

Noções Fundamentais de Acústica

regras de arte

O WebDoc France Air Portugal sobre Acústica está dividido em 8 partes e tem como objetivo apresentar as noções fundamentais deste campo de estudo. Partimos de uma visão geral sobre as principais implicações ao nível acústico de um projeto para aprofundarmos temas específicos mais complexos como as curvas isofónicas, a ponderação A e o cálculo do nível sonoro global. No final do documento, encontra-se um breve resumo das soluções France Air mais indicadas para cada aplicação nesta área.



SUMÁRIO

1

Acústica:
visão geral

2

Os níveis
sonoros

3

As curvas isofónicas
e a ponderação A

4

O cálculo
do nível global

5

Os níveis acústicos
recomendados

6

Ficha simplificada
de cálculo

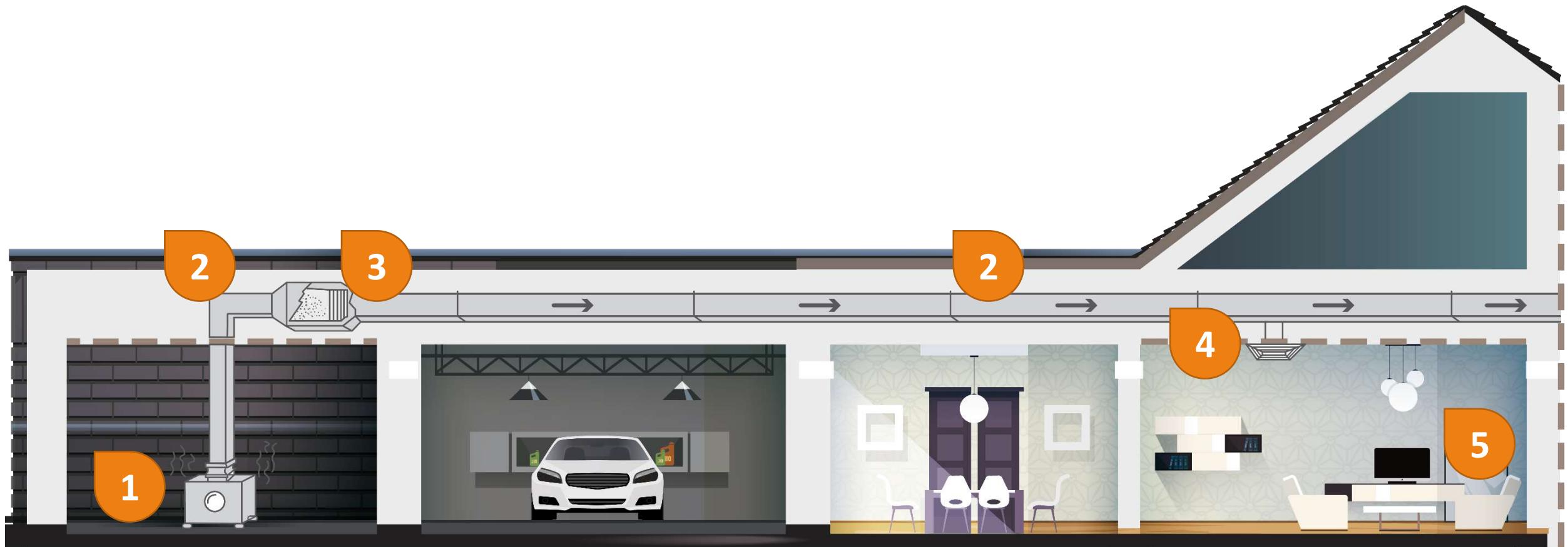
7

Guia de seleção
France Air

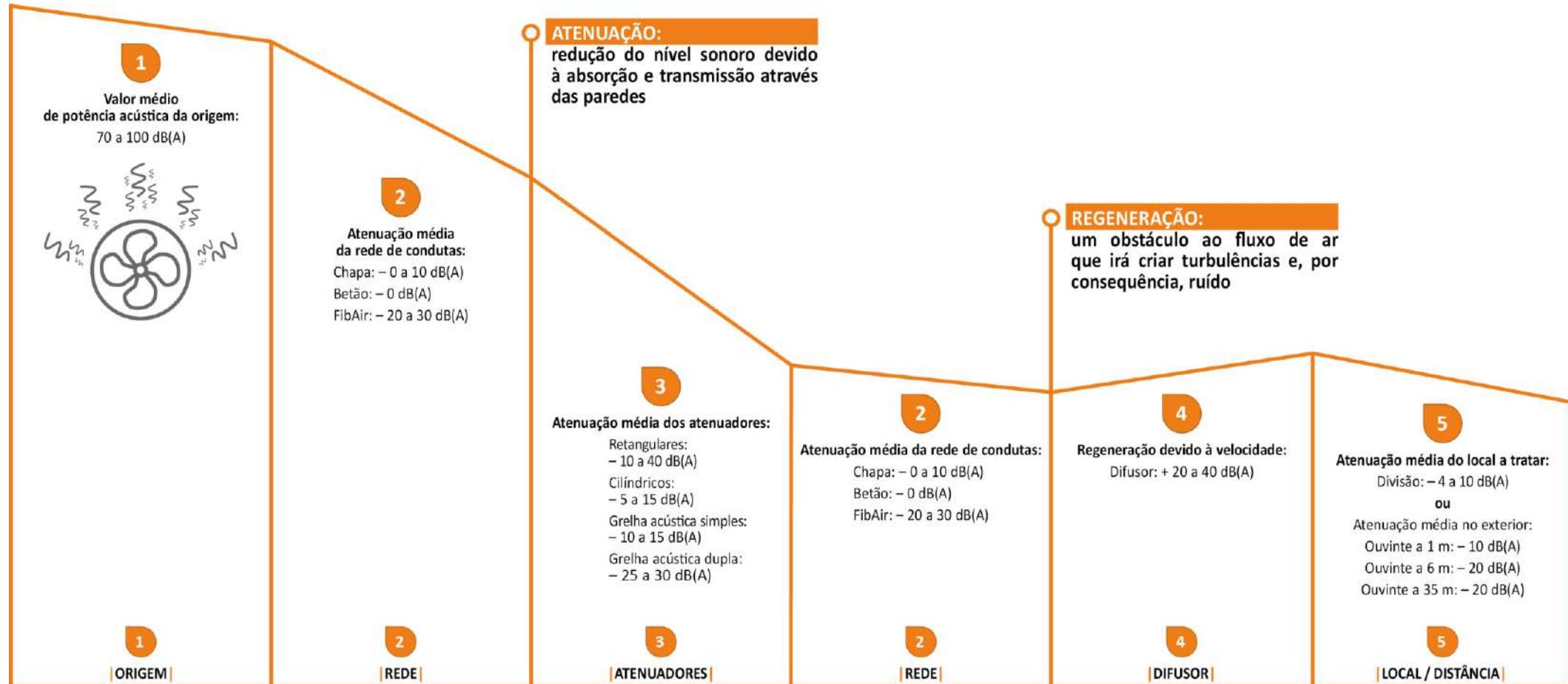
1

ACÚSTICA: VISÃO GERAL

ORDEM DE GRANDEZA



ORDEM DE GRANDEZA



DEFINIÇÕES

POTÊNCIA SONORA _ L_w

- *unidade potência sonora: dB*
- *caracteriza intrinsecamente o equipamento*
- *é a base de todos os cálculos*
- *é a base de toda a comparação*



PRESSÃO SONORA _ L_p

- *unidade pressão sonora: dB*
- *caracteriza o equipamento no seu ambiente (posição, distância, local)*
- *é o resultado a obter no espaço onde a medição é efetuada através de um sonómetro*

Potência Acústica vs. Pressão Acústica

A potência acústica exprime-se em decibéis (dB) e define-se pela seguinte relação:

$$Lw = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

W = potência em watts

W_0 = potência de referência = 10^{-12} watts

Os níveis de pressão acústica exprimem-se igualmente em decibéis e definem-se por uma relação similar:

$$Lp = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2$$

P = pressão acústica em Pascal

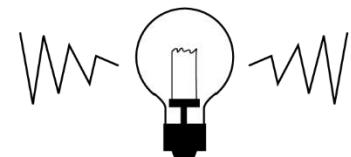
P_0 = pressão de referência, limiar de audição a 1000 Hz = $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Potência Acústica vs. Pressão Acústica

ATENÇÃO:

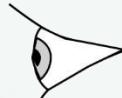
Nos dois casos, falamos de níveis em decibéis, mas estas são duas grandezas físicas diferentes.

EXEMPLO



Fluxo luminoso

AMBIENTE

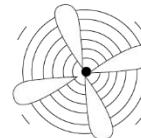


Olho
Iluminação

Unidade: lúmen

\neq

Unidade: lux



Ventilador

Potência acústica

AMBIENTE



Ouvido
Pressão acústica

Unidade: dB (ref^a 10^{-12} W)

\neq

Unidade: dB (ref^a 10^{-5} Pa)

Potência Acústica vs. Pressão Acústica: conclusão



característica intrínseca do equipamento



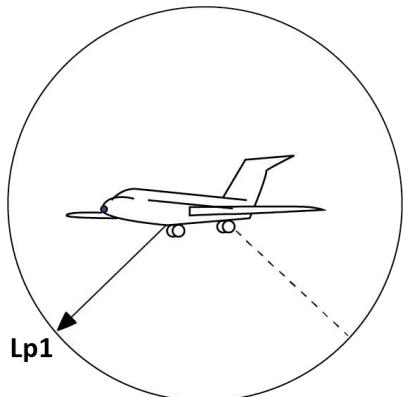
caracteriza o equipamento num dado ambiente

DEFINIÇÕES

EFEITO DA DISTÂNCIA (CAMPO LIVRE)

Quando uma fonte sonora irradia uniformemente em campo livre, a pressão distribui-se sob a forma de esfera em torno da fonte.

O nível de pressão decresce em função inversa
com o quadrado da distância.



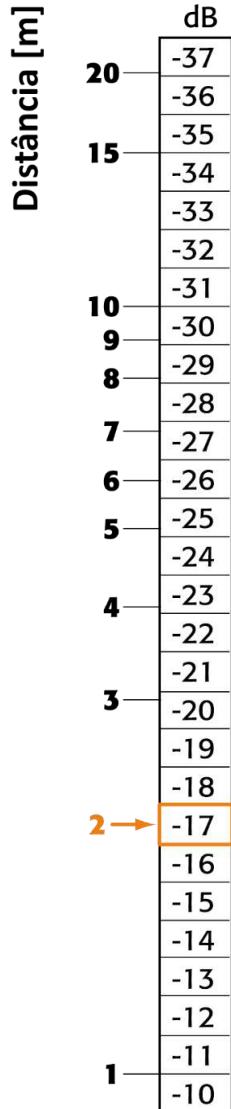
$$Lp1 = Lw + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} \right)$$

Efeito da distância (campo livre)

ATALHOS RÁPIDOS

- Cada vez que a distância duplica, a pressão decresce em 6 dB.
- Para converter uma potência em pressão sonora a 1 metro, subtraem-se 11 dB ao valor da potência sonora:
$$10 \log \left(\frac{1}{4\pi} \right)$$
- Para converter um nível de pressão acústica de uma distância r_1 para r_2 , utiliza-se:
$$20 \log \left(\frac{r_1}{r_2} \right)$$
- Em alternativa, para converter um nível de potência num valor de pressão a uma distância da fonte pode utilizar-se o ábaco à direita.

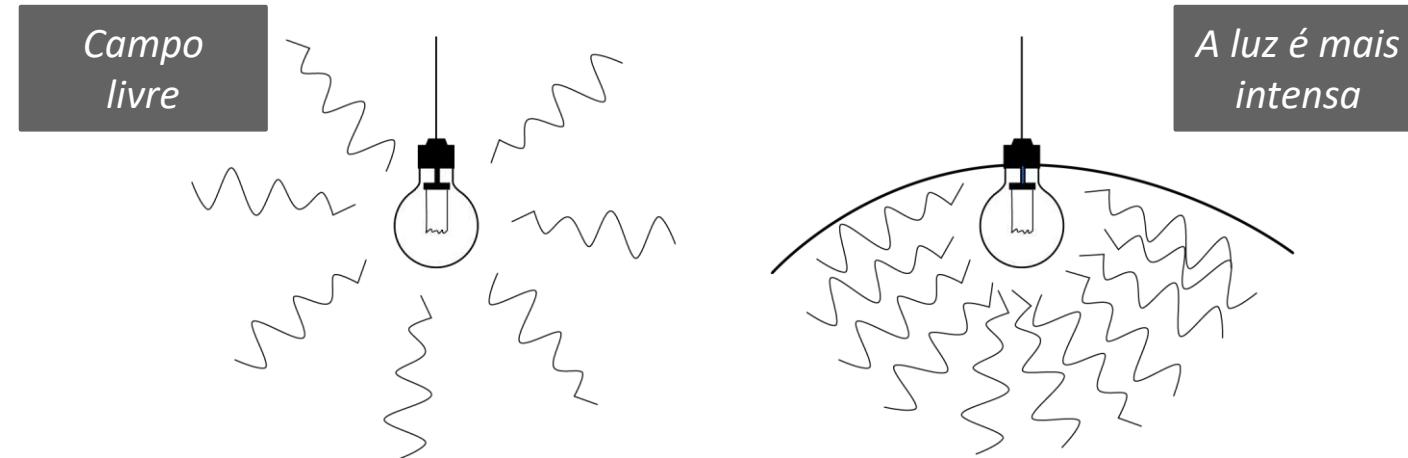
Efeito da distância



DEFINIÇÕES

EFEITO DA DIRETIVIDADE

Muitas vezes, a fonte sonora encontra-se na proximidade de uma ou mais superfícies (chão, teto, parede, etc.) o que influencia a forma de propagação do ruído.



Efeito da diretividade

ESTE EFEITO PODE SER QUANTIFICADO ATRAVÉS DA EXPRESSÃO:

$$Lp = Lw + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right)$$

QUE PODE SER RESCRITA COMO:

$$Lp = Lw + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} \right)$$

*Cálculo da propagação
em campo livre*



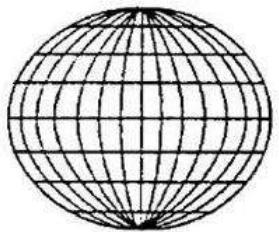
$$10 \log Q$$

*Correção da
diretividade*

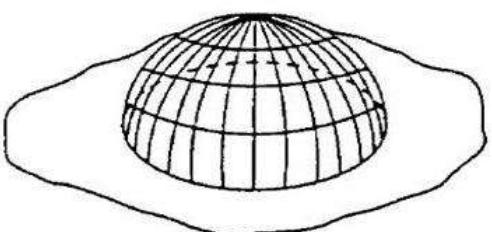
Efeito da diretividade

DIRETIVIDADE DA PROPAGAÇÃO DO SOM

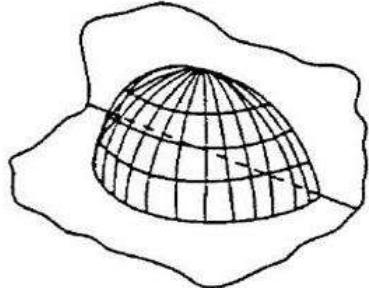
FATOR DE DIRETIVIDADE (Q), RELAÇÕES SIMPLIFICADAS



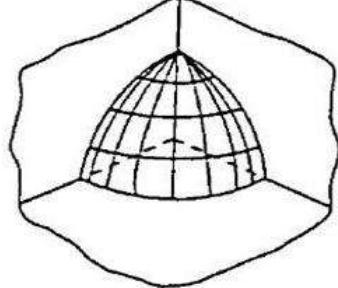
(a) Radiação esférica | $Q = 1$



(b) 1/2 radiação esférica (hemisférica) | $Q = 2$

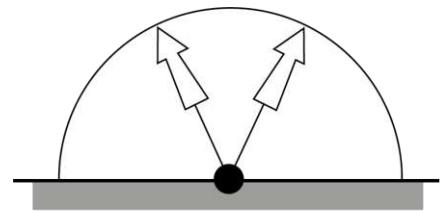


(c) 1/4 radiação esférica | $Q = 4$

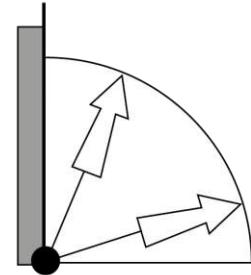


(d) 1/8 radiação esférica | $Q = 8$

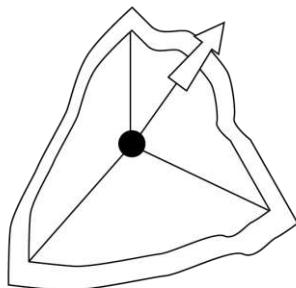
Efeito da diretividade



+ 3 dB — 1/2 esfera
(parede, teto...)



+ 6 dB — 1/4 esfera
(ângulo de 2 paredes)

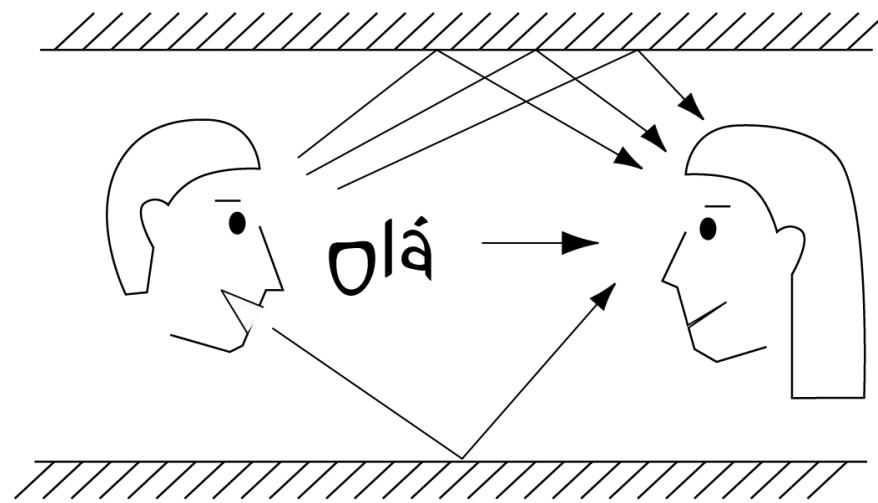


+ 9 dB — 1/8 esfera
(ângulo de 3 paredes)

DEFINIÇÕES

EFEITO DA REVERBERAÇÃO

A reverberação traduz o efeito da reflexão das ondas sonoras num espaço interior.



DEFINIÇÕES

EFEITO DA REVERBERAÇÃO

$$Lp = Lp\ direto + Lp\ reverberado$$

$$Lp = Lw + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

Componentes

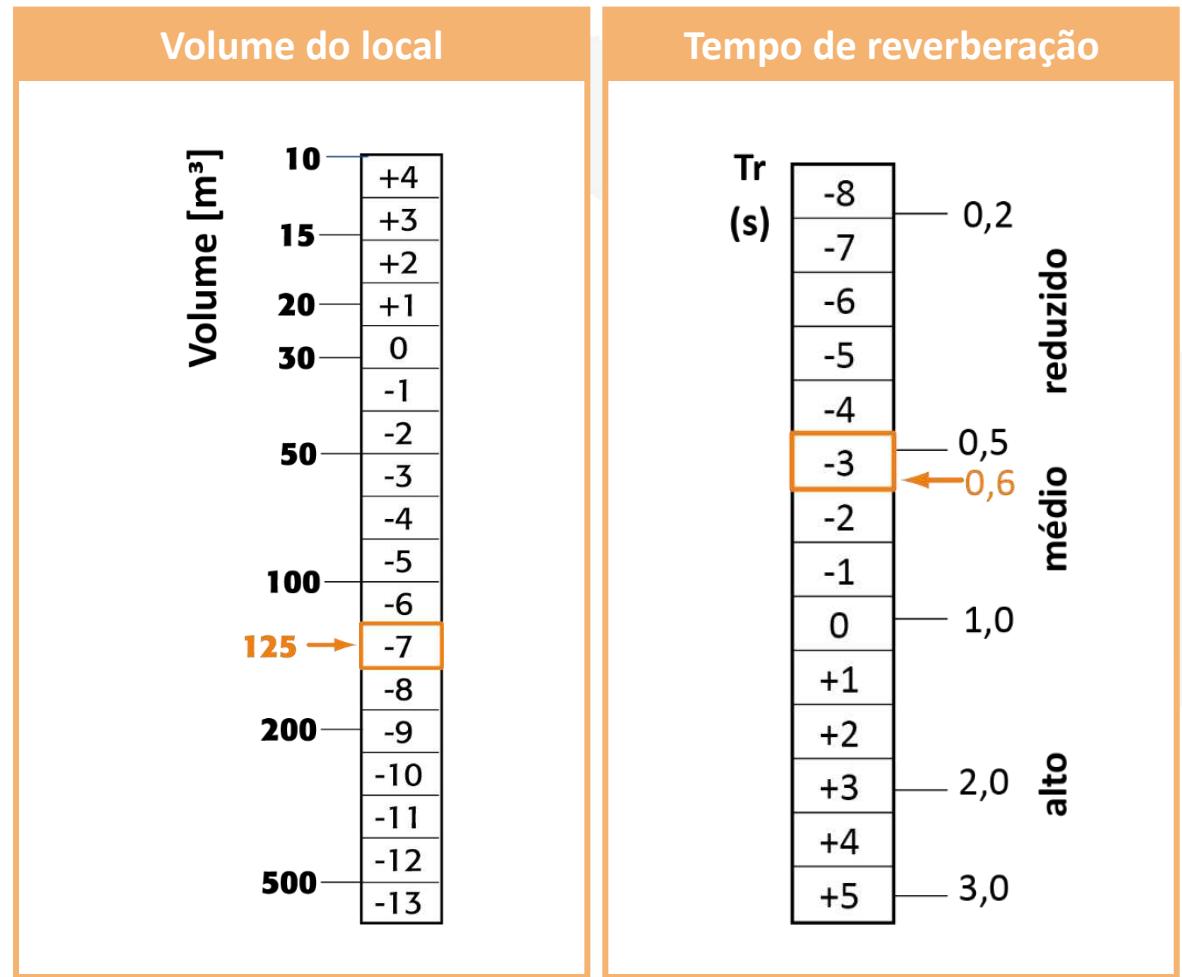
□

Componente reverberada

Onde R é a constante do espaço e pode ser calculada através da fórmula de Sabine

Efeito da reverberação

- O ábacos seguintes permitem de forma simplificada quantificar o efeito da reverberação em função do volume do espaço e do tempo de reverberação.



RECOMENDAÇÕES

NÍVEL DE PRESSÃO ACÚSTICA RECOMENDADA

Sala de reunião, biblioteca	30 a 40 dB(A)
Escritório	35 a 40 dB(A)
Hall de entrada, ginásio	40 a 50 dB(A)
Supermercado	45 a 50 dB(A)

2

OS NÍVEIS SONOROS

Os Níveis Sonoros: uma introdução

Quando dois comboios passam ao mesmo tempo, a sensação auditiva não é duplicada.

Isto impõe a introdução de logaritmos na expressão matemática da **pressão acústica** (o que o ouvido sente) e da **potência acústica** (o que a fonte emite).

A sensação auditiva varia com o logaritmo da excitação (Lei de Fechtner). Este é o ponto de partida para serem expressos os níveis de potência e/ou pressão em logaritmos usando um limiar de percepção de referência.

Variações de pressão	Impressão do ouvido	Logaritmo (base 10)
		Excitação
10	1	$1 = \text{Log } 10$
100	2	$2 = \text{Log } 100$
1000	3	$3 = \text{Log } 1000$

A ADIÇÃO DE NÍVEIS SONOROS

- A introdução dos logaritmos faz com que a adição de dois níveis sonoros não seja uma soma aritmética:

$$60 \text{ dB} + 60 \text{ dB} \neq 120 \text{ dB}$$

- Assim, ao somar dois níveis sonoros, somam-se aritmeticamente as potências (ou pressões) aplicadas; o **cálculo do nível sonoro final** faz-se do seguinte modo:

Sendo uma potência aplicada de 10^{-6} W
O nível sonoro correspondente é de 60 dB

$$10 \log \left(\frac{10^{-6}}{10^{-12}} \right) = 60 \text{ dB}$$



$$\begin{aligned} L_w &= 10 \log (2 \times 10^{-6}/10^{-12}) \\ &= 10 \log 2 + 10 \log (10^{-6}/10^{-12}) \\ &= 3 + 60 \\ &= 63 \text{ dB} \end{aligned}$$

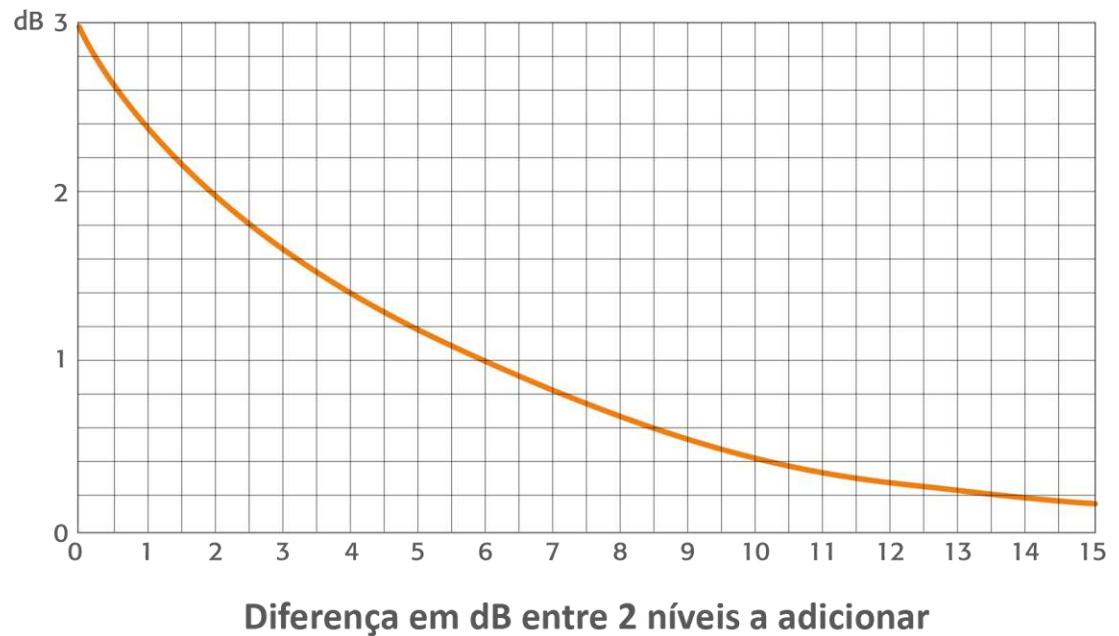
$$\text{Logo, } 60 \text{ dB} + 60 \text{ dB} = 63 \text{ dB}$$

A ADIÇÃO DE NÍVEIS SONOROS

- De uma forma mais prática, para se obter o resultado de uma adição de dois níveis sonoros, será suficiente ter como referência o ábaco abaixo apresentado e identificar, a partir da diferença entre os dois níveis, o valor a adicionar ao nível maior.

ATENÇÃO

- Os níveis de potência podem adicionar-se sem incertezas, mas para os níveis de pressão será preciso verificar se o ambiente é o mesmo.
- Exemplo para 2 ventiladores que se encontram no mesmo local: se um tem como nível sonoro 60 dB(A) a 3 m e o outro 60 dB(A) a 1 m, não poderão ser retiradas conclusões diretas.



3

AS CURVAS ISOFÓNICAS E A PONDERAÇÃO A

CURVAS ISOFÓNICAS

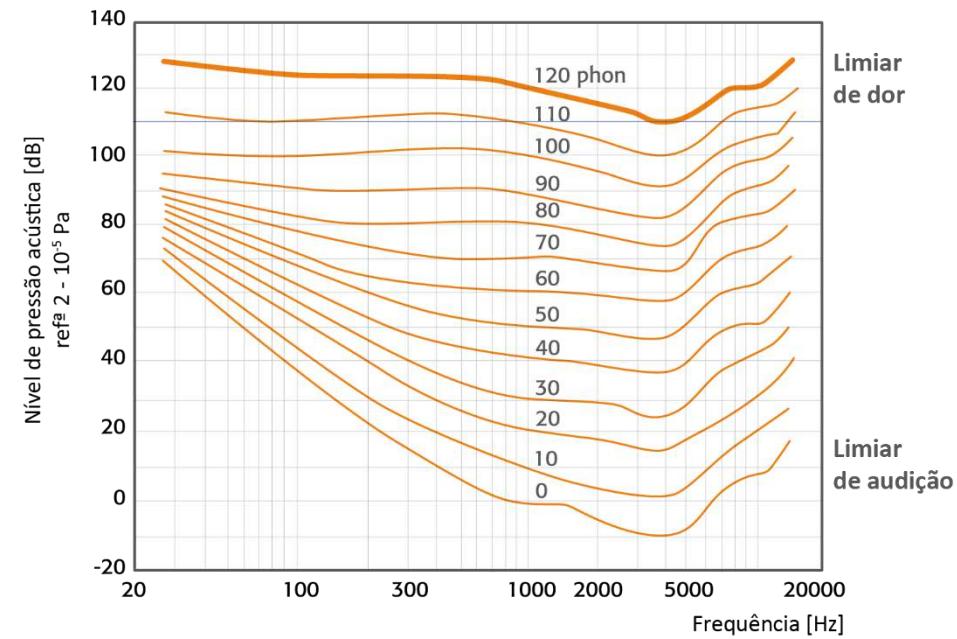
- O ouvido humano não sente todos os sons da mesma maneira: 60 dB a 63 Hz (graves) não são tão percetíveis como 60 dB a 1000 Hz (agudos).

“
*O ser humano é mais receptivo
a altas que a baixas frequências.*
”

- É a partir deste ponto que é introduzida a noção de **curvas isofónicas**: as curvas de igual sensação de um som.

Assim, o ouvido tem a mesma sensação para
um som de 50 dB a 100 Hz
e
um som de 20 dB a 1000 Hz

Diagrama de Fletcher - Munson: curvas isofónicas



PONDERAÇÃO A

- A partir das curvas isofónicas, estabelece-se uma **ponderação “A”** que restitui a sensibilidade diferencial do ouvido em função das frequências, onde o nível de baixas frequências, pouco perceptíveis, é reduzido.
- O dB(A) representa o que o ouvido ouve para os níveis baixos (< 60 dB(A)).
- Para calcular esta ponderação, adicionam-se os seguintes coeficientes ao valor real em dB:

Frequência em Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000
Ponderação A	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1



NOTA

Para melhor distinguir o dB(A) do dB não ponderado, chamamos muitas vezes este último de dB(lin). Existem 2 outras ponderações: B e C, para os níveis mais elevados (<85 dB para B e >85 dB para C).

4

O CÁLCULO DO NÍVEL GLOBAL

CÁLCULO DO NÍVEL GLOBAL

Considerando um espectro em banda de oitava, o cálculo do nível global é feito **adicionando de dois em dois os valores dos níveis de cada banda de frequência**, conforme o método de cálculo descrito anteriormente.

NOTA

OS CRITÉRIOS DE CONFORTO

Dois espectros sonoros diferentes mas idênticos a nível global dB(A) podem produzir sensações diferentes, particularmente se um destes espectros apresentar uma emergência significativa numa banda em relação a bandas adjacentes. Por razões de conforto, vários critérios foram definidos de modo a ter em conta este fenómeno, tal como o de **Noise Criteria (NC)** utilizado nos Estados Unidos e o **Noise Rating** adotado pela norma ISO e NF.

Noise Rating (ISO)

Para respeitar uma dada curva NR, é preciso que o espectro se situe abaixo da curva NR em todas as bandas de frequência.

O nível global pode ser calculado quer em dB(lin) quer em dB(A).

5

OS NÍVEIS ACÚSTICOS RECOMENDADOS

RECOMENDAÇÕES

NO INTERIOR DOS EDIFÍCIOS

- Os limites a fixar deverão ter em conta o local de implantação.
- O valor máximo será, então, definido como uma emergência em relação ao barulho ambiental (3 a 5 dB(A) consoante a situação).

NO EXTERIOR DOS EDIFÍCIOS

- Certos locais têm exigências regulamentares (habitações, locais de ensino, espaços de trabalho de diferentes naturezas, etc.).
- Para outros locais, há que ter como referência recomendações das devidas entidades reguladoras.

RECOMENDAÇÕES POR TIPO DE ATIVIDADE <i>(sem prejuízo dos níveis fixados pelas entidades regulamentares)</i>	NÍVEL DE PRESSÃO ACÚSTICA	
	ALTA EXIGÊNCIA [DB(A)]	BAIXA EXIGÊNCIA [DB(A)]
Restauração		
Refeitórios	35	50
Restaurantes, cafés	35	45
Salas de espera		
Salas de estar, salas de fumadores	35	45
Salas de reunião		
	30	40
Locais para atividade desportiva		
Piscinas desportivas, ringues de patinagem	40	45
Piscinas lúdicas	45	50
Salas de relaxamento	30	35
Salas de musculação	35	45
Ginásios	40	50
Pavilhões desportivos	40	50
Locais de passagem		
Átrios	40	50
Centros comerciais	45	55
Salas de aeroportos		
	40	50
Salas de estações de transportes, salas de exposições		
	45	55
Espaços comerciais, lojas		
	40	50
Locais de culto, igrejas		
	30	45
Museus		
	30	40

RECOMENDAÇÕES POR TIPO DE ATIVIDADE <i>(sem prejuízo dos níveis fixados pelas entidades regulamentares)</i>		NÍVEL DE PRESSÃO ACÚSTICA		
		A	B	C
Edifícios de ensino pré-escolar	Creches e Jardins de infância	30	40	45
Espaços comerciais	Supermercados	40	45	50
Edifícios de escritórios	Escritórios e salas de reunião	35	40	45
	Escritórios <i>open space</i>	35	40	45
Restauração	Cafés e restaurantes	35	45	50

- As letras A, B, C correspondem às características dos edifícios e não têm qualquer relação com as ponderações A, B ou C, relacionadas ao dB (de acordo com o projeto da norma europeia CEN TC 156 / WG 6).
- Níveis de pressão em dB(A) gerados ou transmitidos pelo sistema de ventilação e permitidos nos diferentes tipos de locais.

6

FICHA SIMPLIFICADA DE CÁLCULO

Nível de potência = 40 dB(A) ⁽¹⁾

NÍVEL DIRETO DE PRESSÃO

Distância do ouvinte = 2 m (Fig. 1)

Correção = -17 dB (2)

Diretividade (Fig. 2)

Correção = +3 dB (3)

$$Lpd = 26 \text{ dB(A)} \quad (4)$$

$$(4) = (1) + (2) + (3)$$

NÍVEL DE PRESSÃO REVERBERADA

Volume do local = 125 m³ (Fig. 3)

Correção = -7 dB (5)

Tempo de reverberação = 0,6 s (Fig. 4)

Correção = -3 dB (6)

$$Lpr = 30 \text{ dB(A)} \quad (7)$$

$$(7) = (1) + (5) + (6)$$

NÍVEL FINAL

(Fig. 5)

$30 - 26 = 4 \rightarrow$ valor a adicionar: 1 dB

$$Lp = Lpd + Lpr = 31 \text{ dB(A)}$$

Fig. 1: Efeito da distância

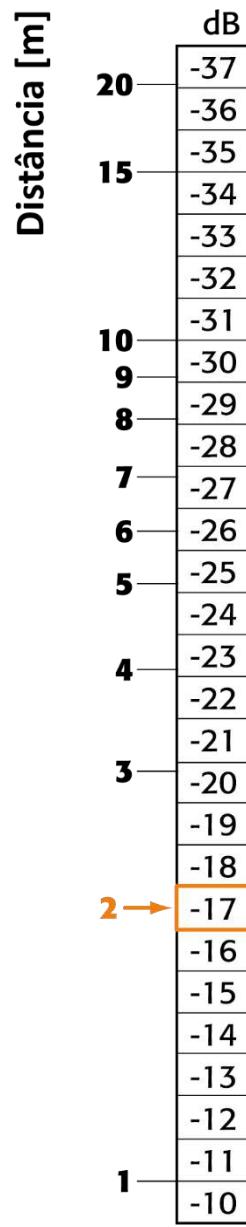


Fig. 2: Diretividade

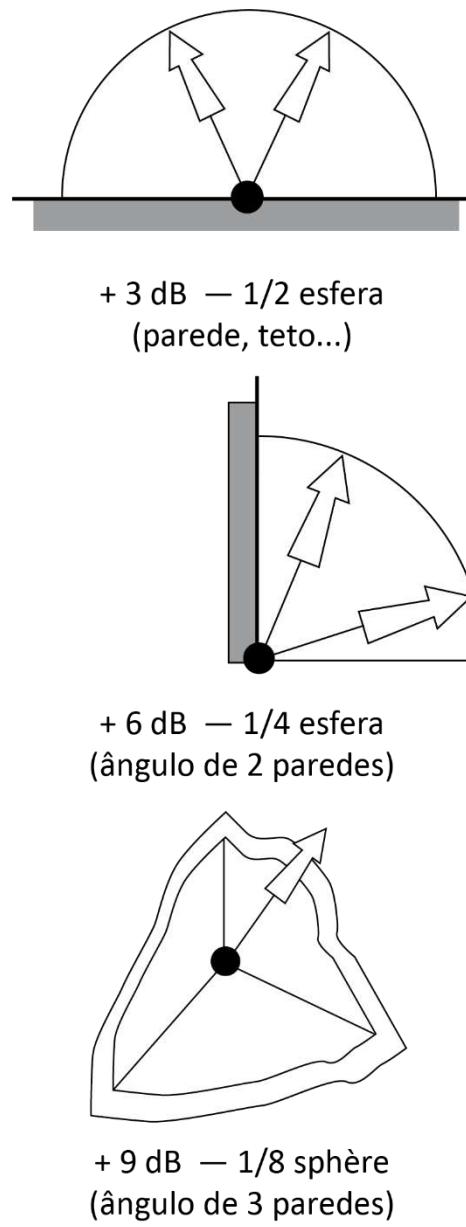


Fig. 3: Volume do local

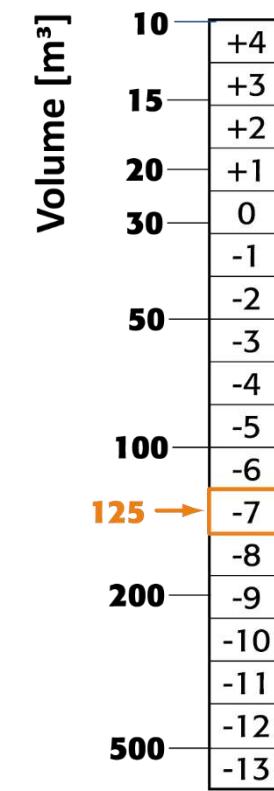


Fig. 4: Tempo de reverberação

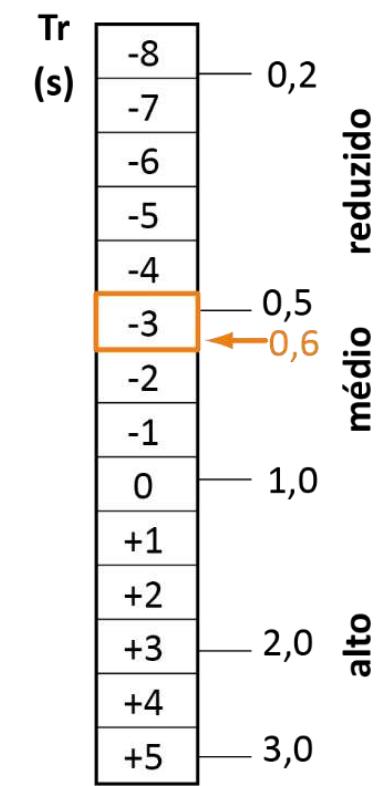
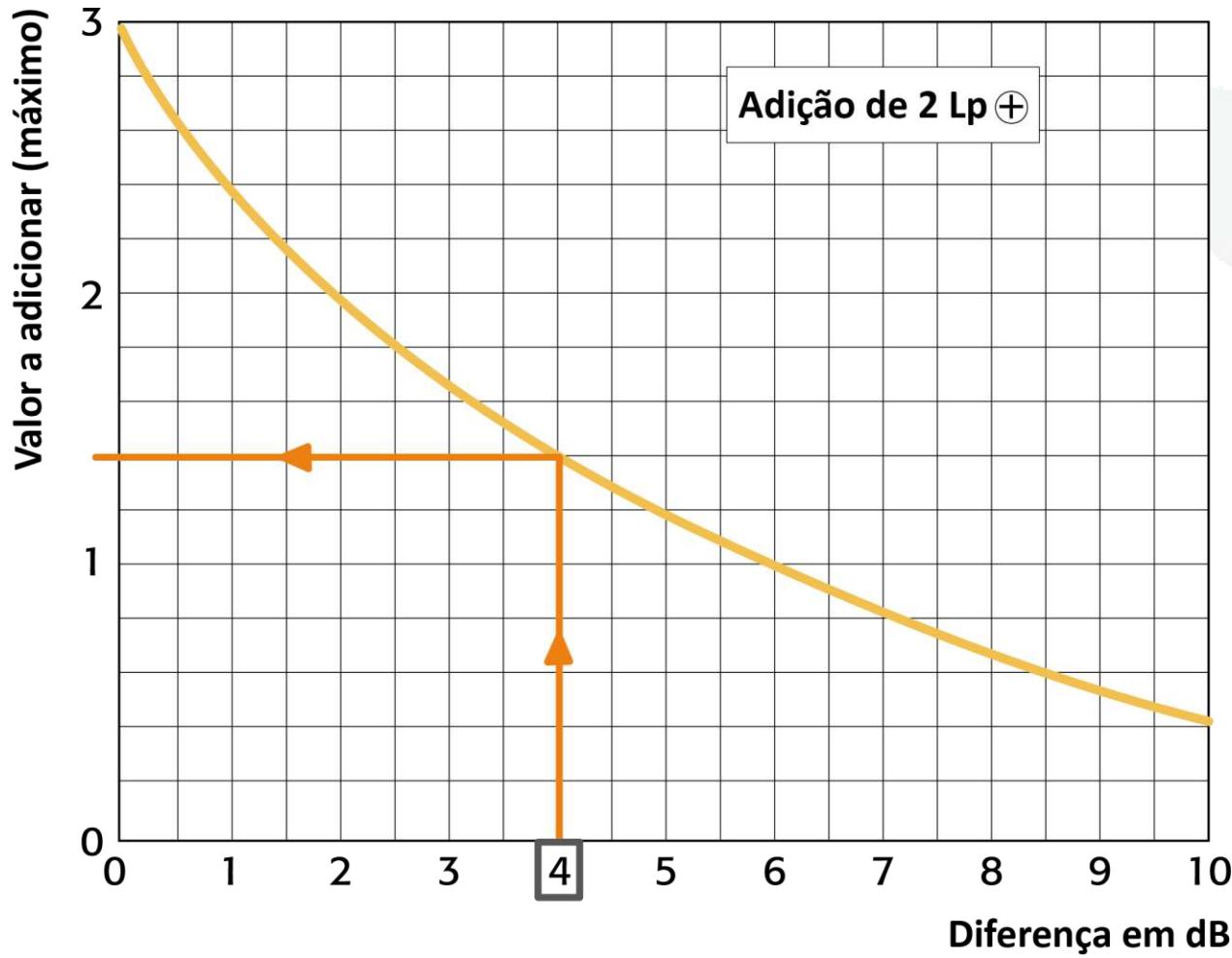


Fig. 5: Adição de 2 níveis sonoros



7

GUIA DE SELEÇÃO FRANCE AIR

APLICAÇÕES

TIPO DE INSTALAÇÃO	ATENUAÇÃO		IRRADIAÇÃO	ANTIVIBRAÇÃO
	Principal (20-50 dB(A))	Secundária (5-25 dB(A))		
<i>Espaço técnico</i>	Baffles  Atenuadores cilíndricos 	Atenuadores cilíndricos (especial VMC) 	Mousse acústica 	Apoios antivibração  Isolamento de pequenas caixas e suportes de condutas 
<i>Divisão a tratar</i>	Grelhas acústicas 	Condutas acústicas (especial transferência) 		Passagem de parede Suspensão de condutas

BAFFLES E CAIXAS



SRB Arpège

Baffle acústica para médias e altas frequências, A1, espessura de 50, 100, 200 ou 300 mm



SRB Arpège 400°C/2H

Baffle acústica para médias e altas frequências, resistência ao fogo de 400°C / 2H



SRB Octave

Baffle acústica para baixas e médias frequências, A1, espessura de 50, 100, 200 e 300 mm



SRC Arpège-Octave

Caixas acústicas retangulares para médias e alta frequências (Arpège) e baixas e médias frequências

[Aceder ao Guia Online](#)



ATENUADORES CILÍNDRICOS E GRELHAS EXTERIORES



SC e SCN

Atenuadores cilíndricos sem núcleo (SC) ou com núcleo (SCN), diâmetros de 250 até 1400 mm

SC VMC

Atenuadores cilíndricos com ligação direta à conduta por encaixe, A1, diâmetros de 125 até 500 mm

TM 25/50

Conduta acústica semirrígida, diâmetros de 100 até 355 mm

Atson®

Grelhas exteriores acústicas com alhetas antichuva, em aço galvanizado ou em alumínio

Aceder ao Guia Online

ANTIVIBRAÇÃO



BCA

Apoios antivibração em borracha, 15 modelos disponíveis



PAR

Apoios antivibração de mola, 9 modelos disponíveis



Mousse Acústica

Mousse autoadesiva para isolamento acústico, com borracha de alta densidade



Isolvib®

Placa maleável antivibração para condutas e/ou caixas de ventilação



Junta Antivibração

Junta flexível para ligação de condutas, para isolamento de vibrações

[Aceder ao Guia Online](#)

Tem um projeto nesta área?
Entre em contacto com os consultores
France Air Portugal

Para mais informações, consulte o nosso Guia Online

Aceder