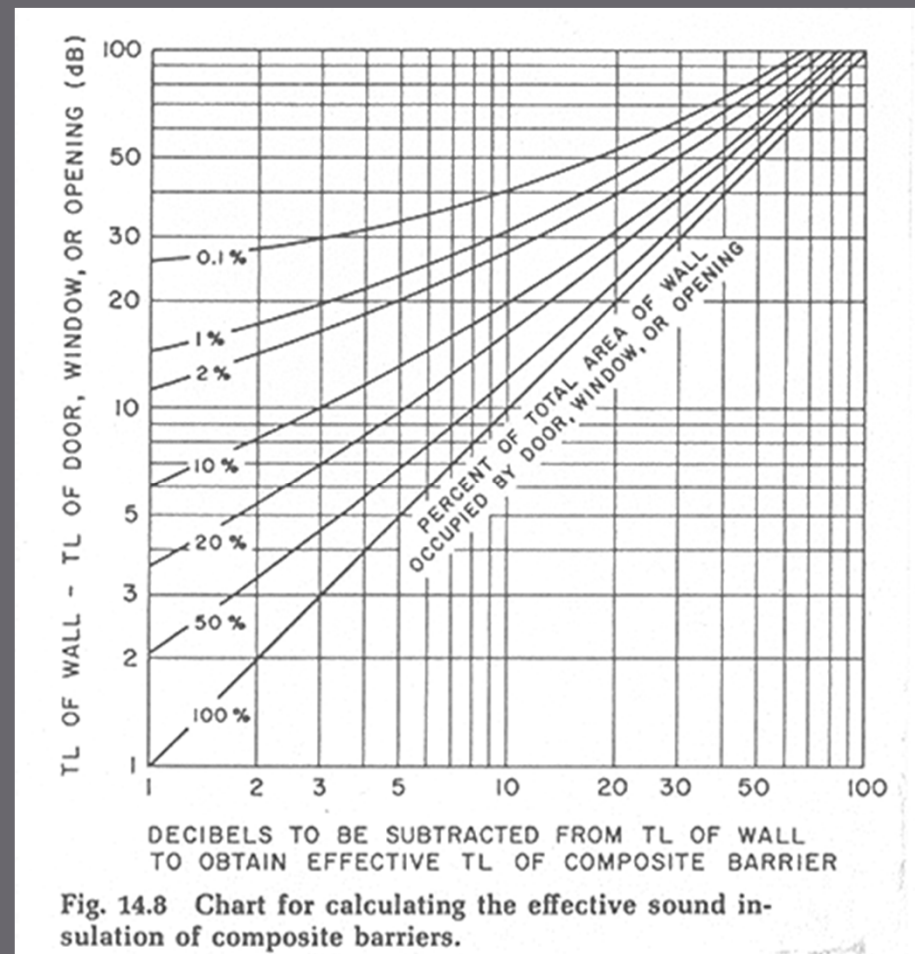


The condition for coincidence to occur is

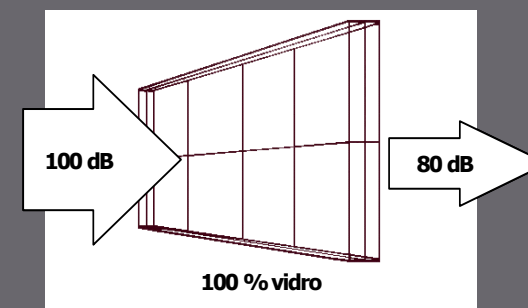
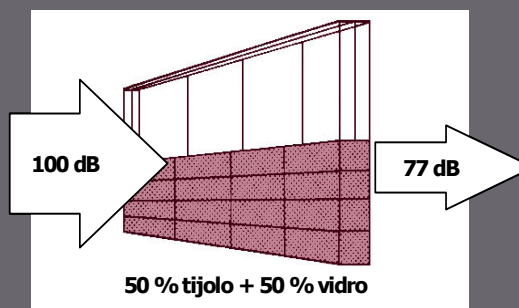
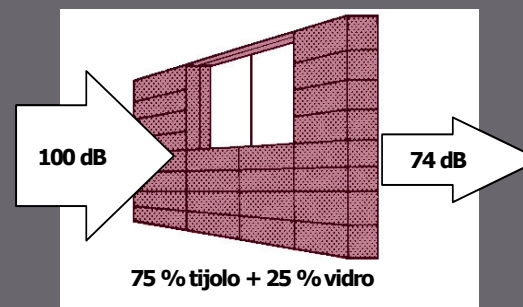
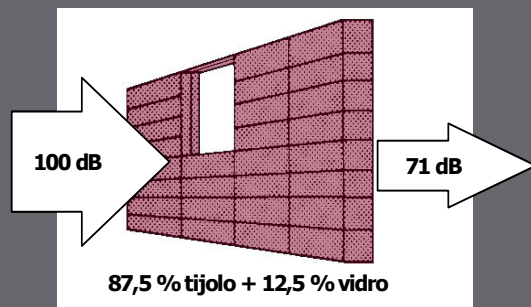
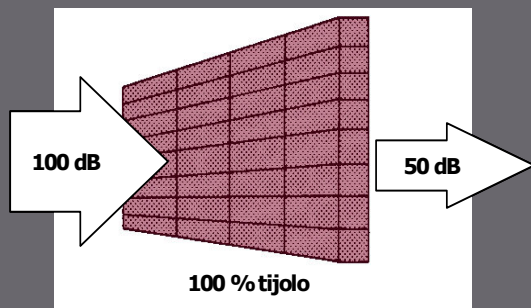
$$\sin \theta = \frac{\lambda}{\lambda_B}$$

where λ = wavelength of sound in air
 λ_B = wavelength of sound in the wall

isolamento sonoro de divisórias compostas



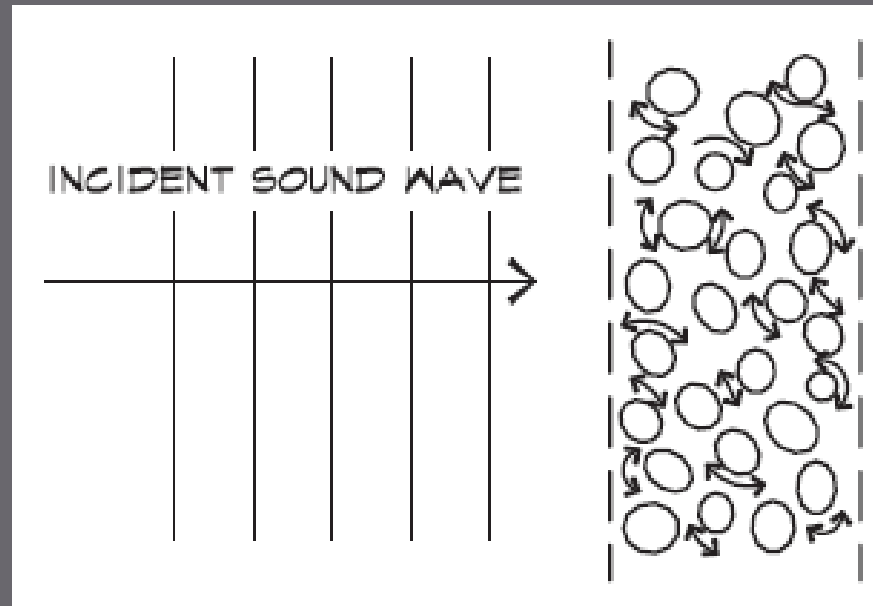
isolamento sonoro de divisórias compostas



absorção

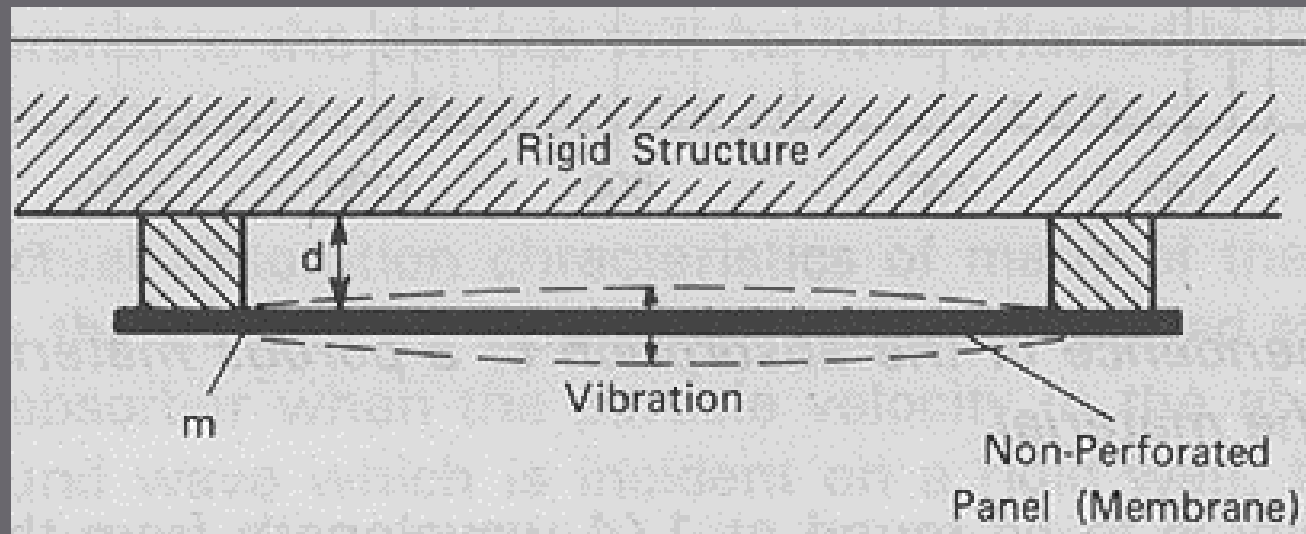
absorsores porosos:

(dissipação pelo mecanismo de viscosidade)



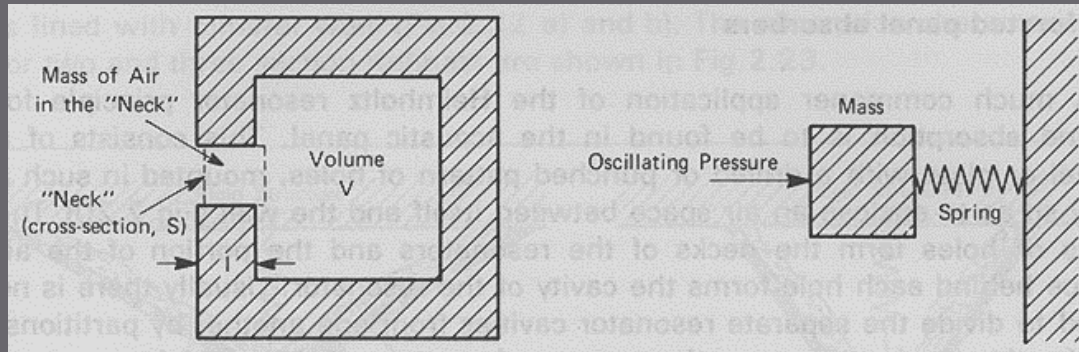
absorção

absorsores não porosos:



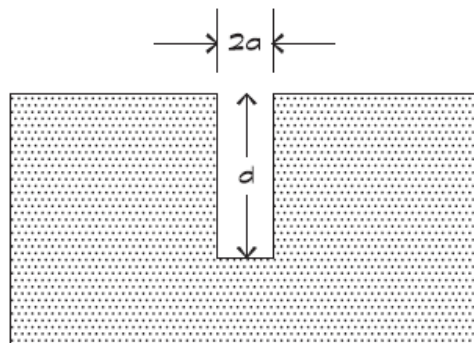
absorsores não porosos

ressoador de Helmholtz:

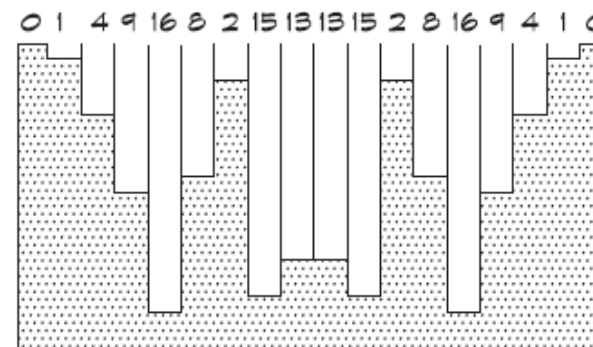


ressoador de 1/4 de onda:

A quarter wave resonator tube in an infinite baffle.

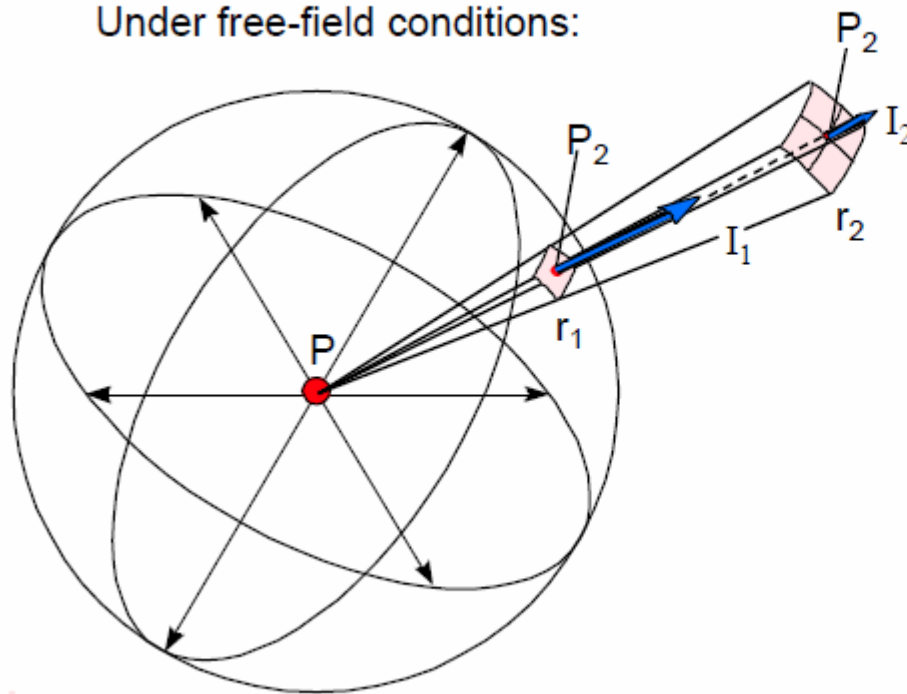


A typical quadratic residue diffuser based upon the prime number 17.



parâmetros básicos do 'som'

Under free-field conditions:



The Sound Intensity vector, \vec{I} , describes the amount and direction of flow of acoustic energy at a given position

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho c}$$

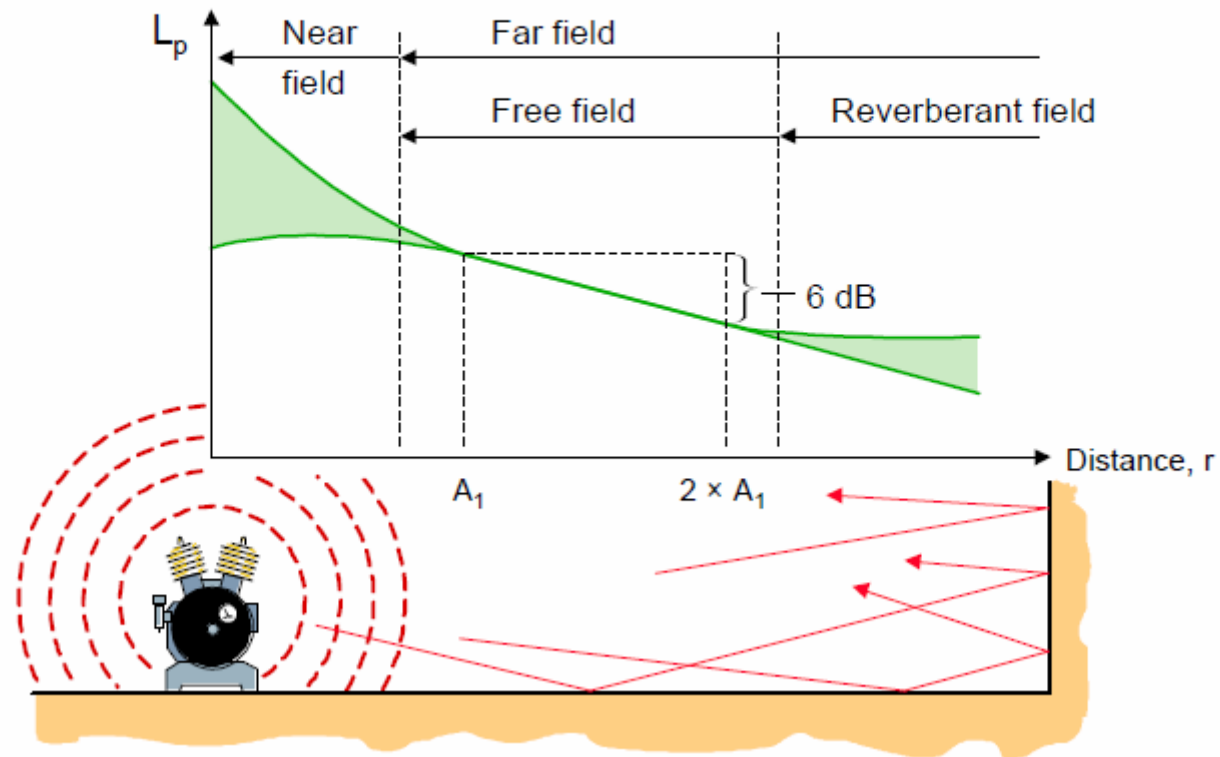
Power: P [W]

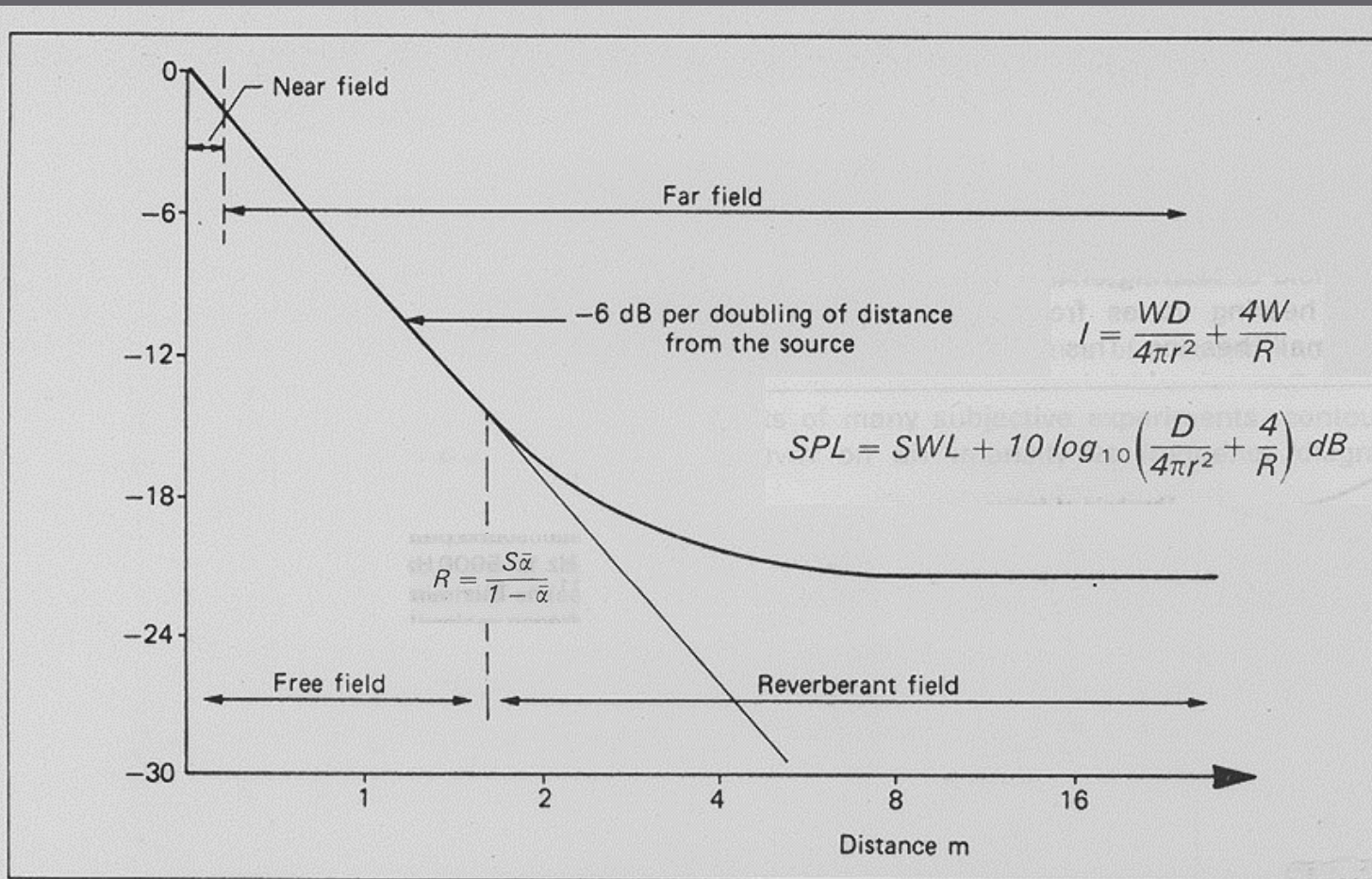
Intensity: I [J/s/m²] = W/m²

Pressure: p [Pa = N/m²]

campo sonoro induzido por fontes em recintos fechados

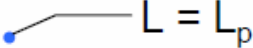


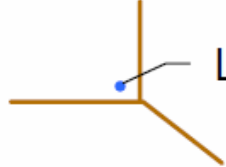
Sound Fields

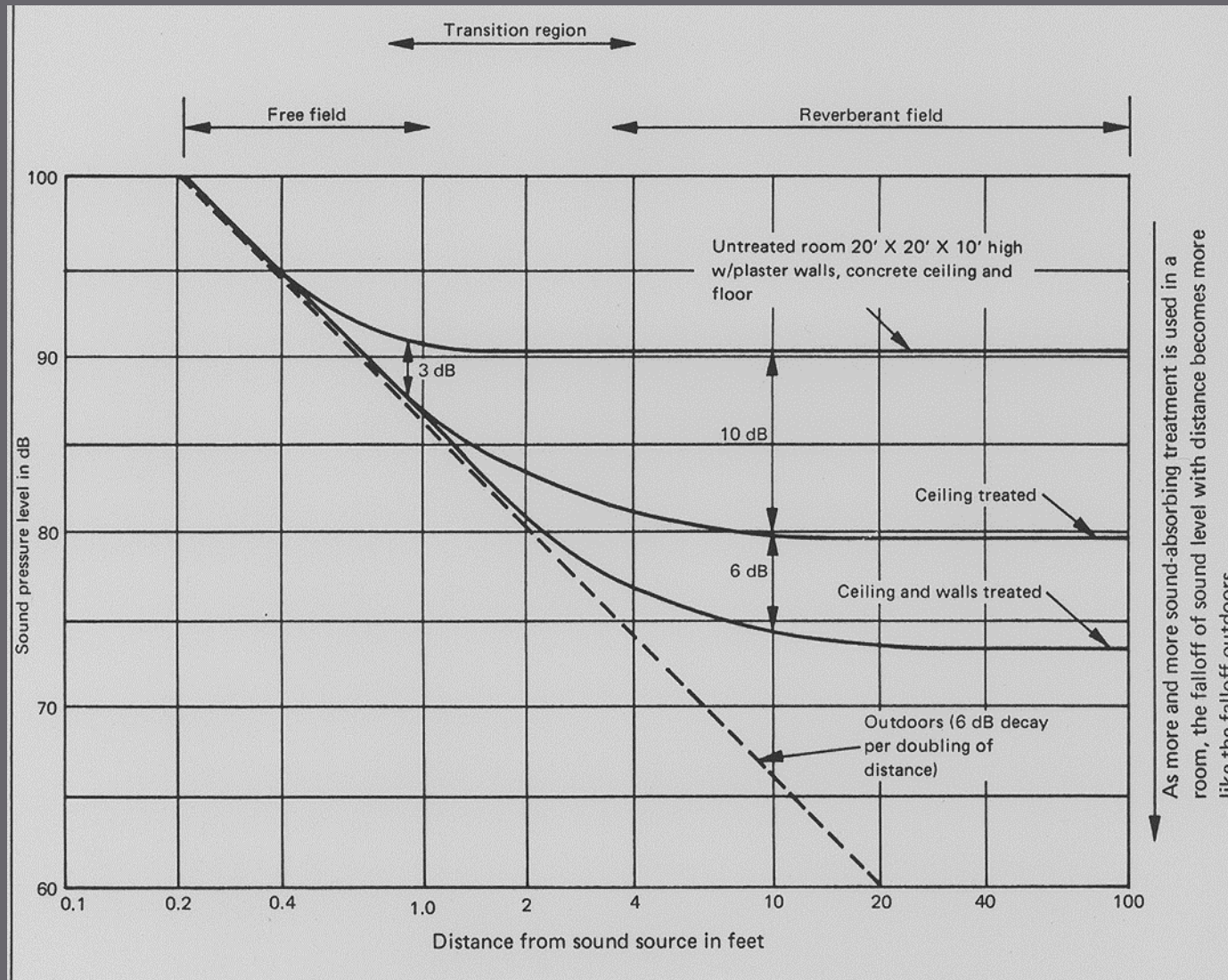




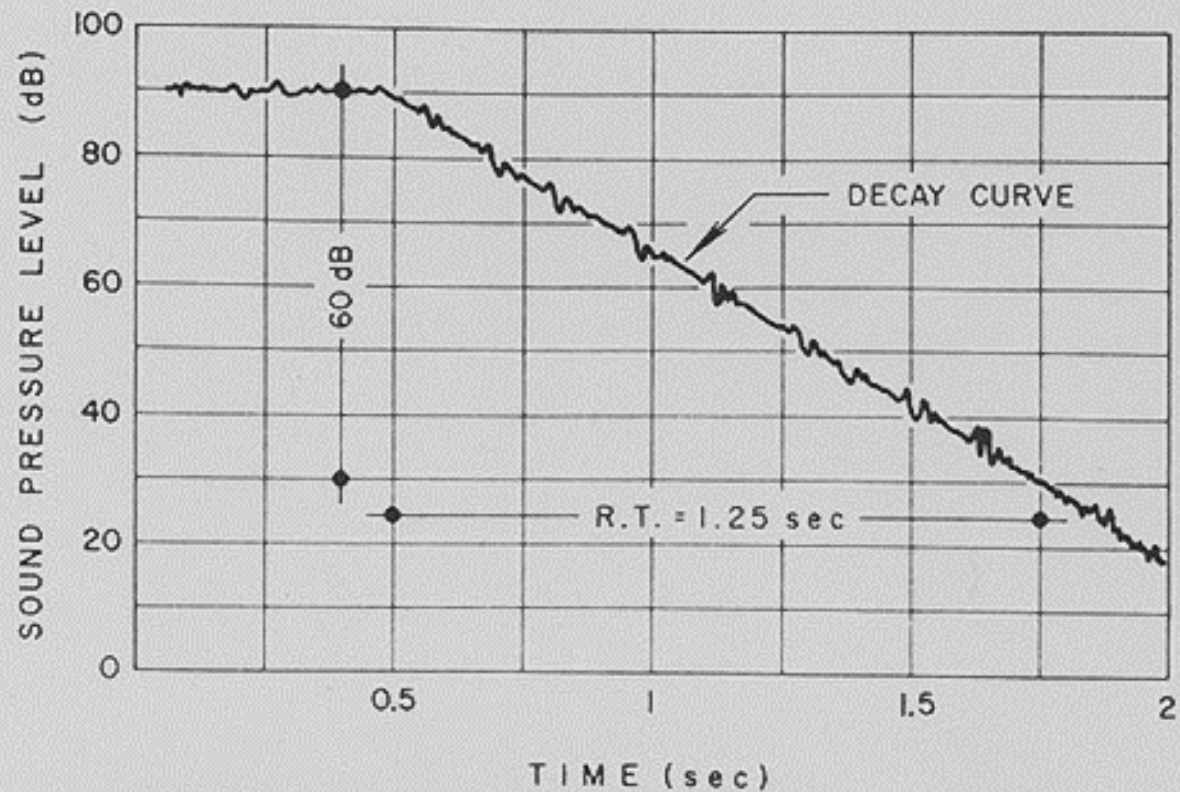
Description of the sound field around a sound source in a reverberant room

factor de directividade // índice de directividade [dB]:

Source Location	Directivity Factor	Directivity Index, dB	
Free field	1	0	 $L = L_p$
On a flat plane	2	3	 $L = L_p + 3 \text{ dB}$
At a junction of two planes	4	6	 $L = L_p + 6 \text{ dB}$
At a junction of three planes	8	9	 $L = L_p + 9 \text{ dB}$

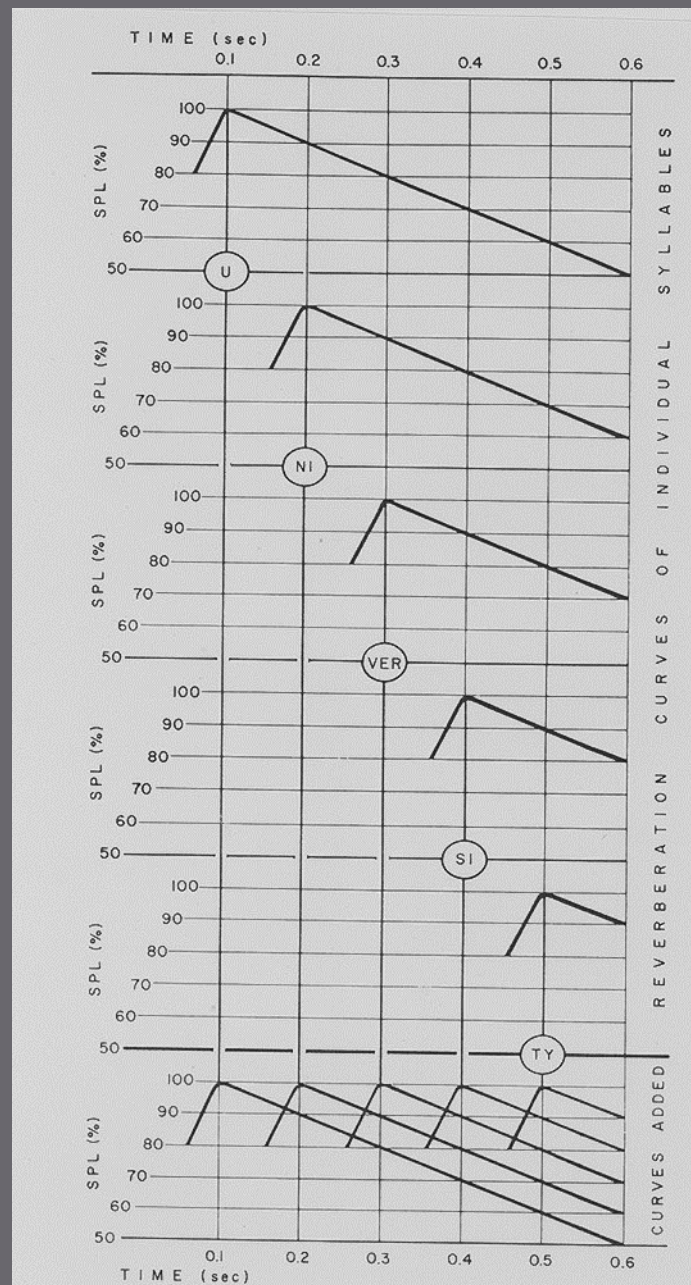


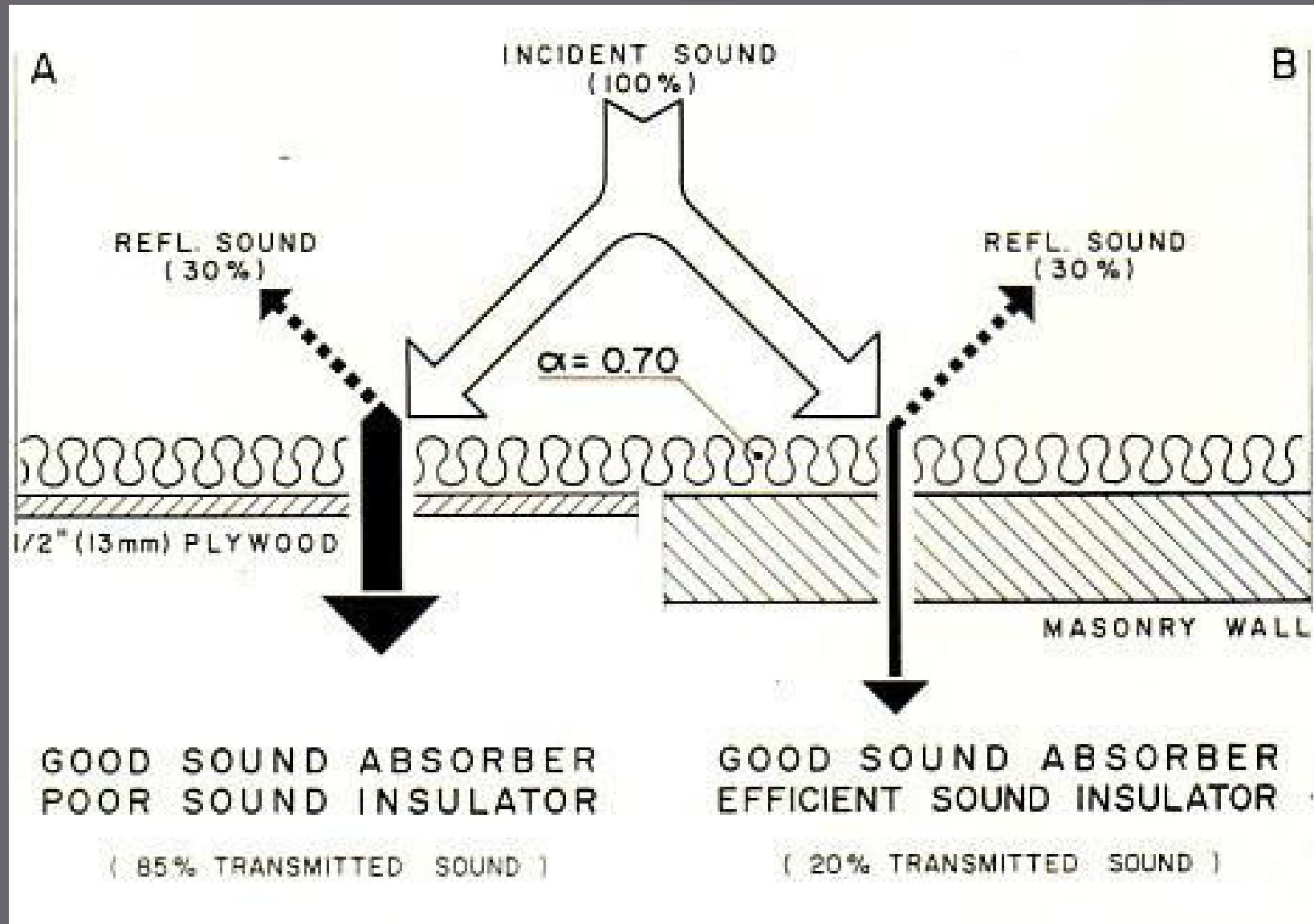
Tempo de Reverberação - T - definição:



The reverberation time (RT) of a room is defined as the time required for a sound suddenly cut off to decrease by 60 dB.

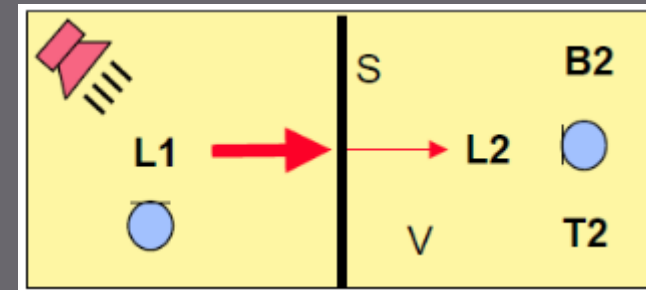
efeito do
 'Tempo de Reverberação'
 excessivo na
 'Inteligibilidade'
 da palavra





parâmetros mais usuais em 'acústica de edifícios':

isolamento a sons de transmissão aérea:



R_w - redução sonora [aparente (')] (índice de)

$$R' = D + 10 \lg \frac{S}{A} \text{ dB}$$

$D_{(w)}$ - isolamento sonoro [bruto] (índice de)

$$D = L_1 - L_2$$

$D_{n(w)}$ - isolamento sonoro normalizado (índice de)

$$D_n = D - 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB}$$

$D_{nT(w)}$ - isolamento sonoro padronizado (índice de)

$$D_{nT} = D + 10 \lg \frac{T}{T_0} \text{ dB}$$

parâmetros mais usuais em 'acústica de edifícios':

isolamento a sons de percussão:

L_j - nível sonoro de percussão

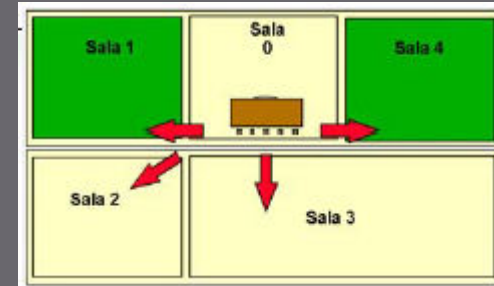
$L'_{n(w)}$ - nível sonoro de percussão normalizado

$L'_{nT(w)}$ - nível sonoro de percussão padronizado

...

T_R - Tempo de reverberação

$L_{Ar,nT}$ - nível de avaliação padronizado



$$L'_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB}$$

$$L'_{nT} = L_i - 10 \text{ Log}(T/T_0) \text{ dB}$$

$$L_{Ar,nT} = L_A + K - 10 \text{ Log}(T/T_0) \text{ dB}$$

disposições regulamentares e normativas aplicáveis

- **Regulamento Geral do Ruído**

[D.L. 9/2007, de 17 de Janeiro];

- ISO 1996 -1 e 2, de 2003 e 2007 – Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise

- **Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios**

[D.L. 96/2008, de 9 de Junho];

- NP EN ISO 140 – Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção;

- NP EN ISO 717 – Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção;

- EN ISO 3382- 1 e 2, de 2008 – Measurement of room acoustic parameters

Regulamento Geral do Ruído

especifica:

-períodos de referência - o intervalo de tempo a que se refere um indicador de ruído, de modo a abranger as actividades humanas típicas, delimitado nos seguintes termos:

- i) período diurno – das 07h00 às 20h00;*
- ii) período do entardecer – das 20h00 às 23h00;*
- iii) período nocturno – das 23h00 às 07h00;)*

Regulamento Geral do Ruído

específica:

-classificação acústica de zonas

‘zona mista’ – a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afecta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível;

‘zona sensível’ – a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período nocturno.

Regulamento Geral do Ruído

especifica:

- *critério para os valores limite de exposição:*

‘zona mista’ – as zonas *mistas* não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador *Lden*, e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador *Ln* ;

‘zona sensível’ – as zonas *sensíveis* não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador *Lden*, e superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador *Ln* .

Regulamento Geral do Ruído

específica:

- critério de incomodidade:

a diferença entre o valor do indicador LA_{eq} do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da actividade ou actividades em avaliação e o valor do indicador LA_{eq} do ruído residual, não pode exceder

5 dB(A) no período diurno,

4 dB(A) no período do entardecer e

3 dB(A) no período nocturno,

nos termos do anexo I daquele Regulamento (o *qual estabelece as correcções aplicáveis*).

Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

aplica-se à construção, reconstrução, ampliação ou alteração dos seguintes tipos de edifícios:

- i - Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras;
- ii - Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais;
- iii - Edifícios escolares e similares, e de investigação;
- iv - Edifícios hospitalares e similares;
- v - Recintos desportivos;
- vi - Estações de transporte de passageiros;
- vii - Auditórios e salas.

Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

específica:

- isolamento sonoro a sons de transmissão aérea (DnT, w)
- isolamento sonoro a sons de percussão ($L'nT, w$)
- condicionamento acústico interno dos espaços (Tr)
- níveis máximos admissíveis de ruído no interior das instalações (LAr)

Requisitos Acústicos em Edifícios

exemplo: em Edifícios Escolares

Isolamento a sons de transmissão aérea

– Fachadas

As soluções construtivas que condicionam o isolamento sonoro a sons de transmissão aérea entre o exterior dos edifícios escolares, como local emissor, e os compartimentos interiores dos edifícios correspondentes, nomeadamente, salas de aula, salas de aula musical, salas polivalentes, bibliotecas, salas de professores, gabinetes médicos e salas administrativas, como locais receptores, deverão ser tendentes a verificar os requisitos regulamentares caracterizados por:

- i) $D_{2m, nT, w} \geq 33$ dB, em 'zonas mistas',
- ii) $D_{2m, nT, w} \geq 28$ dB, em 'zonas sensíveis'.

Requisitos Acústicos em Edifícios

exemplo: em Edifícios Escolares

- Compartimentos interiores

As soluções construtivas que condicionam o isolamento acústico entre os diversos espaços dos edifícios escolares, no domínio de intervenção do presente projecto, são tendentes a verificar os requisitos regulamentares, caracterizados por:

Locais de recepção - Locais de emissão	Salas de aula(*), de professores, administrativas	Bibliotecas e gabinetes médicos	Salas polivalentes
Salas de aula, de professores, administrativas	≥ 45	≥ 45	≥ 45
Salas de aula musical, salas polivalentes, refeitórios, ginásios e oficinas	≥ 55	≥ 58	≥ 50
Corredores de grande circulação (*)	≥ 30	≥ 35	≥ 30

(*) Incluindo salas de aula musical.
(**) Considerando que haverá porta de comunicação com os locais receptores; se tal não fôr o caso, os valores indicados serão acrescidos de 15 dB.

Requisitos Acústicos em Edifícios

exemplo: em Edifícios Escolares

Isolamento a sons de percussão (transmissão estrutural)

As soluções construtivas que condicionam o isolamento sonoro a sons de percussão nos compartimentos internos dos edifícios escolares, nomeadamente, salas de aula, salas de aula musical, salas polivalentes, bibliotecas, salas de professores, gabinetes médicos e salas administrativas, como locais receptores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'n, w$, proveniente de uma excitação de percussão normalizada sobre pavimentos de outros locais do edifício (emissão), deverá satisfazer as condições seguintes:

- i) $L'nT, w \leq 60$ dB (se o local emissor for corredor de grande circulação, ginásio, refeitório ou oficina);
- ii) $L'nT, w \leq 65$ dB (se o local emissor for salas de aulas ou salas polivalentes)

Requisitos Acústicos em Edifícios

exemplo: em Edifícios Escolares

Condições Acústicas Internas

As soluções a adoptar para o condicionamento acústico interno dos espaços indicados no quadro seguinte deverão ser tendentes a verificar os requisitos regulamentares caracterizados por:

Locais	Tempo de reverberação (500 Hz - 2kHz)
Salas de aula, biblioteca, sala polivalente / refeitório	$T \leq 0,15 V^{1/3}$ [s]
Ginásio;	
- recintos desportivos sem PAS	$T \leq 0,15 V^{1/3}$ [s]
- recintos desportivos com PAS	$T \leq 0,12 V^{1/3}$ [s]

V = volume interior do recinto em causa

Requisitos Acústicos em Edifícios

exemplo: em Edifícios Escolares

Níveis Máximos Admissíveis de Ruído nos Espaços Internos

As soluções a adoptar no referente aos isolamentos acústicos e às soluções de controlo de ruído dos equipamentos mecânicos e outros elementos componentes dos sistemas de AVAC (condutas, grelhas, etc), deverão ser tendentes a verificar os requisitos regulamentares, caracterizados por:

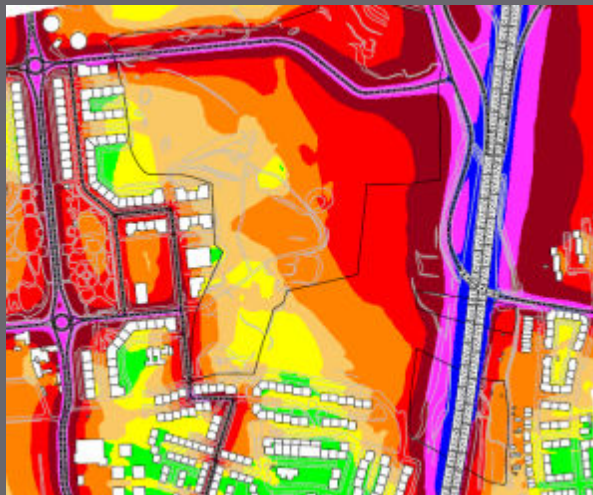
Locais	Nível de avaliação, L_{Ar}
Biblioteca	$L_{Ar} \leq 38$ dB (A) (se o funcionamento do equipamento fôr intermitente). $L_{Ar} \leq 33$ dB (A) (se o funcionamento do equipamento fôr contínuo).
salas de aula, de música, salas polivalentes, de professores, gabinetes médicos, salas administrativas	$L_{Ar} \leq 43$ dB (A) (se o funcionamento do equipamento fôr intermitente). $L_{Ar} \leq 38$ dB (A) (se o funcionamento do equipamento fôr contínuo).

licenciamentos:

i - operações urbanísticas

- verificação de conformidade com o RGR

(Portaria 232_2008, de 11 de Março – ‘*Estudo que demonstre a conformidade com o Regulamento Geral do Ruído, contendo informação acústica adequada relativa à situação actual e à decorrente da execução das obras de urbanização*’)



sit. ref.^a



sit. fut.^a



sit. fut.^a
c/ medidas
minimização

licenciamentos:

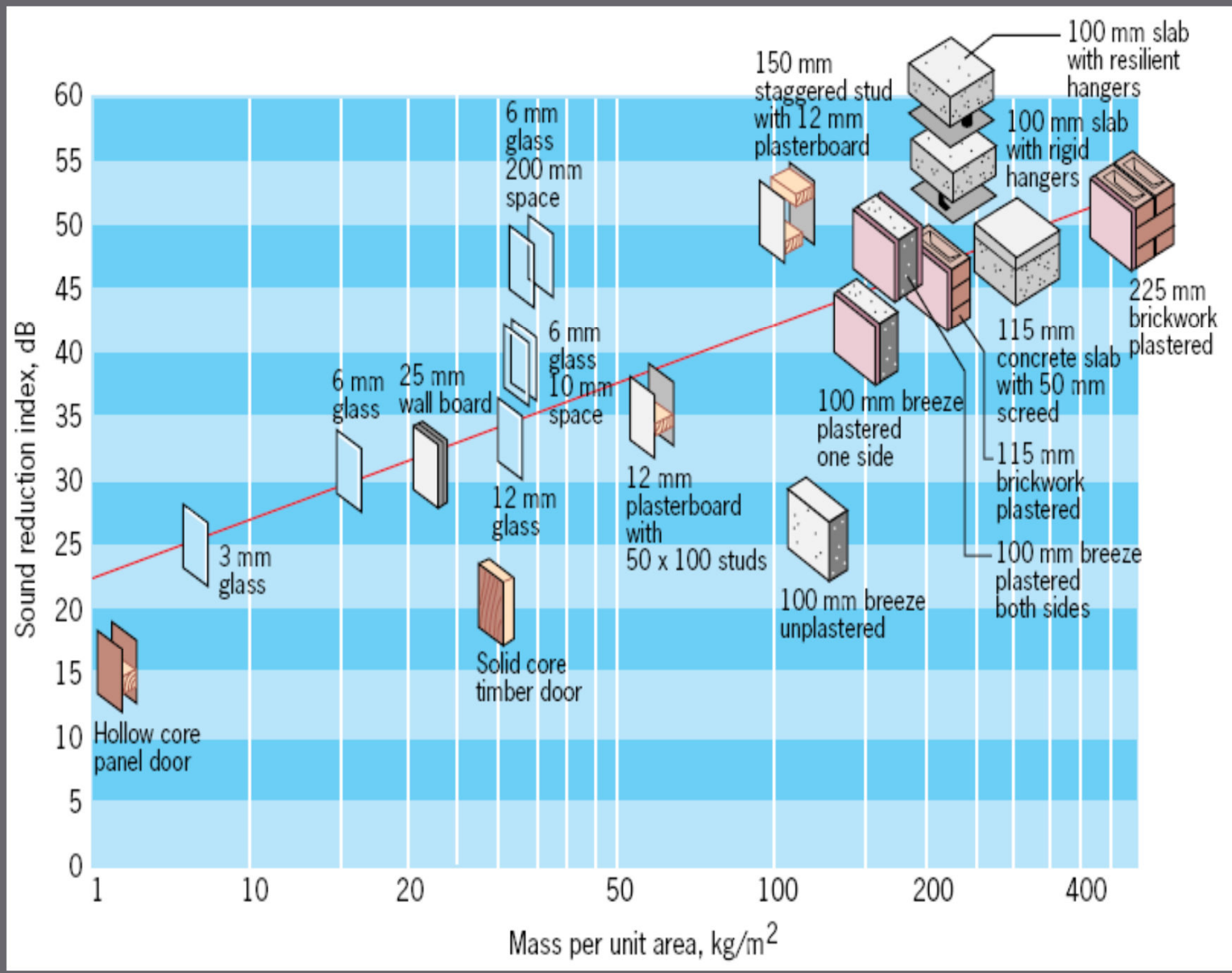
ii - novos edifícios














- verificação de conformidade com o RGR
- verificação de conformidade com o RRAE
(proj. de *acústica* ou de *condicionamento acústico*)

iii – alteração dos edifícios existentes

- verificação de conformidade com o RGR
- verificação de conformidade com o RRAE
(proj. de *acústica* ou de *condicionamento acústico*)

materiais e soluções construtivas em edifícios

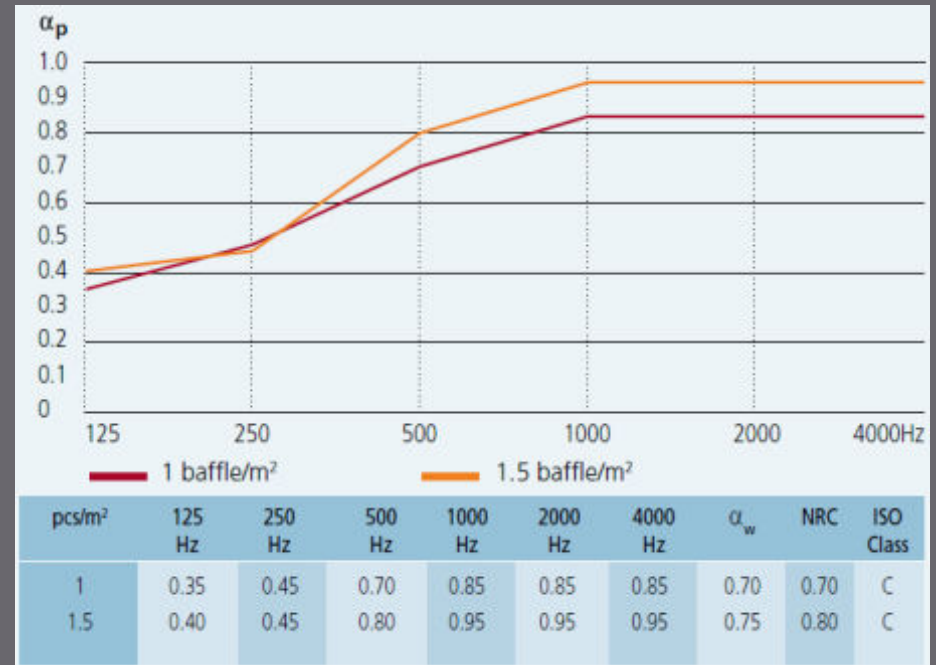


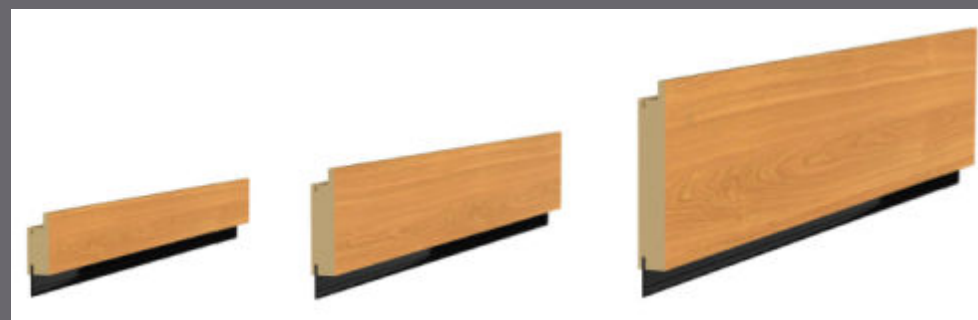
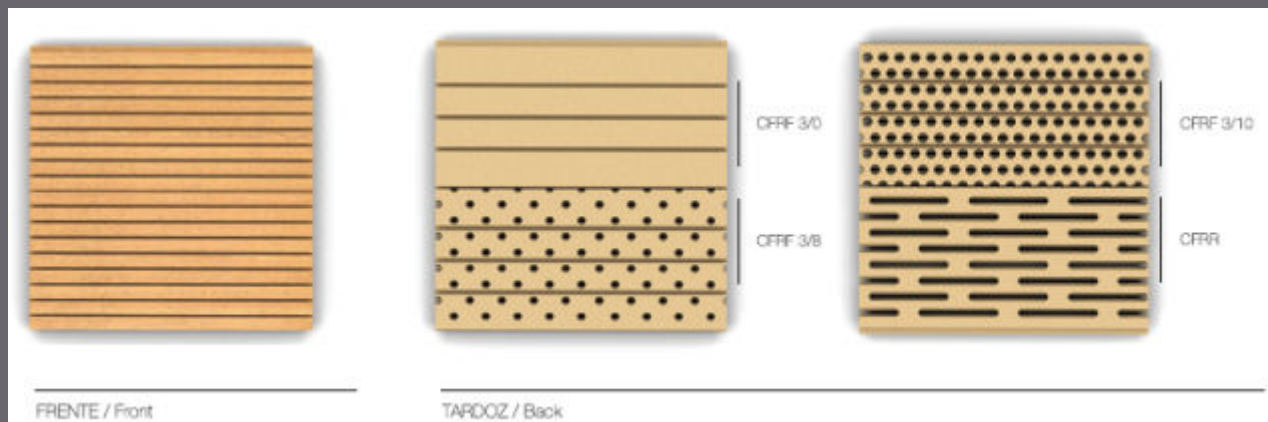
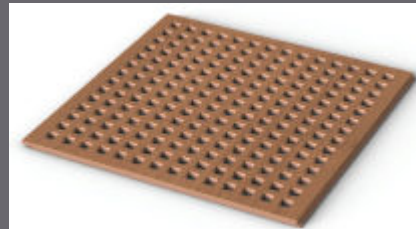
Performance R_w (dB)		Walls - typical forms of construction
35-40	 	<p>1x12.5 mm plasterboard each side of a metal stud (total width 75 mm)</p> <p>100 mm block (low density 52 kg/m²) plastered/rendered 12 mm one side</p>
40-45	 	<p>1x12.5 mm plasterboard each side of a 48 mm metal stud with glass fibre/mineral wool in cavity (total width 75 mm)</p> <p>100 mm block (medium density 140 kg/m²) plastered/rendered 12 mm one side</p>
45-50	  	<p>2x12.5 mm plasterboard each side of a 70 mm metal stud (total width 122 mm)</p> <p>115 mm brickwork plastered/rendered 12 mm both sides</p> <p>100 mm block (medium density 140 kg/m²) plastered/rendered 12 mm both sides</p>
50-55	  	<p>2x12.5 mm plasterboard each side of a 150 mm metal stud with glass fibre/mineral wool in cavity (total width 198 mm)</p> <p>225 mm brickwork plastered/rendered 12 mm both sides</p> <p>215 mm block (high density 430 kg/m²) plastered/rendered 12 mm both sides</p>
55-60	  	<p>2x12.5 mm plasterboard each side of a staggered 60 mm metal stud with glass fibre/mineral wool in cavity (total width 178 mm)</p> <p>100 mm block (high density 200 kg/m²) with 12 mm plaster on one side and 1x12.5 mm plasterboard on metal frame with a 50 mm cavity filled with glass fibre/mineral wool on other side</p>

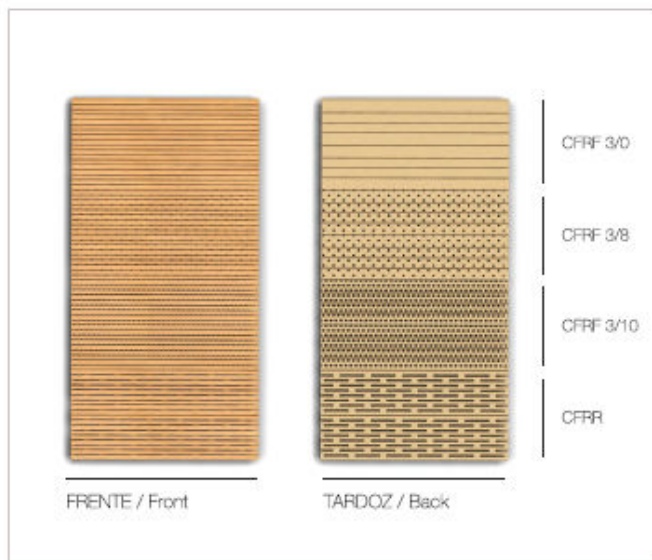
Performance R_w (dB)		Glazing - typical forms of construction
25		4 mm single float (sealed)
28		6 mm single float (sealed)
		4/12/4: 4 mm glass/12 mm air gap/4 mm glass
30		6/12/6: 6 mm glass/12 mm air gap/6 mm glass
		10 mm single float (sealed)
33		12 mm single float (sealed)
		16/12/8: 16 mm glass/12 mm air gap/8 mm glass
35		10 mm laminated single float (sealed)
		4/12/10: 4 mm glass/12 mm air gap/10 mm glass
38		6/12/10: 6 mm glass/12 mm air gap/10 mm glass
		12 mm laminated single float (sealed)
40		10/12/6 lam: 10 mm glass/12 mm air gap/6 mm laminated glass
		19 mm laminated single float (sealed)
		10/50/6: 10 mm glass/50 mm air gap/6 mm glass
43		10/100/6: 10 mm glass/100 mm air gap/6 mm glass
		12 lam/12/10: 12 mm laminated glass/12 mm air gap/10 mm glass
45		6 lam/200/10: 6 mm laminated glass/200 mm air gap/10 mm + absorptive reveals
		17 lam/12/10: 17 mm laminated glass/12 mm air gap/10 mm glass



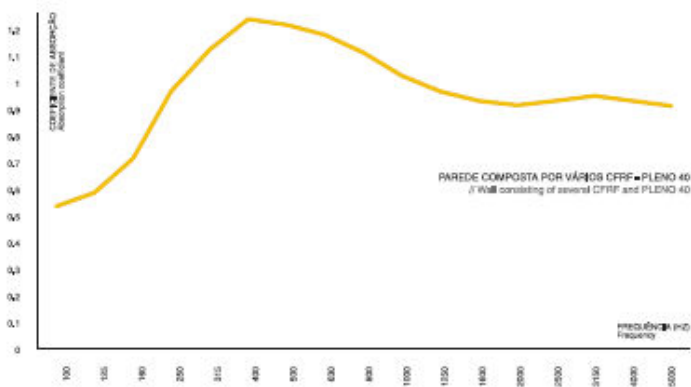
Baffle 1200 x 600 (50 mm)



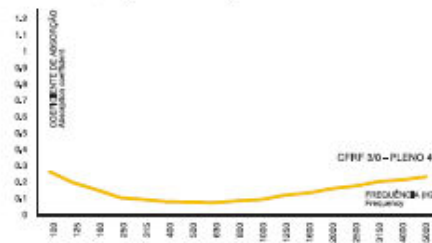




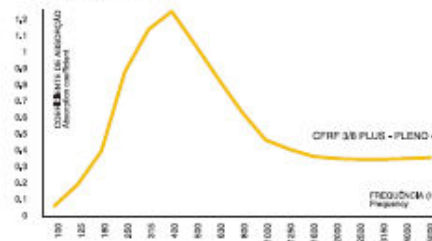
CFRF 3/0 + CFRF 3/8 + CFRF 3/10 + CFRR*



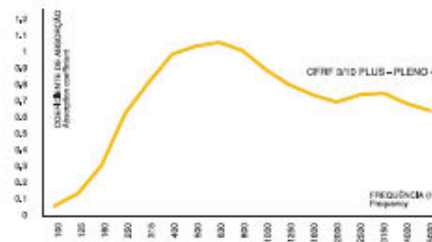
CFRF 3/0 (REFLECTOR)*



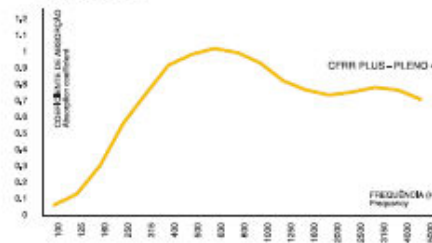
CFRF 3/8 PLUS*

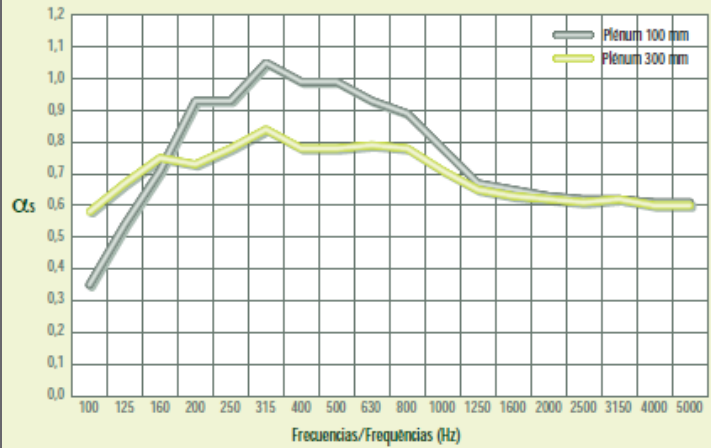


CFRF 3/10 PLUS*



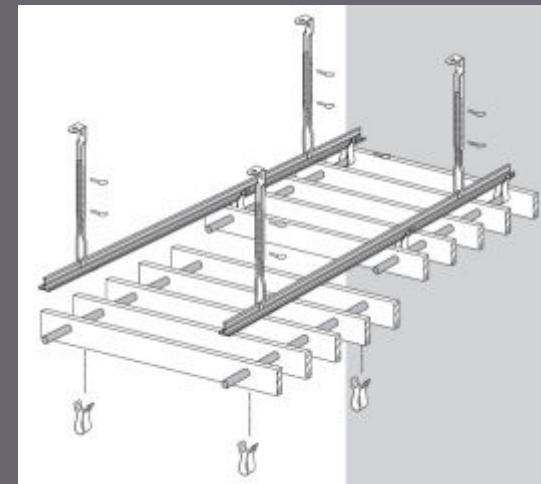
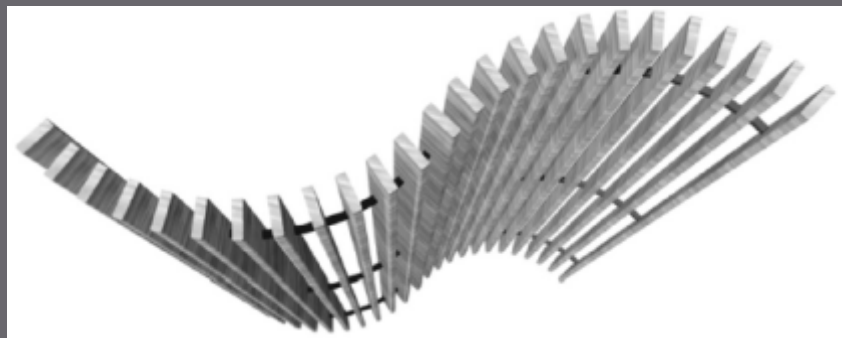
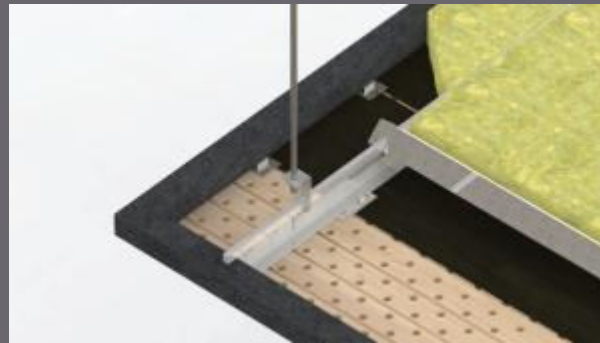
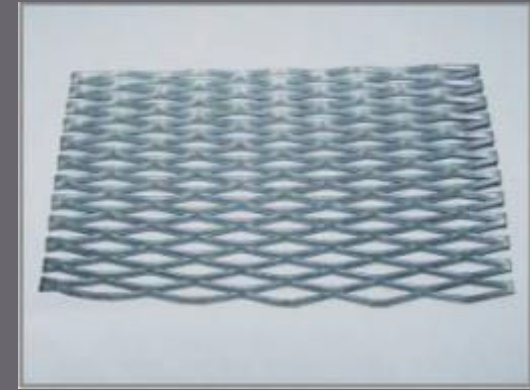
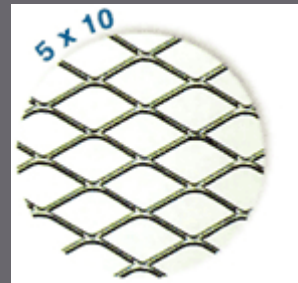
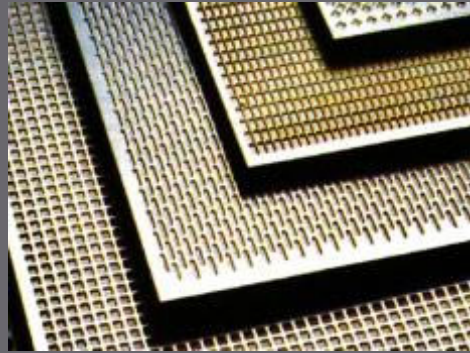
CFRR PLUS*





Frecuencias/Frequências (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	
α_s (Plenum 100mm)	0,54	0,93	0,99	0,78	0,63	0,61	$\alpha_{tw} = 0,70$ LM
α_s (Plenum 300mm)	0,67	0,78	0,78	0,71	0,62	0,60	$\alpha_{tw} = 0,70$ L

Con lana mineral/ Com la mineral: 80 mm.



construção, adaptação e reabilitação acústica de edifícios

desempenho acústico

questões mais relevantes a ter em consideração na acústica dos espaços:

i - espaços habitacionais

- *isolamento sonoro* a sons aéreos e de percussão

ii - espaços públicos de 'serviços'

escolares, hospitalares

(função dos usos específicos e da volumetria)

- *condicionamento acústico*
- *isolamento sonoro* a sons aéreos e de percussão

restauração, desportivos, estações de transporte

- *condicionamento acústico*

iii – auditórios e similares

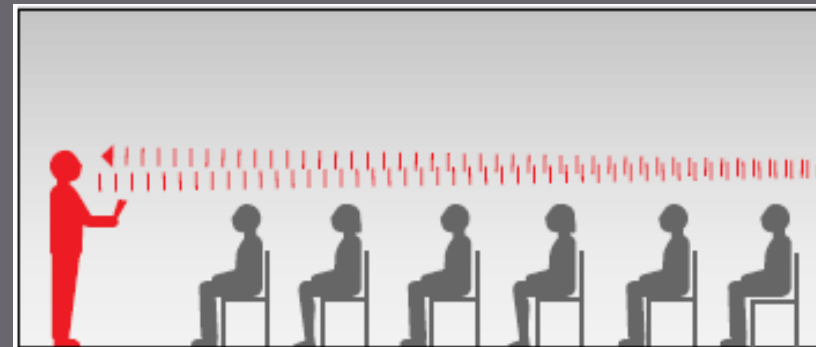
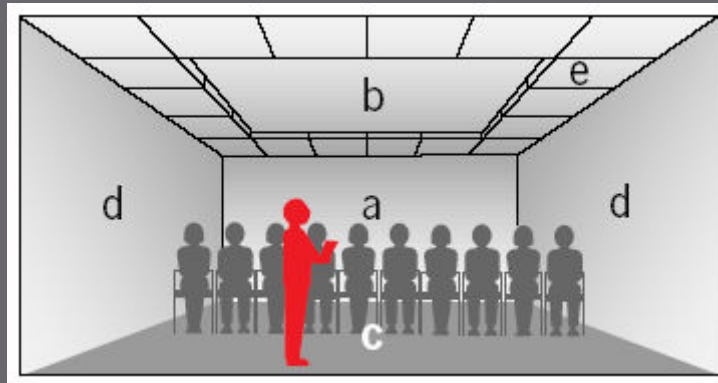
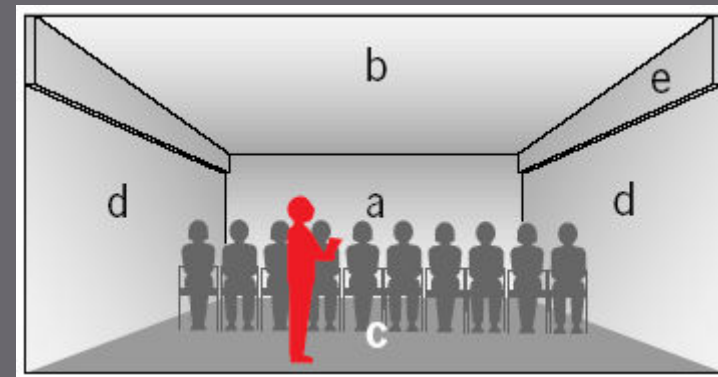
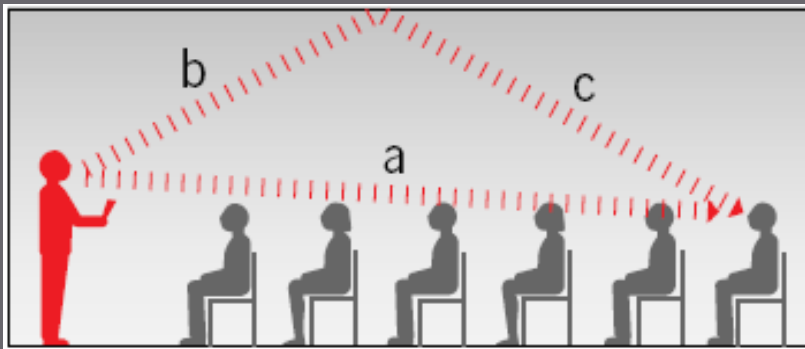
(função dos *usos específicos* e da *volumetria*)

- *geometria*
- *condicionamento acústico*
- *isolamento sonoro* a sons aéreos e de percussão

situações exemplificativas:

-salas de aulas

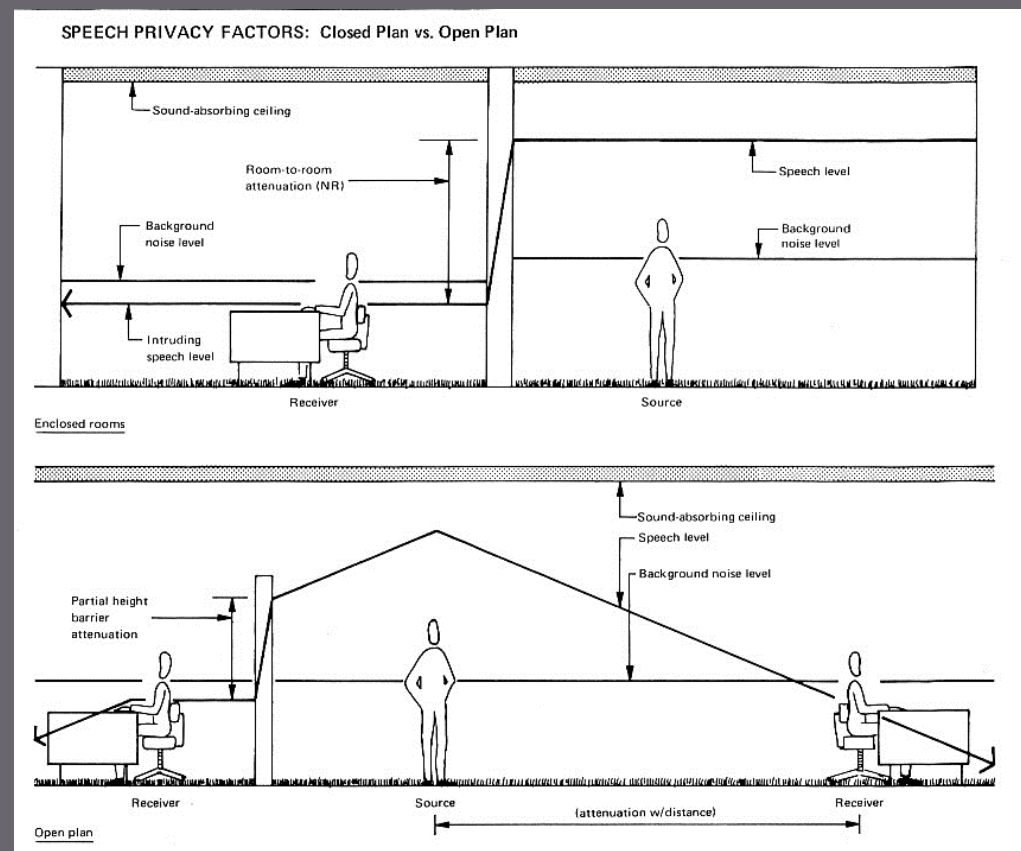
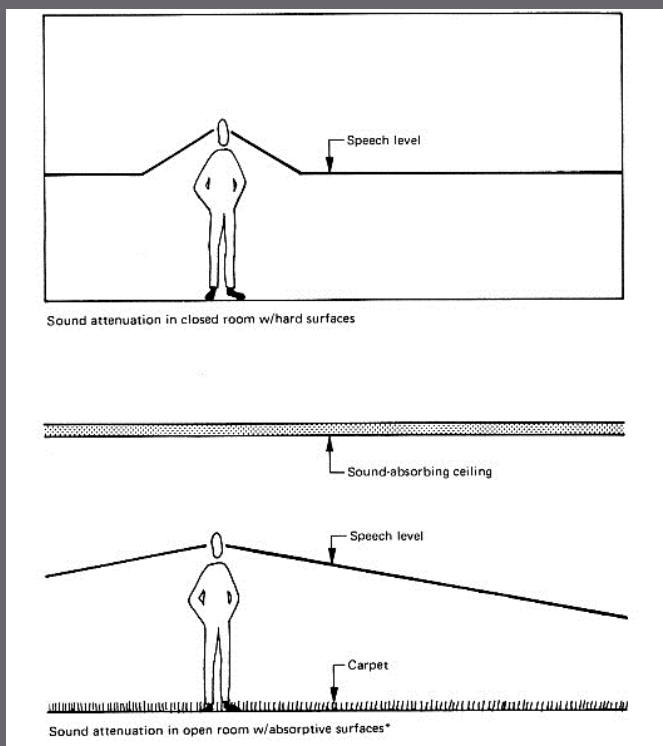
– condicionamento acústico interno



situações exemplificativas:

-salas de trabalho / 'open spaces'

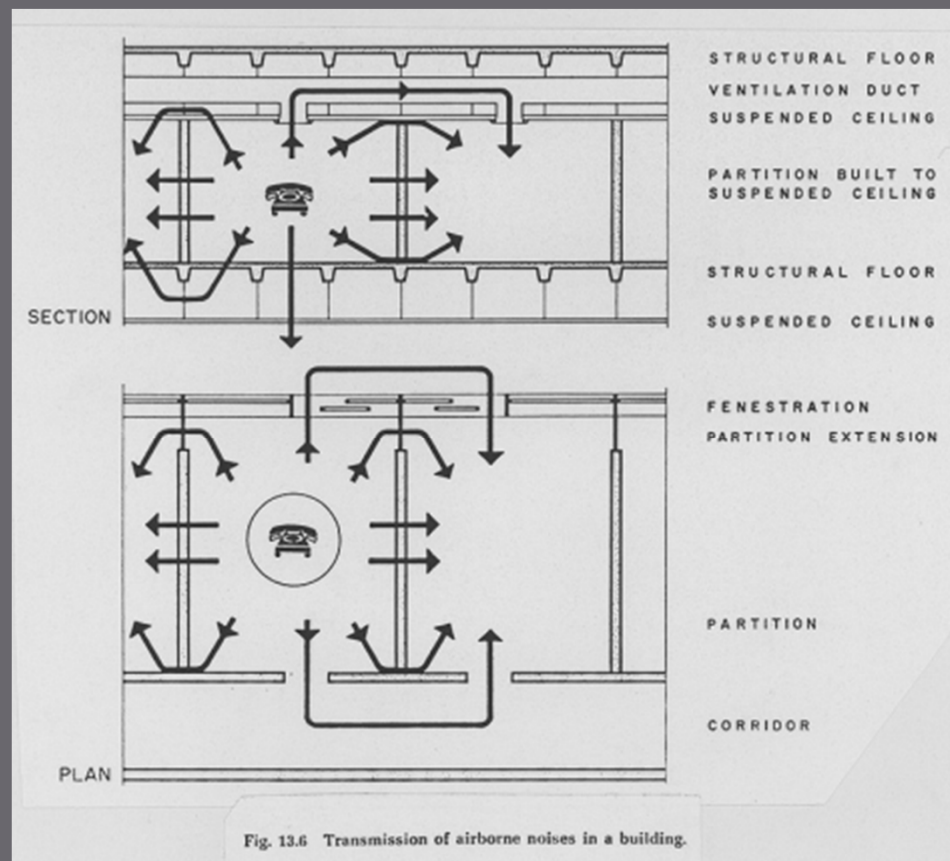
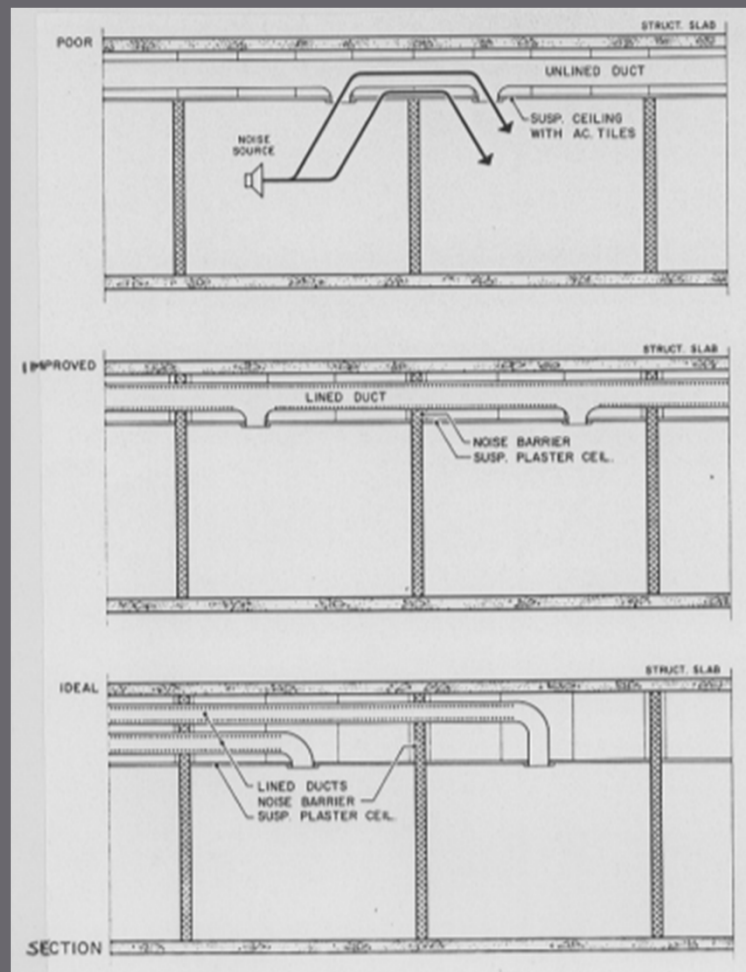
– condicionamento acústico interno / 'privacidade'



situações exemplificativas:

-salas

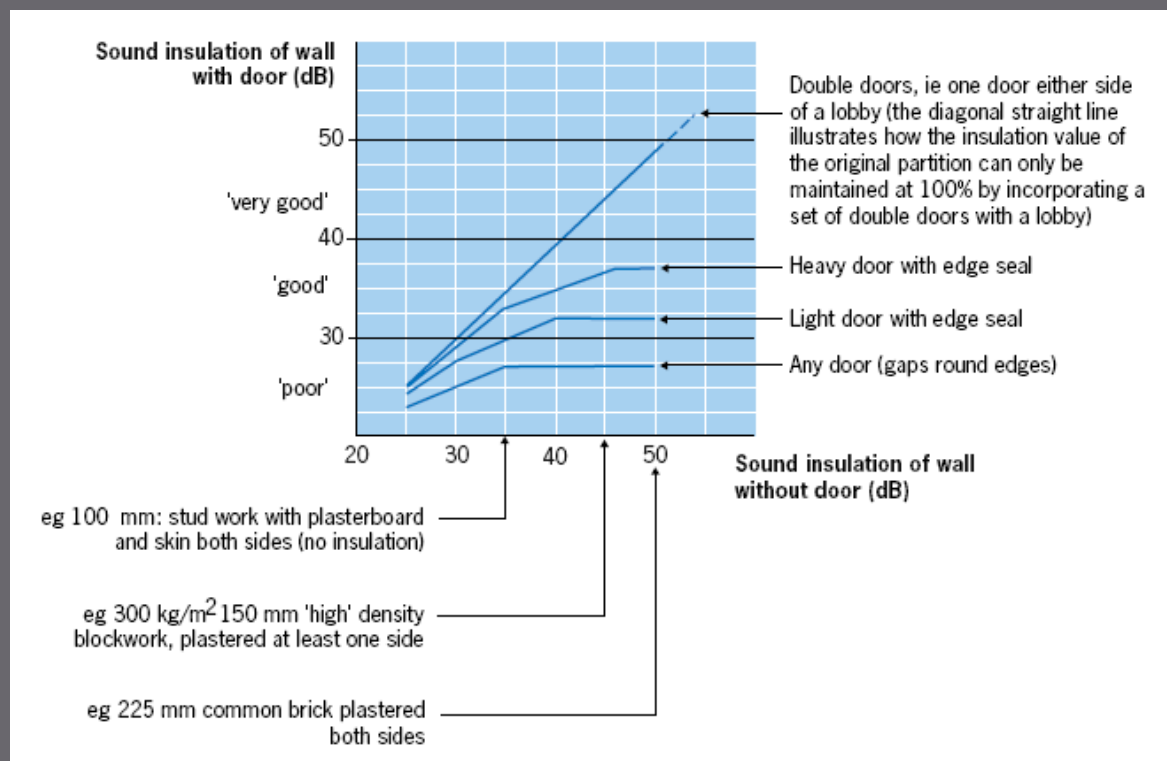
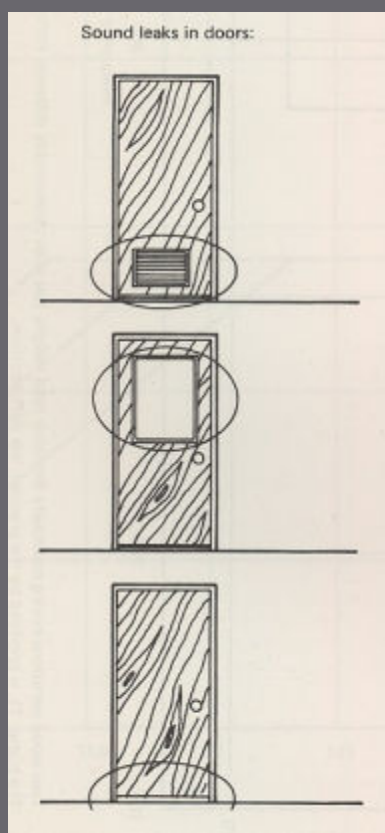
– perda de isolamento sonoro por ‘transmissões marginais’



situações exemplificativas:

-salas

– perda de isolamento sonoro por ‘transmissões marginais’



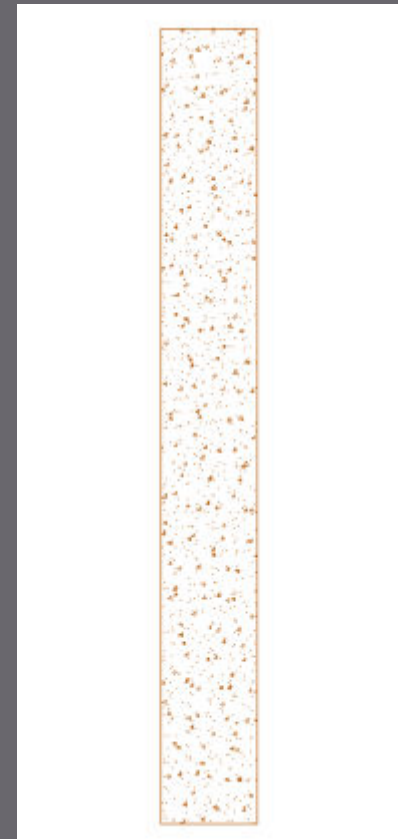
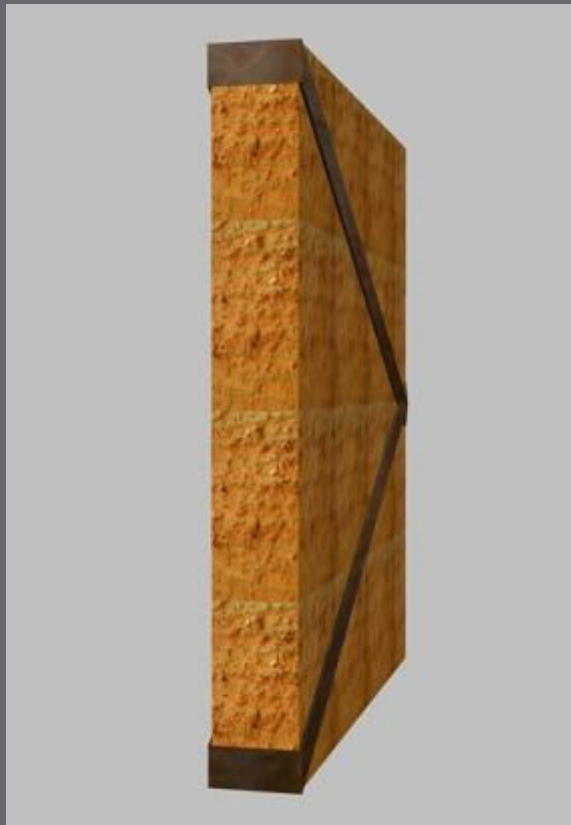
situações exemplificativas:

- adaptação e reabilitação de espaços existentes
 - reforço de isolamento sonoro em edifícios de cariz antigo



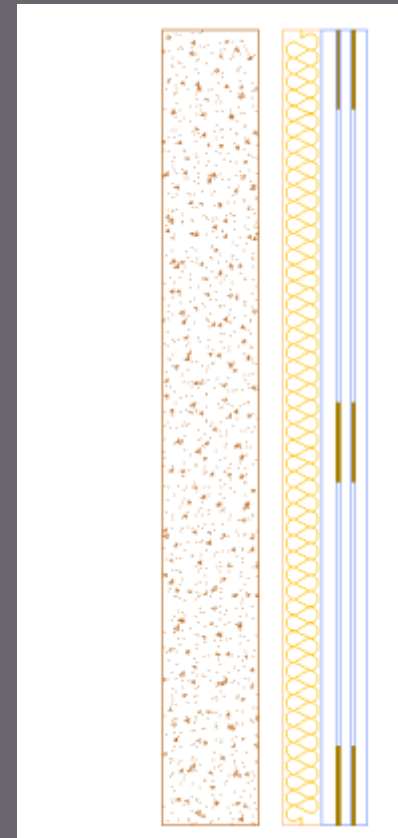
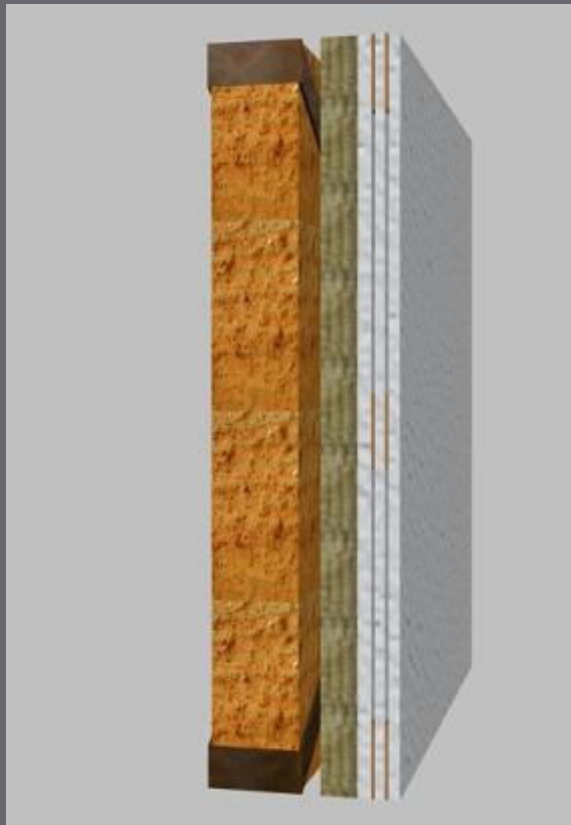
situações exemplificativas:

- **adaptação e reabilitação de espaços existentes**
 - reforço de isolamento sonoro de paredes



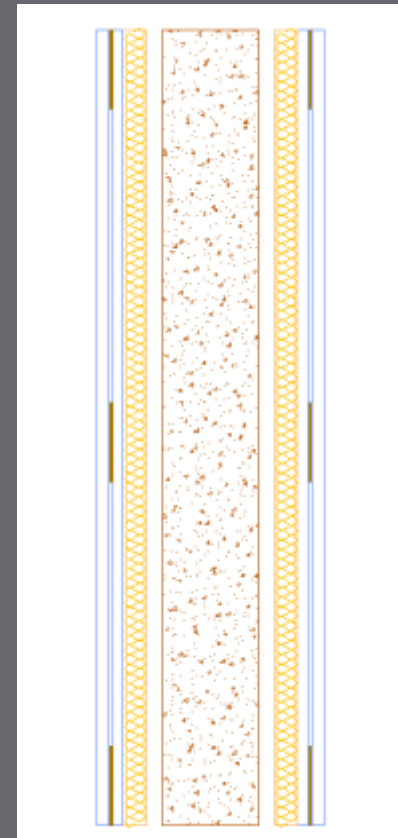
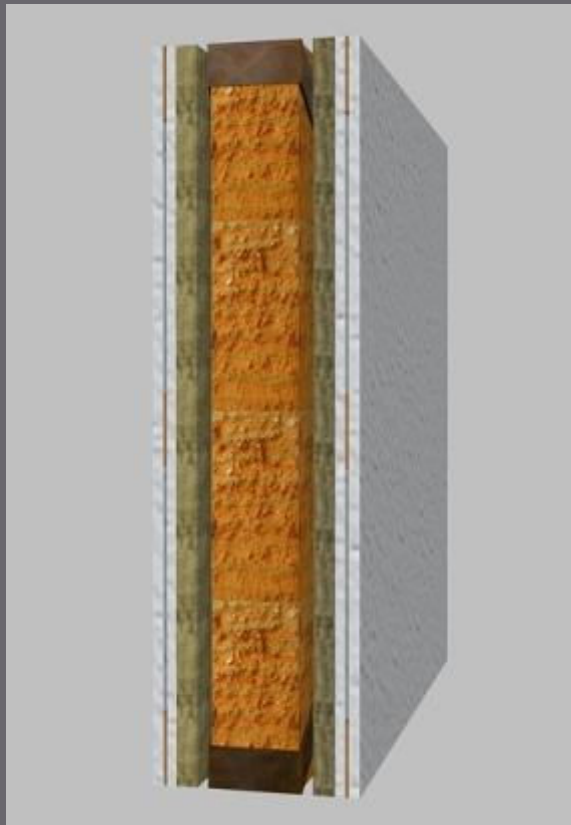
situações exemplificativas:

- adaptação e reabilitação de espaços existentes
 - reforço de isolamento sonoro de paredes



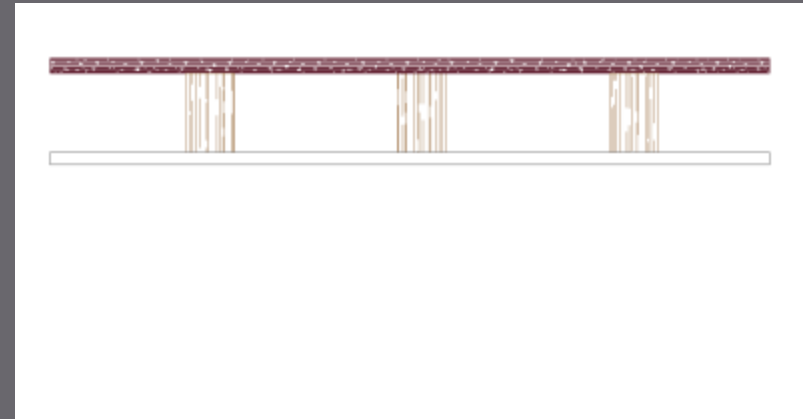
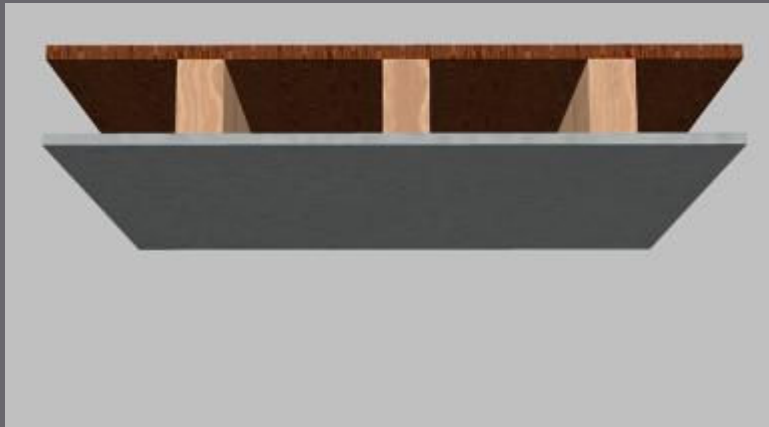
situações exemplificativas:

- **adaptação e reabilitação de espaços existentes**
 - reforço de isolamento sonoro de paredes



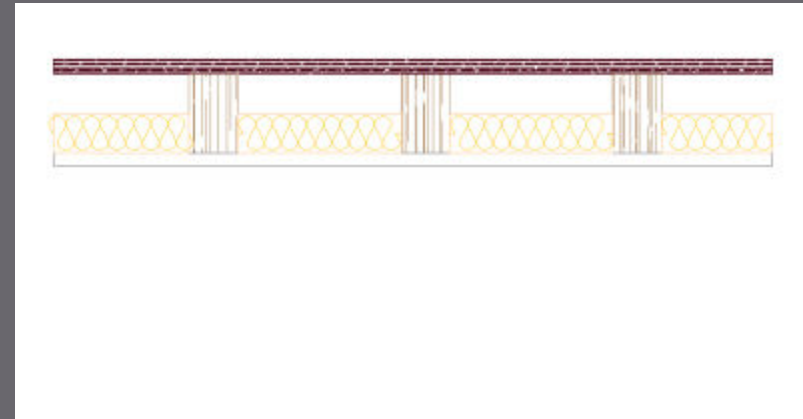
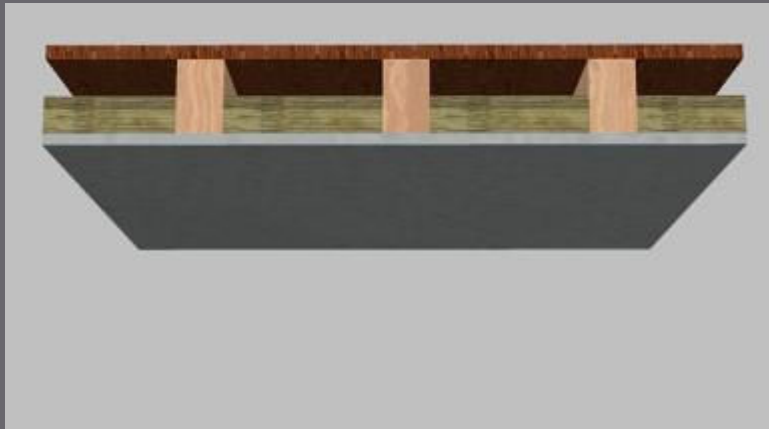
situações exemplificativas:

- **adaptação e reabilitação de espaços existentes**
 - reforço de isolamento sonoro de pavimentos



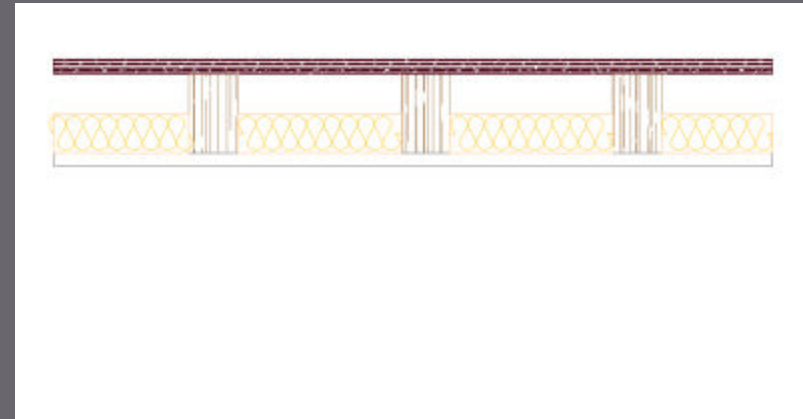
situações exemplificativas:

- **adaptação e reabilitação de espaços existentes**
 - reforço de isolamento sonoro de pavimentos



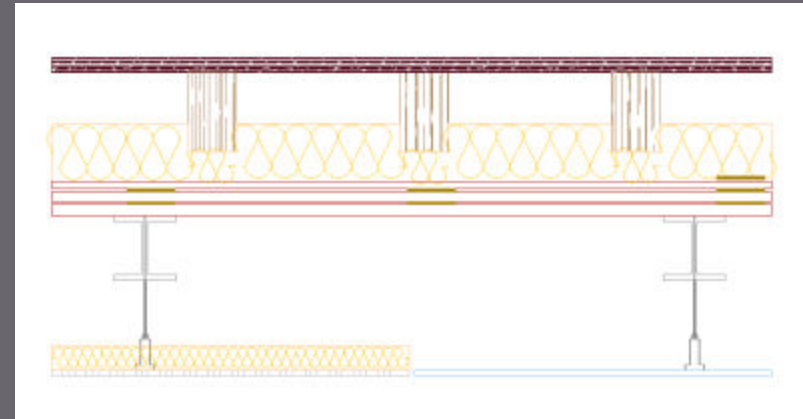
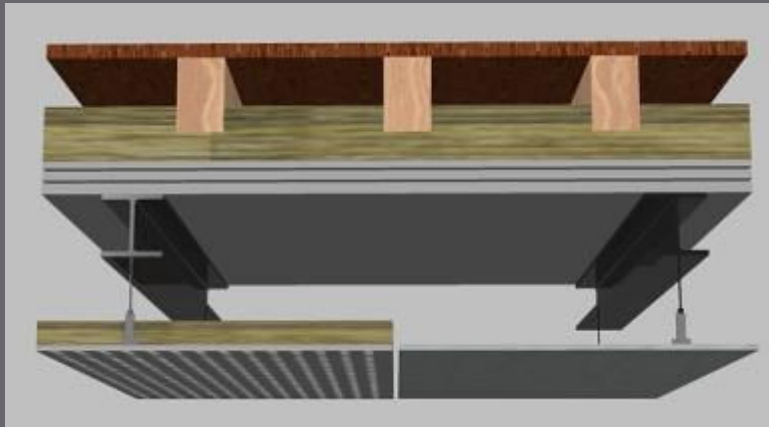
situações exemplificativas:

- **adaptação e reabilitação de espaços existentes**
 - reforço de isolamento sonoro de pavimentos



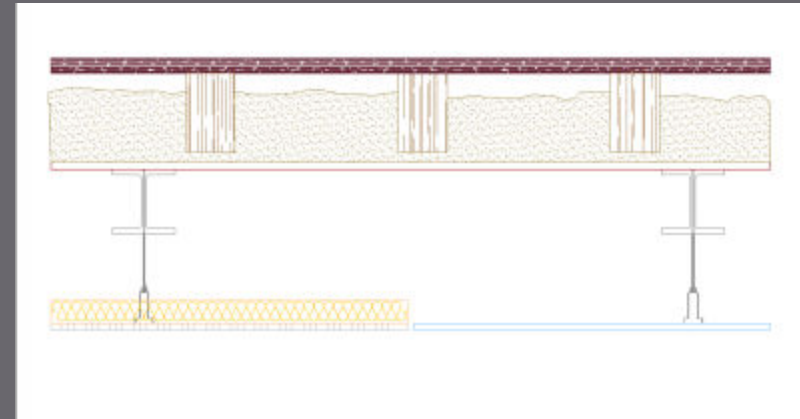
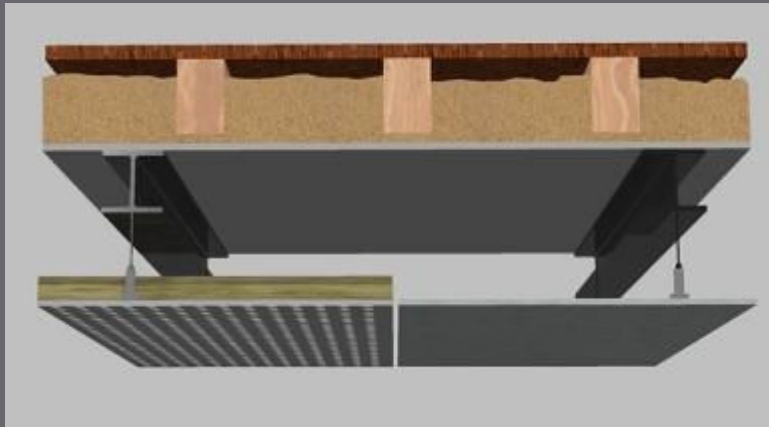
situações exemplificativas:

- **adaptação e reabilitação de espaços existentes**
 - reforço de isolamento sonoro de pavimentos



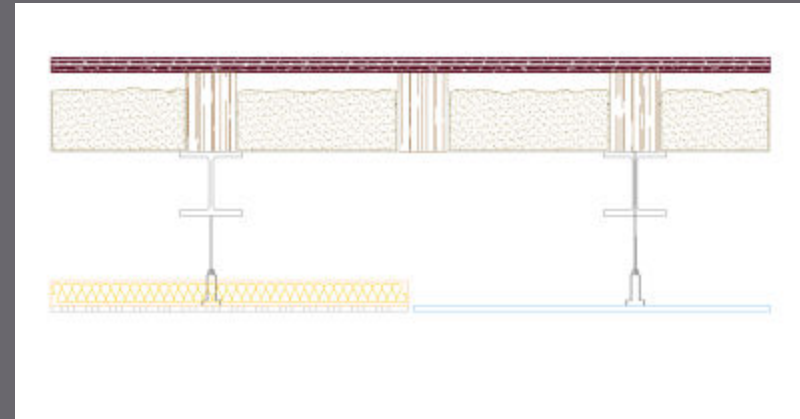
situações exemplificativas:

- adaptação e reabilitação de espaços existentes
 - reforço de isolamento sonoro de pavimentos



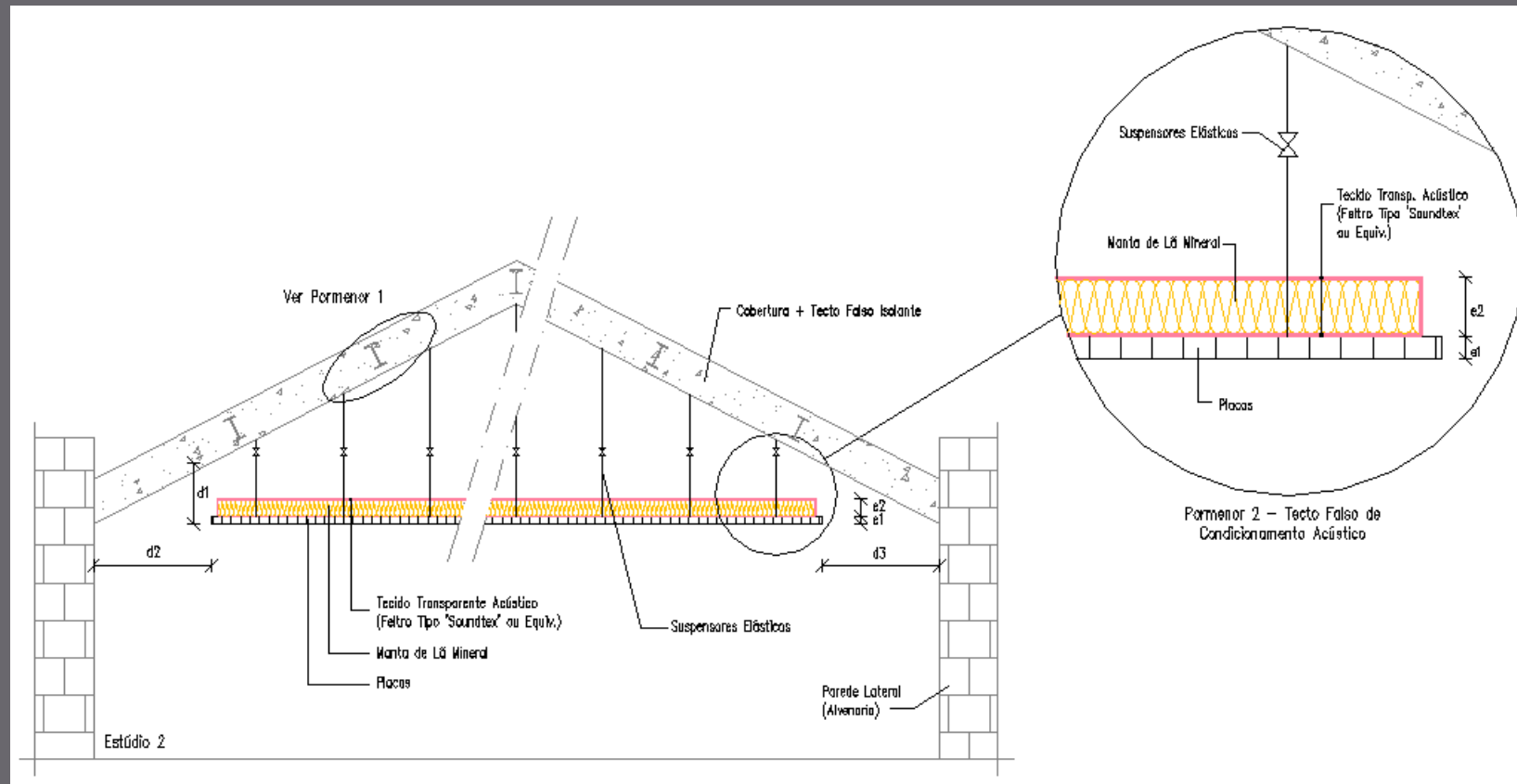
situações exemplificativas:

- adaptação e reabilitação de espaços existentes
 - reforço de isolamento sonoro de pavimentos



situações exemplificativas:

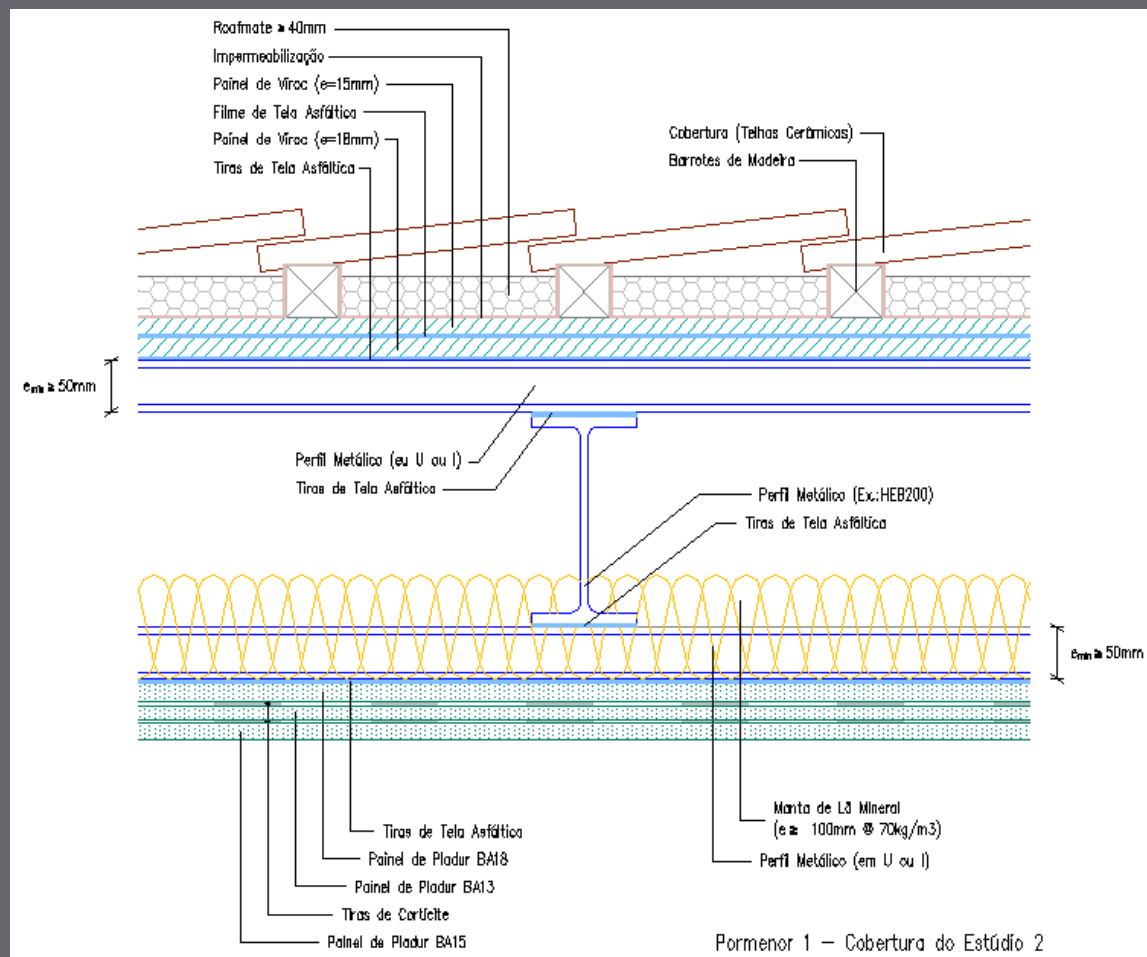
- adaptação e reabilitação de espaços existentes
 - reforço de isolamento sonoro de coberturas



situações exemplificativas:

- adaptação e reabilitação de espaços existentes

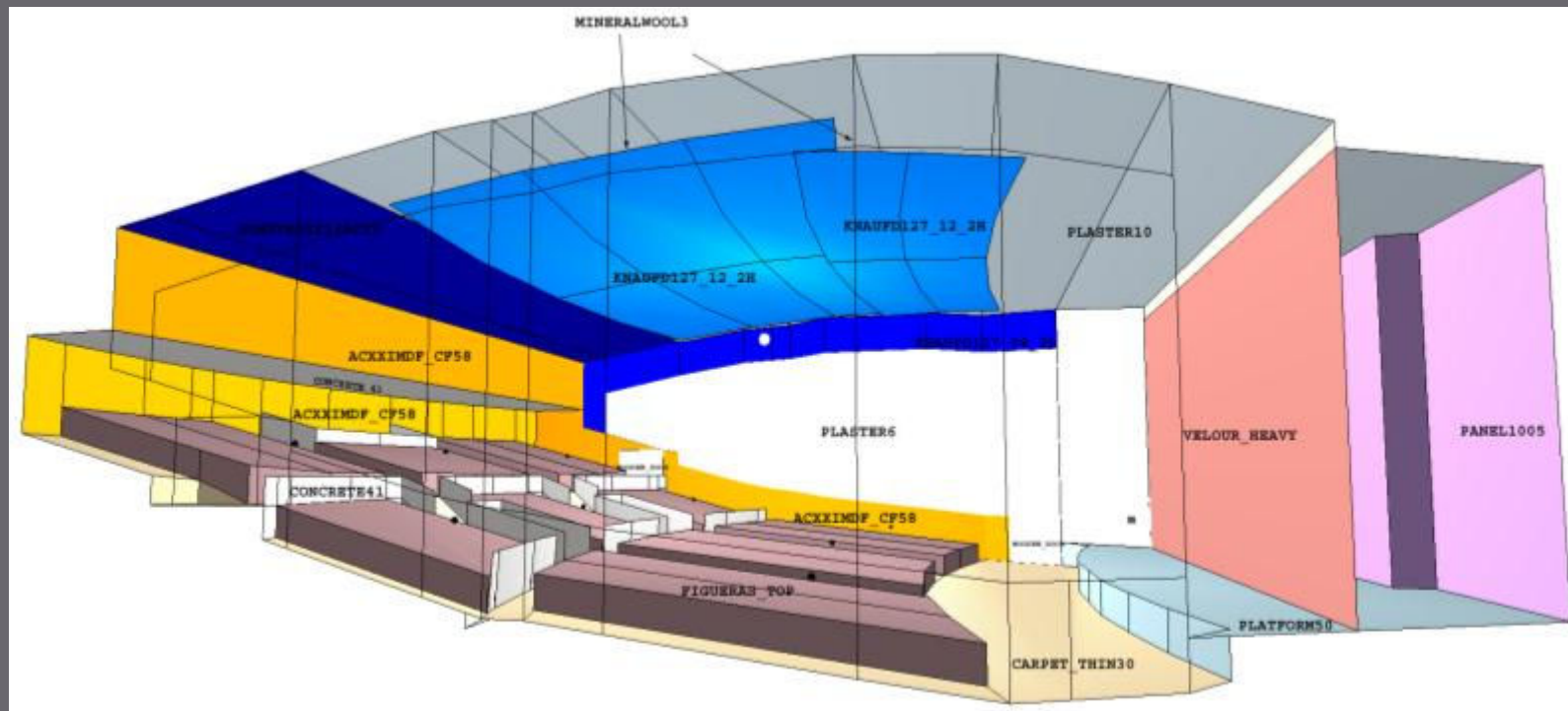
– reforço de isolamento sonoro de coberturas



situações exemplificativas:

- auditórios

– condicionamento acústico

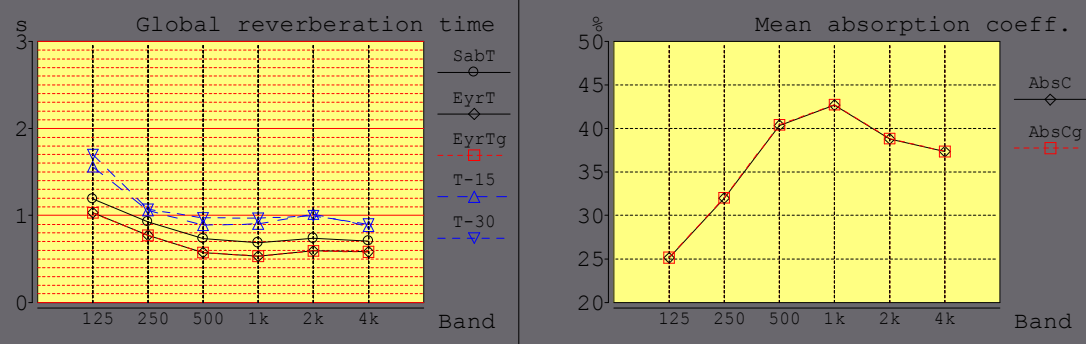


situações exemplificativas:

- auditórios

– condicionamento acústico

Tempo de Reverberação - valores globais:



	125	250	500	1k	2k	4k
EyrT	1,03	0,77	0,58	0,53	0,59	0,58
EyrTg	1,03	0,77	0,58	0,53	0,59	0,58
SabT	1,19	0,93	0,73	0,69	0,74	0,71
T-15	1,56	1,06	0,89	0,90	1,02	0,87
T-30	1,70	1,07	0,97	0,97	1,00	0,90
AbsC	25,14	32,00	40,35	42,69	38,78	37,34
AbsCg	25,17	32,04	40,44	42,72	38,83	37,37
MFP	7,45	7,46	7,47	7,48	7,49	7,50
DiffS	12,05	14,57	17,32	20,32	23,07	25,24

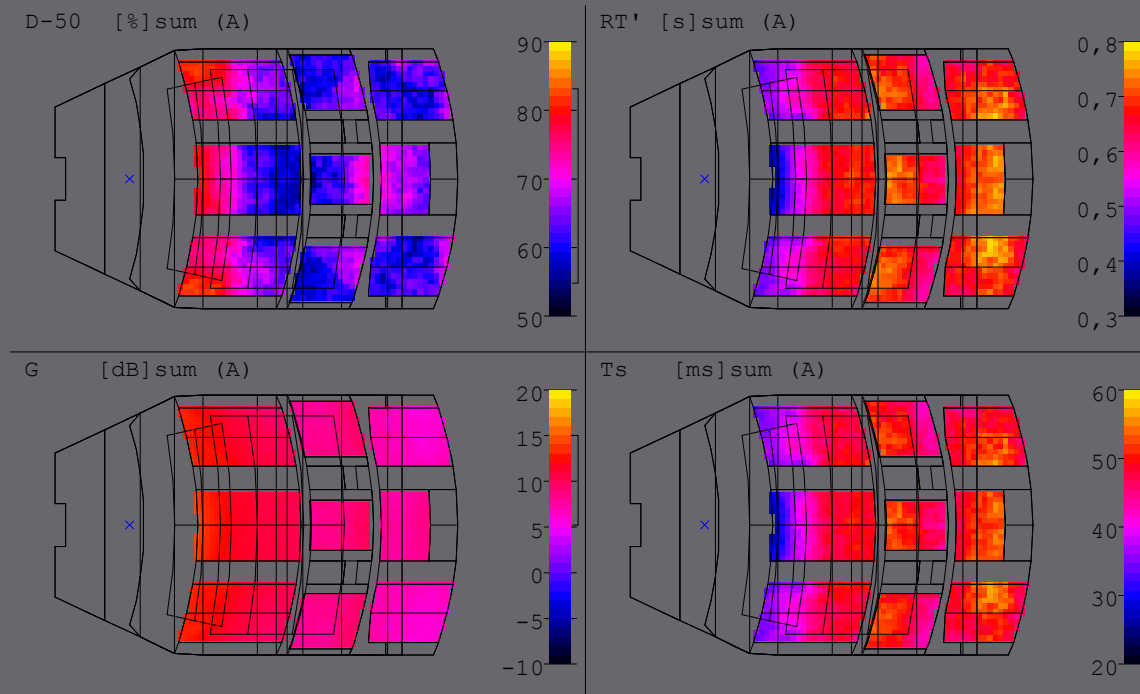
Trunc 2000,0 ms
 Rays 199671 (used/oct)
 8124 (lost/oct)
 0 (absorbed/oct)
 Angle 0,45 degrees

situações exemplificativas:

- auditórios

– condicionamento acústico

Distribuição dos Tr e D50 - valores globais:

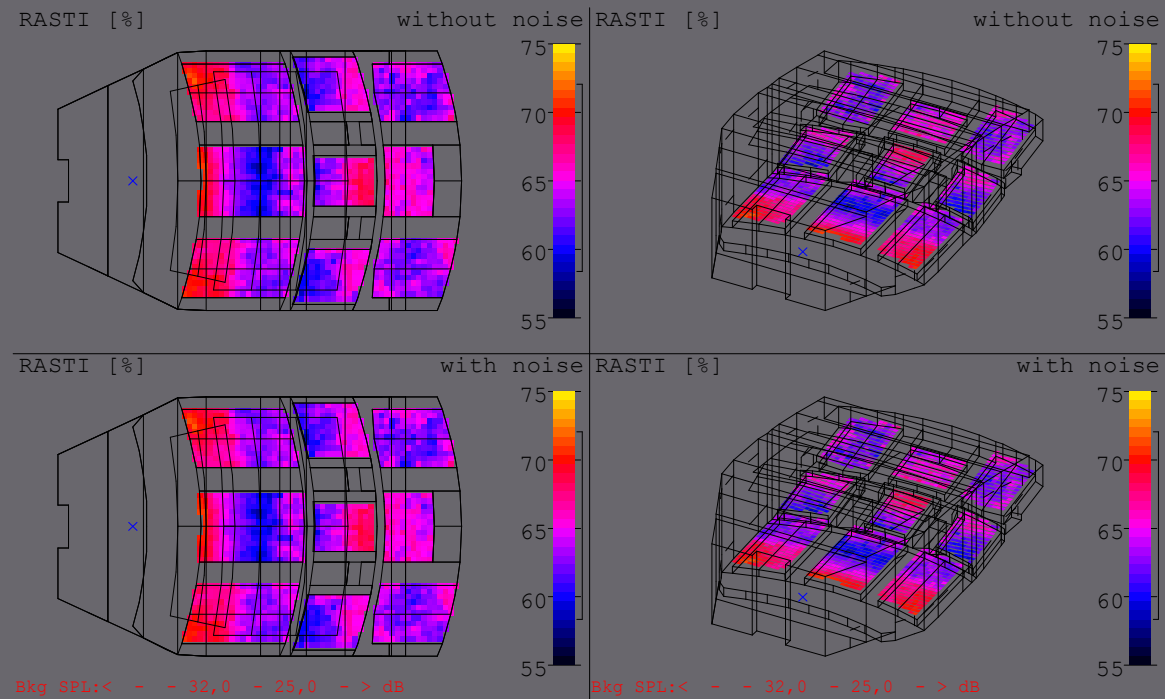


situações exemplificativas:

- auditórios

– condicionamento acústico

Distribuição dos valores de RASTI:



ACÚSTICA NOS EDIFÍCIOS

tempo de discussão

ACÚSTICA NOS EDIFÍCIOS

obrigado