



## FICHAS TÉCNICAS

### ACÚSTICA

#### O RUÍDO I. OS DECIBÉIS

1. Poluição acústica
2. Efeitos perniciosos do ruído
3. Som e ruído
4. Como é medido o som
5. O decibel
6. Valores admissíveis de ruído
7. Valores habituais
8. Pressão e potência sonora
9. Ruído de um ventilador
10. Recomendações para colaborar a baixar os níveis de ruído
11. Normativa

#### 1. Poluição acústica

Comparando os quatro sinistros Cavaleiros do Apocalipse que representavam a peste, a fome, a guerra e a morte, poderíamos dizer que hoje em dia os quatro cavaleiros da poluição apocalíptica que ameaça o mundo são os que representam a poluição do ar, da terra, da água e a do ruído.

Há vários anos o ruído converteu-se numa das principais preocupações da nossa vida diária, tanto dentro da casa como na rua, nos locais de trabalho como nos de lazer.

Mas como o ruído não se vê, não protagoniza notícias sensacionais com reclamações colectivas. No entanto a exposição continuada a certos níveis é uma agressão que recebem os cidadãos e que pode afectar seriamente a saúde física e psíquica de todos.

As audiometrias demonstram que a gente jovem urbana apresenta cada vez mais deficits pelo facto de viver num meio ruidoso, agravada no caso dos fanáticos do "walkman" que são candidatos certos à surdez.

A gente idosa, à medida que se aproxima à reforma, convertem-se em surdos sociais. Não é que não ouçam, é que não reconhecem as consonantes e não podem seguir uma conversa normal. Então gritam e sobem muito o volume do televisor.

Todos sofremos o ruído do trânsito, do bar musical ao lado, da oficina próxima ou do vizinho do andar superior que arrasta móveis ou grita às crianças.

Metade das ruas das grandes cidades não são aptas para a conversação, já que cinquenta por cento delas ultrapassa durante o dia o nível de ruído máximo recomendado pela OMS e de noite uma percentagem de ruas está acima de 75 % nos bairros periféricos e acima de 95 % nos centrais.



#### 2. Efeitos perniciosos do ruído

Por debaixo dos 45 dB é considerada uma zona de bem-estar e a partir dos 55 dB as pessoas começam a considerar incómodo o ruído. Quando forem ultrapassados os 85 dB manifestam-se os

efeitos nocivos. Figs. 3 e 4.

Produz-se uma contracção dos vasos da zona pré-capilar, aumenta a resistência periférica da circulação do sangue reduzindo o volume impulsionado. O coração sofre. Os efeitos dependem da intensidade do ruído e do tempo de exposição ao mesmo.

Um aspecto é a alteração da sensibilidade dos olhos às cores. Provoca-se uma excitação nervosa, uma diminuição dos reflexos e uma falta de atenção. Por fadiga dos ossos do ouvido produzem-se momentâneas surdez. Enfim, estamos a dizer que um ruído alto persistente pode tornar-nos, momentaneamente, surdos, cegos e mudos.

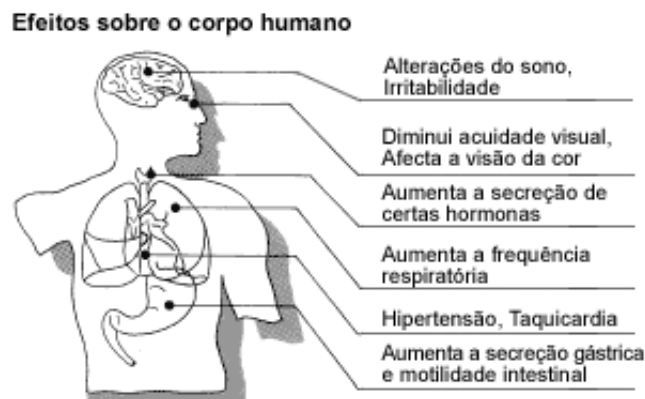


Fig. 3. Zonas sensíveis

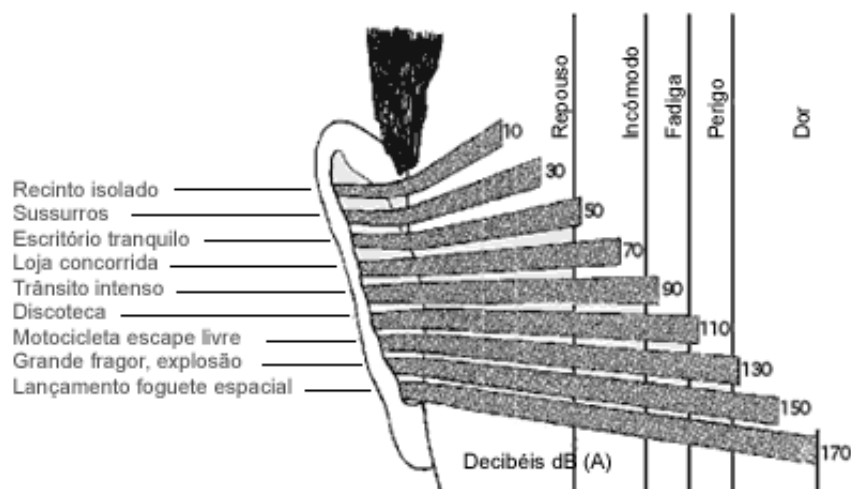


Fig. 4. Escala de ruído

Hipertensão, problemas digestivos, respiratórios e vasculares, disfunções nervosas e endócrinas, vertigem, stresse, insónias e irritabilidade são as agressões ao organismo que pode produzir o ruído. Além de afectar à qualidade do trabalho e ao rendimento intelectual.

Uma pessoa para se recuperar necessita meia hora de tranquilidade acústica, se tiver sido submetida a 100 dB durante dez minutos e requererá 36 horas de repouso auditivo, se a exposição tiver sido de uma hora e meia.



### 3. Som e ruído

A diferença entre som e ruído é subjectiva. Depende da maneira como é percebido. A algumas pessoas pode incomodar um som que agrada muito a outros, como certo tipo de música.

No âmbito das definições dirão que o som é a **sensação** que recebem os órgãos auditivos **devida** às variações de pressão do ar, provocadas por vibrações do mesmo.

Conforme a Física caracteriza-se pela sua **Intensidade** (forte ou fraca), o seu **Tom** (frequência, aguda ou grave) e o seu **Timbre** (devido aos harmónicos da onda fundamental, que permite distinguir o som de um piano do de um violino). Ao tratar da poluição sonora apenas atendemos à **Intensidade** do som, que é a que prejudica o ouvido.

O ruído é um som que pelas suas características e intensidade, parece-nos incómodo.

#### 4. Como é medido o som

O som devido a uma variação da pressão do ar se propaga a 340 m/s (equivale a 1.225 km/h). Se as variações forem 20 vezes por segundo, isto é 20 Hz, até 20.000 Hz o som é audível, percebe-o o ouvido humano.

Medir um som é medir a sua pressão.

A pressão, força por unidade de superfície, tem diversas unidades com o que expressá-la: kp/cm<sup>2</sup>; atmosfera; bária e o Pascal, P, que equivale a 1 Newton/m<sup>2</sup>. De entre todas elas seleccionou-se o Pascal como a mais conveniente para tratar temas de acústica.

O ouvido humano é capaz de detectar 20 milionésimas do Pascal (20 µPa, micro-pascals) e é capaz de suportar a surpreendente pressão de 20 milhões de vezes mais (20 P).

Como referência à ordem de magnitude, assinalaremos que 1 µPa é cinco mil e milhões de vezes menor que uma atmosfera industrial, 1 kp/cm<sup>2</sup>.

#### 5. O decibel

Se desejarmos medir uma magnitude P entre o seu valor inferior, 20 µPa ao seu valor superior 20.000.000 µPa, resultaria uma escala com valores intratáveis. Por isso recorremos à fórmula:

$$\text{NPS (Nível Pressão Sonora)} = 20 \log \frac{P}{20} \text{ [dB]}$$

que compara o valor a medir P com o limite de audição (20 µPa). Tiramos o logaritmo decimal e multiplicamo-lo por vinte. O resultado é os decibéis, dB, de tal pressão P.

$$\text{Valor mín. } 20 \log \frac{20}{20} = 0 \text{ dB } \textbf{limite audição}$$

$$\text{Valor máx. } 20 \log \frac{20 \times 10^6}{20} = 120 \text{ dB } \textbf{limite de dor}$$

Muito mais prática já que se reduz a apenas 120 unidades.

Por outra parte a escala em dB aproxima-se muito mais à percepção humana do som, já que o ouvido reage à proporção de mudança de nível, o dB, que aos incrementos de mudança, pressões em P ou potências em W.

Um ruído de 40 µPa ao passar a um valor dobro, 80 µPa, proporciona a mesma sensação de aumento que um de 80 µPa ao passar também ao dobro, 160 P. Em ambos os casos o aumento, medido em dB, é igual a 6 dB. Por outra parte é preciso acrescentar que 1 dB é a variação mais pequena que pode apreciar o ouvido humano.

A escala da esquerda da Fig. 5 mostra os valores de pressão em µPa entre os limites de audição e de dor e os seus correspondentes em dB. Com uns desenhos ilustraram-se diversos exemplos de situações que produzem um ruído aproximado ao da escala

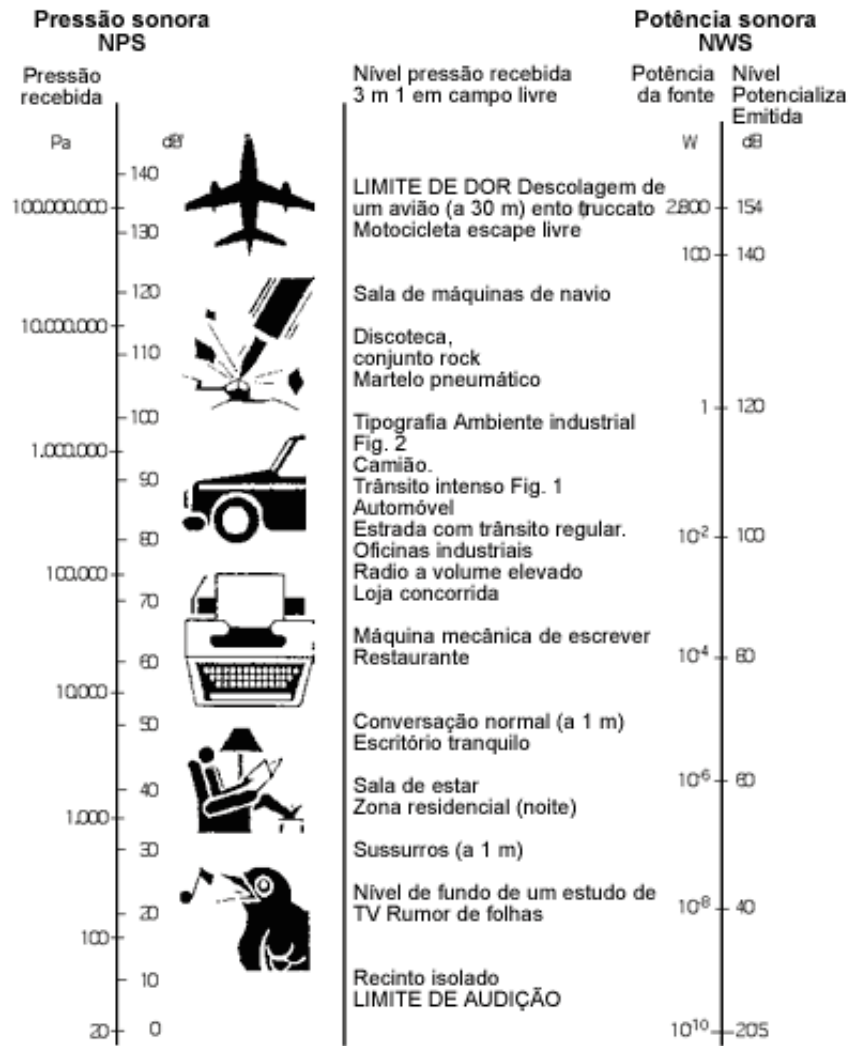


Fig. 5. Níveis sonoros de vários sons

6. Valores admissíveis de ruído

São considerados admissíveis:

Descrição	Valores
Dentro do dia	40 dB
Lar noite	35 dB
Ao exterior, dia	65 dB
Estrada noite	50 dB

7. Valores habituais

Descrição	Valores em dB
Trabalho	
Martelo pneumático	110

Sala teares têxteis	105
Serra circular	100
Prensa rotativa periódica	95
Máquina escrever mec.	70

**Casa**

Aspiradora de pó	75
Toque do telefone	70
Secador de cabelo	68
TV a meio volume	60
O frigorífico	45

**Automóveis (máx. conforme normas)**

Camiões pesados	92
Camiões ligeiros	86
Autocarros grandes	90
Autocarros 9 lugares	86
Motos (segundo cil.)	84 a 88
Turismos	84
Ciclomotores	81

**Espaços ruidosos**

Proximidade avião	135
Pista descolagem	101
Sala espera aeroporto	74
Dentro do avião	81
Plataforma grande estação	91
Vestíbulo de estação	82

**Ambientes típicos**

Interior dormitórios	40
Salas de estar públicas, escritórios, cafés, bares	60
Onde não incomodam grandes ruídos (devem ser usadas protecções)	80
Plaza Cibeles Madrid	88
Plaza Catalunya Barcellona	90
Salão recreativo	84

Nos carros o ruído é devido a:

<b>Tubo de escape</b>	45%
<b>Motor</b>	30%
<b>Admissão</b>	10%
<b>Refrigeração</b>	10%
<b>Pneumáticos ao solo</b>	5%



## 8. Pressão e potência sonora

A pressão sonora que descrevemos NPS é produzida por uma fonte sonora que emite energia por segundo, o que é a definição de potência sonora NWS, de uma distância concreta. Para medir esta magnitude utilizamos o vátio W.

Pelas mesmas razões que no caso da pressão utilizamos uma escala logarítmica para expressar os níveis de potência da fonte conforme à fórmula:

$$\text{NWS (Nível Potência Sonora)} = 10 \log \frac{W}{10^{-12}} \text{ dB}$$

O valor de referência para o NWS de  $10^{-12}$  W foi escolhido porque uma fonte desta potência, produz uma pressão NPS = 1 sobre uma superfície esférica de um metro quadrado, com o que os que representam esta Pressão são numericamente iguais aos da sua potência situada no seu centro.

O nível de potência sonora NWS é obtido a partir do nível de pressão NPS que se produz em "Campo Livre", isto é, num lugar isento totalmente de reflexões acústicas, por meio da fórmula:



$$\text{NWS} = \text{NPS} + 20 \log D + 11$$

D = Distância da fonte ao ponto de medida da pressão.

No caso da esfera descrita antes de  $1 \text{ m}^2$ , com um raio de 0,282 m, resulta:



$$\text{NPS} = \text{NWS} - 20 \log 0,282 - 11 = 0$$

e portanto  $\text{NWS} = \text{NPS}$ , iguais.

A escala da direita da Fig. 5 dá valores de potência sonora NWS correspondentes aos de pressão da sua esquerda, estes medidos a 3 m da fonte. Observamos que resultam distintos uns dos outros, 20 aprox. acima. Assim deve ser tido muito em conta que tipo de nível dão os catálogos de aparelhos, se se tratar de pressão ou de potência.



## 9. Ruído de um ventilador

Um ventilador é uma fonte de ruído e como tal será caracterizado por uma potência sonora NWS. O nível desta potência deve fazer parte dos dados de catálogo do aparelho como uma característica mais. Mas não é habitual encontrá-los e no seu lugar aparecem os valores de pressão sonora NPS aos que devem acompanhar as condições com as que foram determinadas.

Considerando que o ouvido humano não tem a mesma sensibilidade a todas as frequências e também que o fenómeno é mais acusado nos níveis baixos de pressão que nos altos, é difícil dar com um circuito electrónico de sensibilidade igual ao ouvido com que dotar um sonómetro fiel.

Foram normalizados internacionalmente uns sistemas de ponderação para que a sua resposta se aproxime o mais possível à sensibilidade humana. O chamado "A", mais fiel a NPS baixos níveis que aos altos, foram adoptados para todos os casos. Os valores medidos com este filtro aparecem como (A).



## 10. Recomendações para colaborar a baixar os níveis de ruído

1. Cuidado de fechar as portas.
2. Moderar o volume do rádio e TV.
3. Limitar o tom de voz.
4. Evitar acelerações desnecessárias.
5. Não tocar a buzina.
6. Ajustar janelas. Usar vidros duplos.
7. Insonorizar paredes e tectos.
8. Alcatifar solos. Usar cortinas.
9. Escolher electrodomésticos silenciosos.
10. Usar silenciadores em instalações de ventilação.
11. Isolar máquinas de solos e paredes.
12. Isolar condutas de ventilação.



## 11. Normativa

Existem diversos organismos que se ocupam da normalização, bem como entidades municipais que completam o quadro normativo deste assunto. Alguns são:

1. **ISO**, Organismo Internacional: Comités TC 43, 39-SC6 e 94-12.
2. **CEI**, Organismo Internacional: Comités CT 1, 2, 14, 59, 129 e 87.
3. **CEN**, Organismo Europeu: Comités CTN 126, 159 e 211.
4. **CENELEC**, Relação eléctrica: Comités CT2, 14 e 59 X.
5. **AENOR**, Organismo Espanhol: Comités CTN 74, 81, 68 e 86. Rel. Eléctrico: Comités SC 02/GT 29, GT 67; SC 01/GT02, SC04/ GT02, SC05/GT14 e SC10/GT59.
6. **Ministério de Fomento**: NBE-CA-88 "Condições Acústicas dos Edifícios".
7. **Regulamentos Municipais** das Câmaras Municipais da Espanha.



## FICHAS TÉCNICAS



### ACÚSTICA

#### O RUÍDO II. TRANSMISSÃO I

1. Influência das paredes
2. Ruído através de canalizações

Na **Folha Técnica "O Ruído. Os Decibéis"** definíamos o som, descrevíamos o decibel e indicávamos a medida objectiva do ruído. Aqui continuamos com o assunto, começando com a medição subjectiva do som.

O que nos interessa conhecer é como responde o ouvido humano perante um som e saber o quão incómodo resulta. Existe uma evidente correlação entre a intensidade mecânica e a intensidade subjectiva mas não é fácil obter uma curva que ligue ambas as magnitudes, especialmente pela grande variedade de indivíduos que existem e a grande diferença de percepção de uns a outros.

O primeiro experimento realizado, foi o de comparar um som puro de 1.000 Hz e de uma determinada pressão sonora com outro de outra frequência e variar a sua intensidade até que o observador médio considerasse que eram iguais. Assim, por exemplo, experimentaram com um som puro a 1.000 Hz e uma pressão de 30 dB comparando-o com outro de 100 Hz; o observador médio considerou que eram iguais quando este segundo tinha 60 dB. Deste som disseram que tinha 30 FONOS. Diz-se, pois, que um som tem x FONOS quando parece de igual intensidade que outro de 1.000 Hz com uma pressão sonora de x dB.

Do modo descrito, foram experimentadas diferentes pressões a 1.000 Hz e diferentes frequências determinando as curvas isofónicas da Fig. 1 chamadas de Fletcher e Munson

#### FONOS

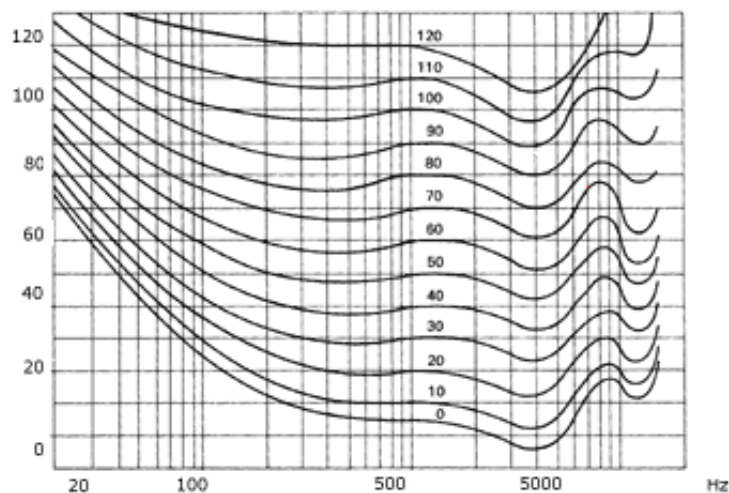


Fig. 1. Curvas de Fletcher e Munson

Do exame destas curvas deduzimos que a sensibilidade do ouvido humano diminui para frequências muito baixas e muito altas, tendo a máxima para 4.000 Hz. Além disso, para complicar as coisas, este fenómeno é mais acusado em níveis de pressão sonora baixos que em altos.

Foram construídos aparelhos para medir o som (sonómetros) que atenuam o sinal captado, conforme a frequência, para simular assim as curvas anteriores. As atenuações normalizadas são as representadas na Fig. 2 chamadas A, B, C e D



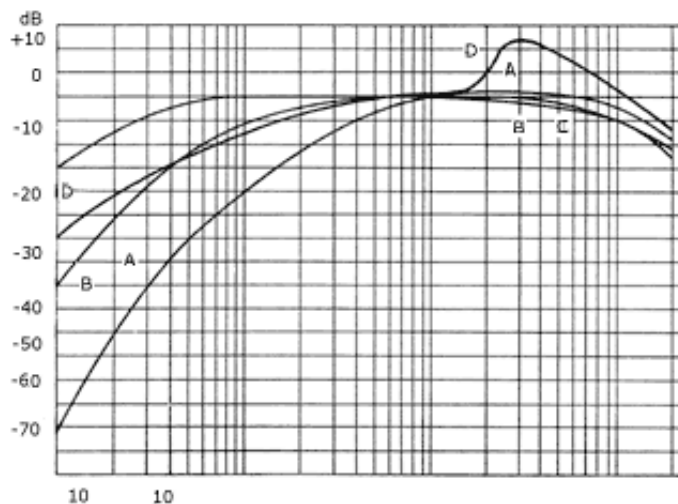


Fig. 2. Curvas de ponderação chamadas A-B-C e D

O "A" será utilizado no caso de sons de pouca intensidade, o B para médios e o C para altos. Na prática, no entanto, só será utilizado A para todos os níveis, já que B e C não proporcionaram resultados satisfatórios devido, principalmente, a que os sons com que obtivemos as curvas de Fletcher e Munson eram puros e os sons na prática são muito mais complexos. A curva D serve apenas para medir o ruído dos aviões com reacção.

Se desejarmos mais pormenores de um sinal complexo, a gama de frequências de 20 Hz a 20 K Hz divide-se em oitavas ou terços de oitava. Este processo é conhecido por "Análise de Frequência" e os resultados são apresentados nuns gráficos como o da Fig. 3, denominados espectrogramas.

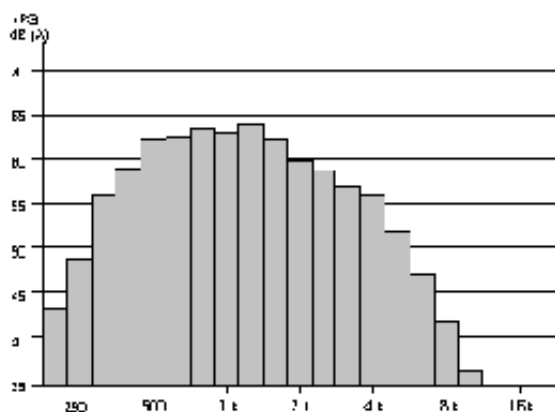


Fig. 3. Espectrograma

Conhecida já a diferença entre pressão sonora e potência sonora, bem como as fórmulas de relação que liga ambas em "Campo livre" sem reflexões pela proximidade das paredes, e por outra parte o que um ventilador produz ruído no seu funcionamento, vejamos aproximadamente que potência sonora emite o aparelho mediante o uso do nomograma da Fig. 4.

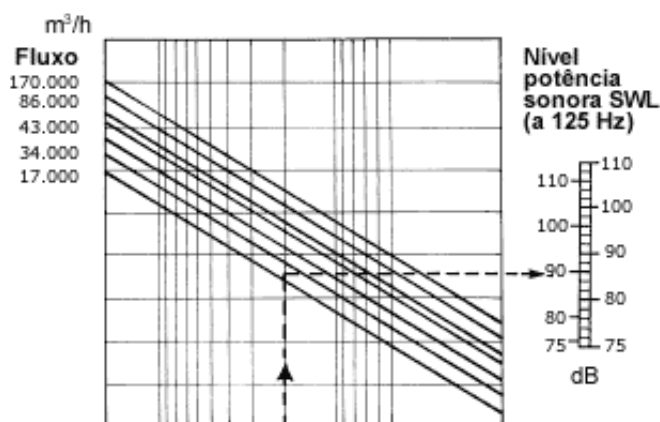


Fig. 4. Potência sonora de um ventilador

Suponhamos um ventilador axial que dá 4000 m<sup>3</sup>/h a uma pressão de 500 P (50 mm ca.). Conforme o nomograma, a 125 Hz corresponde um SWL de 90 dB. O seu espectro será o que figura ao pé, que obtemos somando os 90 dB às correcções indicadas na tabela correspondente.

Tabela de correcções a somar									
Banda de Oitavas	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Axial	dB	+1	0	+1	0	-1	-4	-9	-15
Centrífugo	dB	+2	0	-3	-4	-11	-16	-21	-26

## 1. Influência das paredes

Se a fonte sonora estiver situada perto do solo, Fig. 5, o nível de pressão sonora num ponto A é a soma do som directo e do reflectido pelo solo. Neste caso, em que a propagação é semiesférica, a relação entre  $L_p$  e  $L_w$  é:

$$L_p = L_w - 20 \log r - 8 \text{ dB}$$

Assim, se  $L_w = 80 \text{ dB}$  e  $r = 10 \text{ m}$ , o nível de pressão sonora em A será:

$$L_p = 80 - 20 \log 10 - 8 = 52 \text{ dB}$$

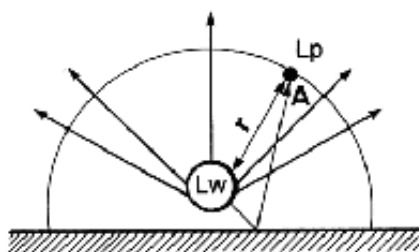


Fig. 5. Nível de pressão sonora

No caso em que a fonte estiver encerrada num quarto, Fig. 6, o problema não é tão simples. Efectivamente, o nível de pressão sonora num ponto será a composição do directo e o das sucessivas reflexões que têm lugar nas paredes, solo e tecto.

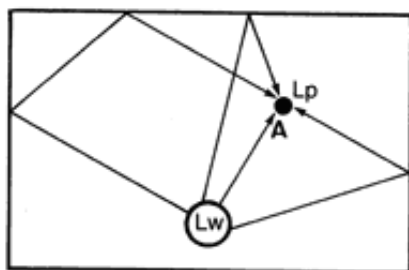


Fig. 6. Nível de pressão sonora

É evidente que o valor do som reflectido, depende do grau de absorção das paredes, solo e tecto, por isso será necessário introduzir um factor que recolha este extremo. Este factor, representado por R, chama-se "constante da sala" e o seu valor em m<sup>2</sup> é o seguinte:

$$S \times a$$

$$R = 1 - a$$

$S$  = Superfície total das paredes + tecto + solo ( $m^2$ ).

$$a = \frac{S_1 a_1 + S_2 a_2 + S_3 a_3 + \dots}{S}$$

$a_1, a_2, a_3$  = Coeficientes de absorção das superfícies reflectivas (paredes, solo, ...).

$S_1, S_2, S_3$  = Superfície em  $m^2$  correspondente a cada grau de absorção.

Uma vez calculado o valor de  $R$  e conhecido o factor de directividade  $Q$ , que nos dá a Tabela 1, estaremos em condições de utilizar o gráfico da Fig. 7, o qual para cada distância  $r$ , do ponto considerado A à fonte, obtemos um valor em dB que devemos somar ao nível de potência sonora  $L_w$ , para conhecer o nível de pressão sonora  $L_p$  no ponto A.

#### Posição da fonte

#### Factor Q de directividade

Perto do centro do quarto	1
No centro de uma parede, solo, tecto	2
No centro da aresta intercessão de duas superfícies adjacentes	4
No vértice onde se unem três superfícies adjacentes	8

Tabela 1. Posição de Factor "Q" da fonte Directividade

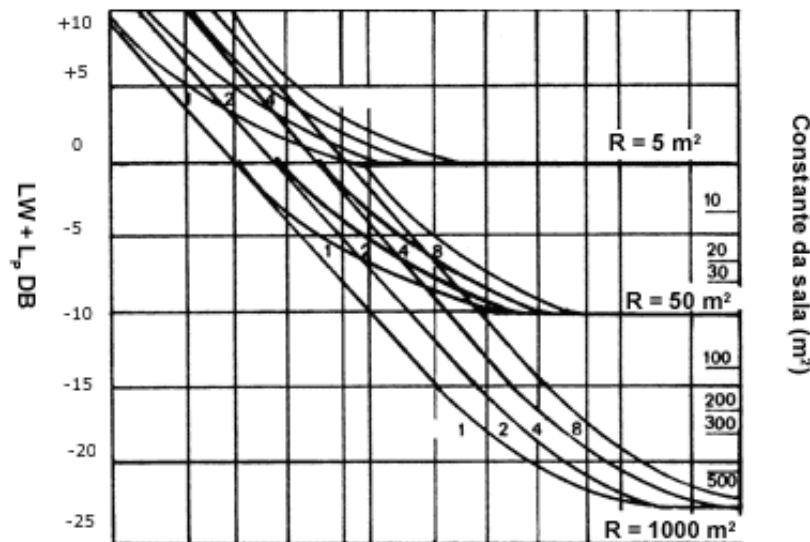


Fig. 7. Gráfica para conhecer o nível de pressão sonora  $L_p$  no ponto A

Suponhamos, por exemplo, um quarto paralelepipedal, Fig. 8, de 5 m de largura por 7 m de comprimento e por 3 m de altura, e que o coeficiente de absorção é 0,8 para as paredes, 0,6 para o tecto e 0,2 para o solo.

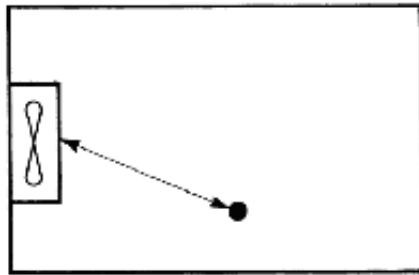


Fig. 8. Quarto paralelepipedal

Se no centro de uma parede estiver instalado um ventilador de 60 dB de potência sonora, o nível de pressão a 2 m do ventilador será:

O coeficiente médio de absorção será:

$$a = \frac{72 \times 0,8 + 35 \times 0,6 + 35 \times 0,2}{72 + 35 + 35} = 0,602$$

A constante da sala será

$$R = \frac{142 \times 0,602}{1 - 0,602} = 214,7$$

Conforme a Tabela 1,  $Q = 2$ . Com estes dados, na Fig. 7 encontramos

$$L_w + L_p = -12 \text{ dB,}$$

para uma distância à fonte de 2 M. portanto:

$$L_p = 60 - 12 = 48 \text{ dB}$$



## 2. Ruído através de canalizações

Antes assinalamos um procedimento para calcular a pressão que existe num ponto de um local, conhecendo a situação e potência da fonte de ruído que existe no mesmo. É preciso agora resolver o mesmo problema, mas considerando que o ruído se transmite ao local em apreço através de uma canalização, tal como acontece nas instalações de ar condicionado.

É preciso considerar o orifício de descarga como fonte de ruído que emite uma potência sonora igual a do elemento emissor, diminuída pelas atenuações da conduta.

Para expressar com mais clareza o processo a seguir para calcular as atenuações produzidas, explicá-lo-emos conjuntamente com a resolução de um exemplo.

Suponhamos que um ventilador, Fig. 9 fornece uma quantidade de ar distribuída em vários canais. A potência sonora total emitida tem um espectro reflectido na Tabela 2.

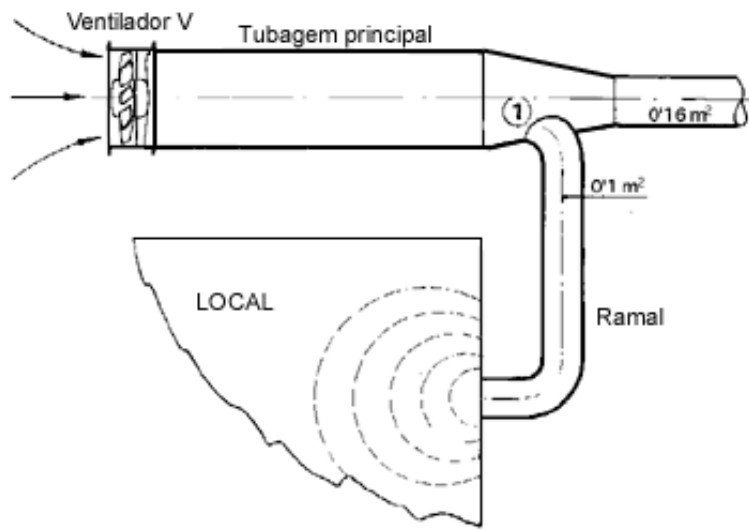


Fig. 9. Esquema ventilador

Hz	68	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB	64	75	81	87	85	74	68	62

Tabela 2. Espectro do ventilador V

Se ao local considerado vai parar apenas o fluxo do ramal 1, é evidente que não todo o ruído do ventilador o alcançará. Podemos calcular o espectro da potência da onda propagada pela conduta que interessa, subtraindo do ventilador o valor determinado pelo uso da gráfica da Fig. 10.

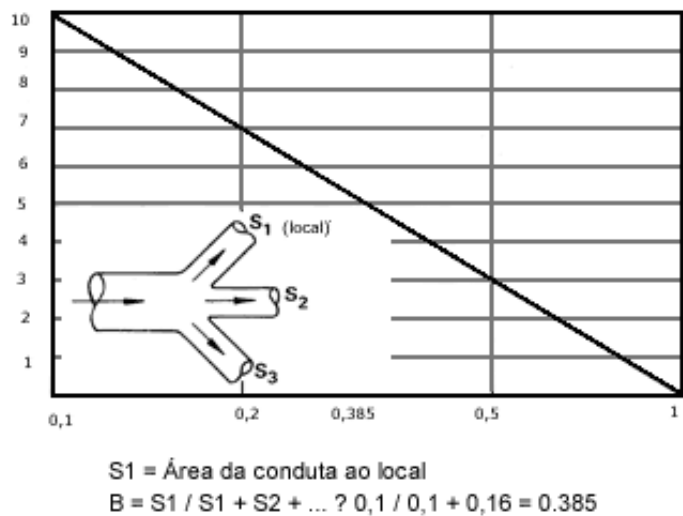


Fig. 10. Cálculo do espectro da onda propagada pelo tubo

No exemplo, uma vez calculado, resulta para o  $\beta$  um valor de 0,385 e a atenuação correspondente de 4 a  $\beta$ . Este valor deve ser subtraído de cada um dos do espectro do ventilador para cada frequência, resultando, para o local, o espectro reflectido na Tabela 3.

Hz	68	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB	60	71	77	88	81	70	64	58

Tabela 3. Espectro do ruído no local



## FICHAS TÉCNICAS



## ACÚSTICA

## O RUÍDO III. TRANSMISSÃO II

1. Tubagens nuas
2. Tubagens tratadas com material absorvente
3. Elementos atenuadores inseridos em tubagens
4. Atenuação à saída
5. Barreiras acústicas

Completamos aqui o item de **ACÚSTICA** tratado nas duas Folhas Técnicas anteriores: **Os Decibéis e Transmissão**, com a presente, **II Transmissão**.

Exporemos as possíveis atenuações de ruído que podem produzir-se ao longo de uma tubagem de ar e que resumimos a seguir, descrevendo-as de uma forma sucinta:

## 1. Tubagens nuas

## 1.1 Atenuação em trechos rectos

Neste caso, a atenuação pode ser considerada virtualmente nula. O ruído na tubagem propaga-se quase sem perder intensidade. Recordemos os telefones nos navios antigos, entre a ponte de comando e a sala de máquinas, a base de um tubo ou mangueira estreitos, rematado em ambos os extremos por buzinas que remendavam o microfone e o auscultador.

## 1.2 Atenuação em cotovelos

A atenuação nos cotovelos é mais um processo de reflexão para a fonte sonora mas não de absorção.

O cotovelo, a 90° sem trechos curvos, é o que mais atenua.

A Fig. 1 dá-nos valores desta atenuação em função da frequência e do diâmetro da tubagem. O rádio de curvatura do cotovelo influi na perda de carga, não na atenuação sonora do mesmo.

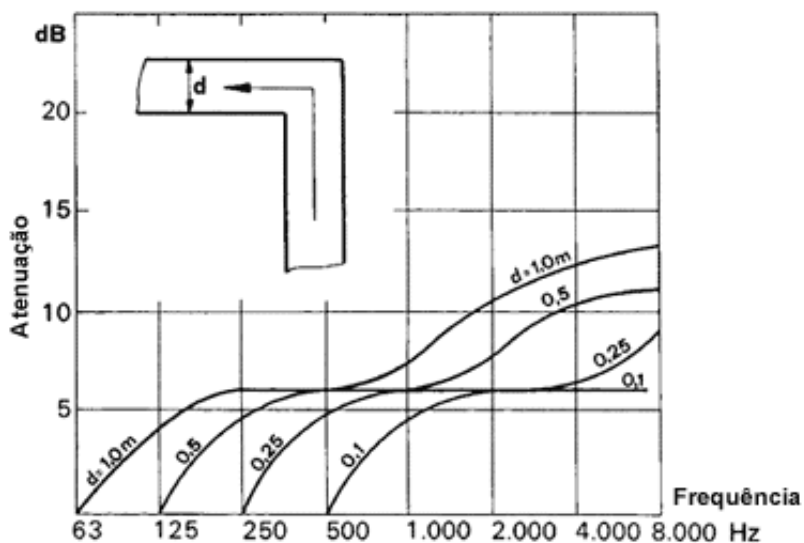


Fig. 1. Atenuação em cotovelos



## 2. Tubagens tratadas com material absorvente

### 2.1 Atenuação em trechos rectos

O facto de recobrir interiormente as tubagens de ar mediante um material absorvente, como fibra de vidro, lã de rocha ou materiais plásticos porosos, de poro aberto, faz com que se produza uma notável atenuação do ruído.

Esta é tanto maior quanto maior for a relação entre o perímetro de material absorvente em conduta com o ar e a secção de passagem. Também cresce com o poder absorvente do material.

A Fig. 2 é um exemplo da atenuação por unidade de longitude de uma conduta recoberta com lã mineral de 100 mm de espessura.

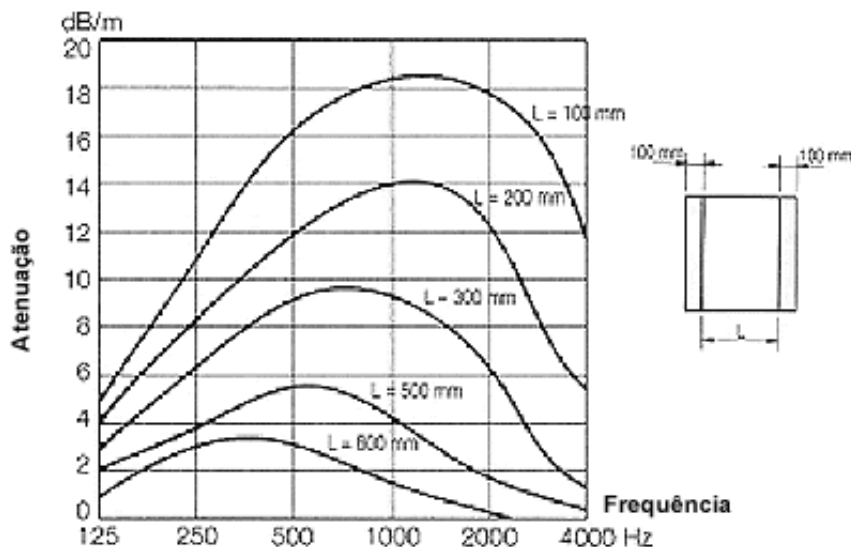


Fig. 2. Atenuação em condutas

É preciso observar que a melhor absorção é a frequências médias, sendo pobre a frequências baixas e altas.

### 2.2 Atenuação em cotovelos

A atenuação dos cotovelos fica incrementada se estes forem recobertos interiormente com materiais absorventes.

A Fig. 3 mostra-nos que alcançamos valores importantes de atenuação com uma quantidade



razoavelmente pequena de material absorvente.

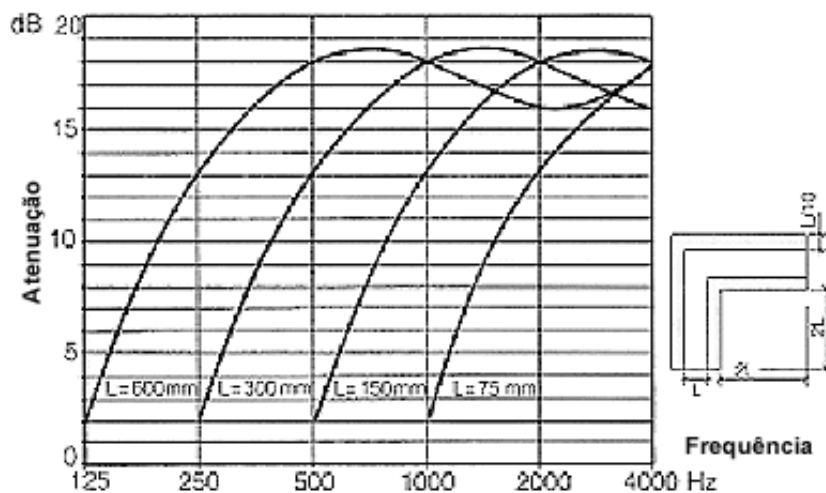


Fig. 3. Atenuação em cotovelos

### 3. Elementos atenuadores inseridos em tubagens

#### 3.1 Plenums

São uns receptáculos onde o ar pode expandir-se para depois sair do mesmo por uma tubagem de dimensões iguais às que tem a de entrada.

A Fig. 4 mostra um esquema em que o efeito da energia sonora que penetra pela boca de entrada é igual como o faz num quarto pequeno, a que atravessa até alcançar a saída. Igualmente, a pressão sonora à saída, e portanto a potência sonora que transmite, compreende a energia radiada da entrada e a de reverberação da câmara. A atenuação pode ser calculada pela fórmula:

$$\text{Atenuación} = 10 \log S_s \cdot \left( \frac{\cos \alpha}{2 \pi d_2} + \frac{1}{K} \right) \text{ dB}$$

on la que:

a = Coeficiente medio de absorción

$S$  = Superf. Interna total del del plenum

$S_e$  = Sección de entrada,  $m^2$

$S_s$  = Sección de salida,  $m^2$

$L$  = Distancia entre centros, m de entrada a salida

$\alpha$  = Angulo de desplazamiento de la dirección de entrada a salida.

$K$  = Constante de la cámara =  $\frac{S \cdot a}{1 - a}$

Hz	63	125	250	500	1000	2000-8000
a	0,1	0,2	0,45	0,65	0,75	0,8

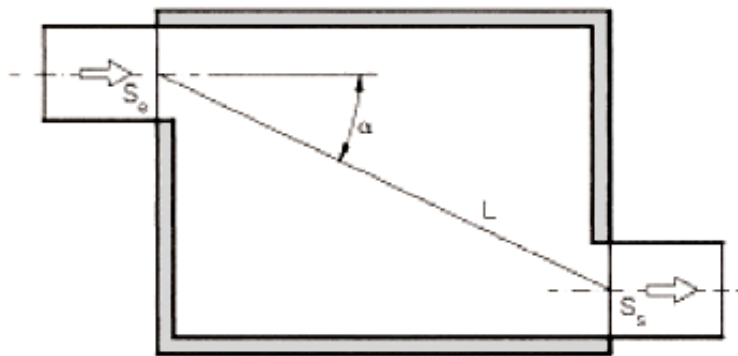


Fig. 4. Igual efecto

Otro é o plenum da Fig. 5 no qual podemos observar que não existe uma via directa entre a entrada e a saída, mas sim o faz depois de três a quatro reflexões.

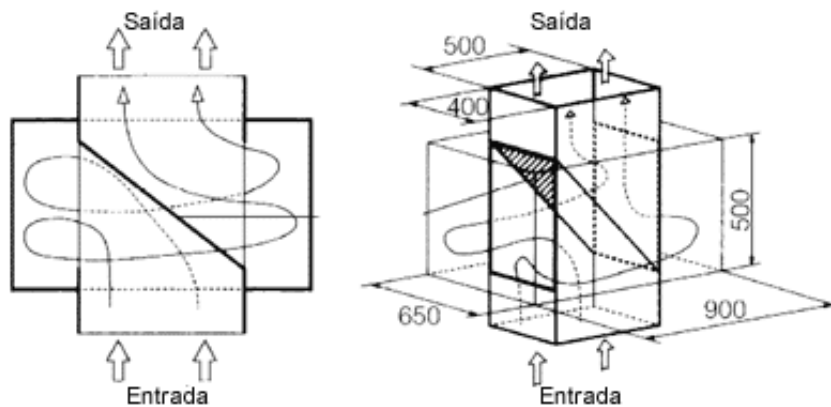


Fig. 5. Diferente efeito

Os plenums produzem uma atenuação bastante importante do ruído, especialmente se estiverem recobertos interiormente com material absorvente. O seu principal inconveniente é o volume que ocupam.

### 3.2 Silenciadores passivos

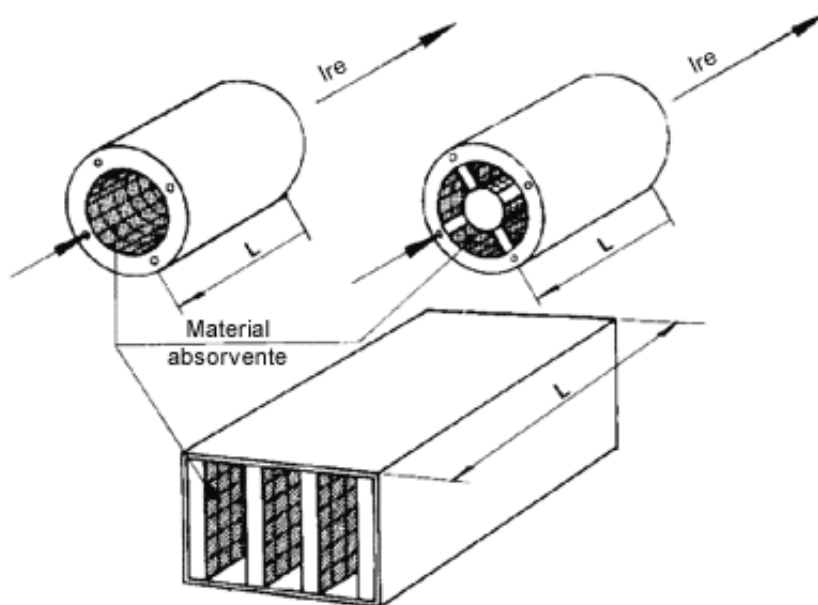


Fig. 6. Silenciador tipo rectangular com painéis

Os de forma cilíndrica possuem um tubo forrado interiormente com material absorvente, recoberto por uma lâmina metálica perfurada. Às vezes levam um cilindro central também de material absorvente e recobrimento metálico perfurado.

Os de forma rectangular, possuem vários painéis paralelos de material absorvente, que partem o fluxo de ar em várias secções para que haja mais contacto entre as ondas sonoras e o material dissipador.

A Fig. 7 é um exemplo da eficácia de um silenciador tipo rectangular com painéis.

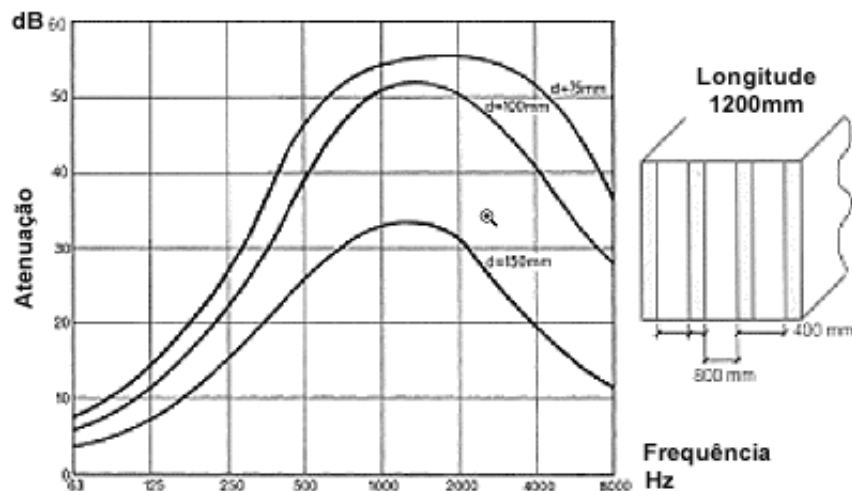


Fig. 7. Silenciador com painéis

Ao utilizar estes elementos devemos ter em conta a perda de carga aerodinâmica que produzem, já que às vezes tem uma acusada importância, Fig. 8.

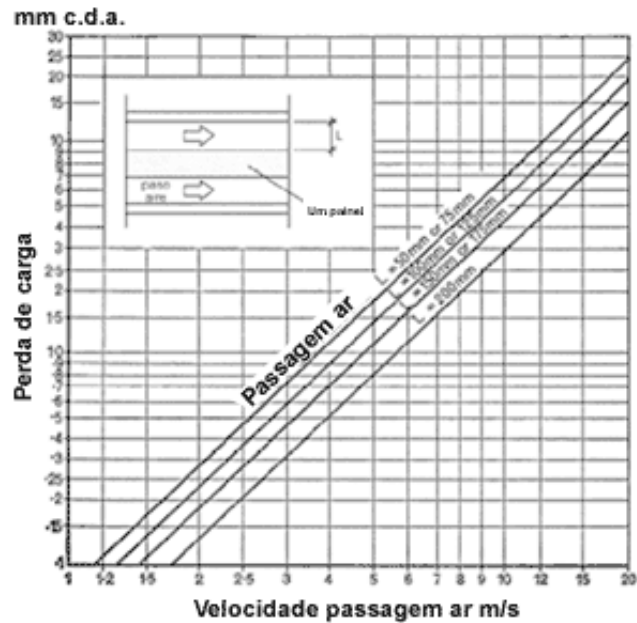


Fig. 8. Perda de carga de silenciadores

### 3.3 Silenciadores activos

O seu princípio baseia-se em neutralizar o ruído antepondo-lhe outro contrário por meio de uma instalação electroacústica. Tecnicamente consiste num microfone que capta o ruído original emitido pelo ventilador, um alto-falante águia abaixo que emite um ruído desfasado 180 graus que, ao incidir sobre o inicial, neutraliza-o deixando uma intensidade residual que é o resultado da aplicação deste silenciador, Fig. 9. Um controlador electrónico capta o sinal original, analisa-a e modula a saída do alto-falante. O valor residual que chega ao controlo permite-lhe ajustar frequências e potência para otimizar o seu efeito.

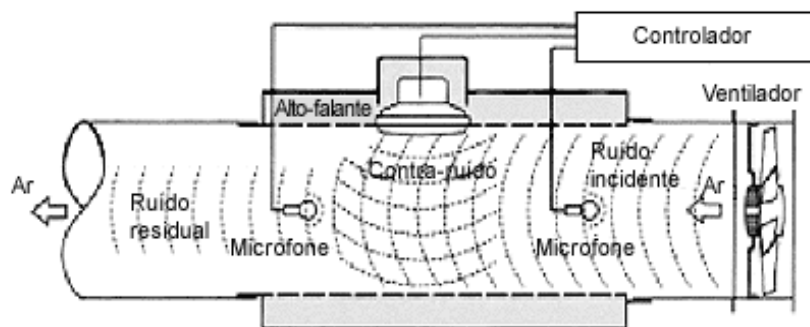


Fig. 9. Silenciador activo

São muito efectivos a baixa frequência pelo que, junto com os passivos, dão um resultado excelente.

#### 4. Atenuação à saída

Devido a que quando uma onda sonora sofre uma expansão brusca, produz-se uma onda reflectida, parte da energia acústica volta para a fonte, produzindo uma atenuação da que se propaga para o quarto.

O valor desta atenuação pode ser lido no gráfico da Fig. 10. Vemos que depende da frequência e da área de saída da tubagem.

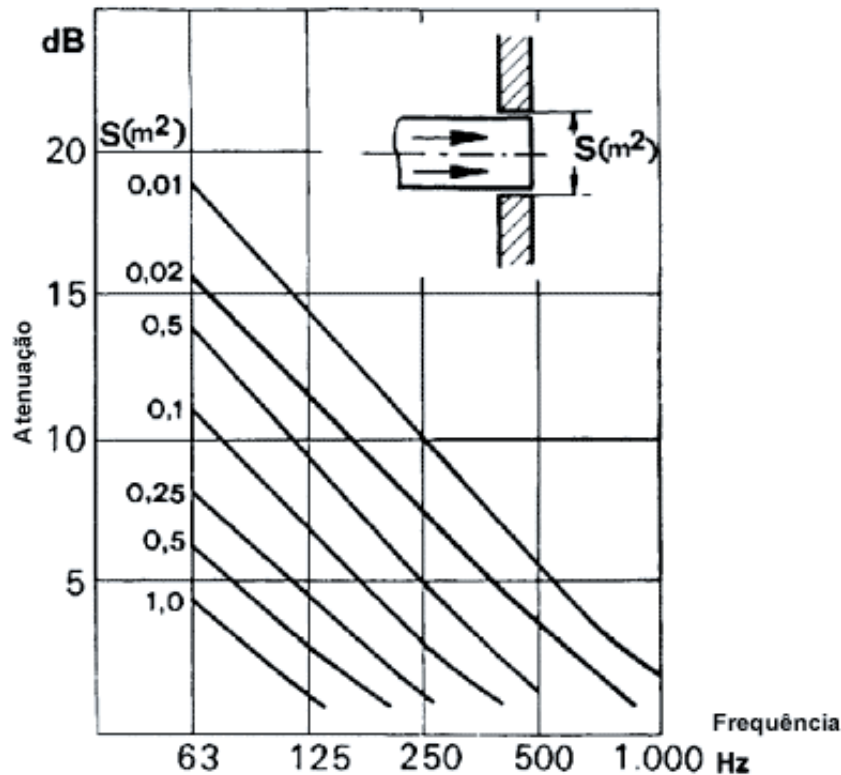


Fig. 10. Atenuação à saída



#### 5. Barreiras acústicas

Nas linhas anteriores vimos diversos sistemas para atenuar o ruído transmitido por uma condução do ar.

Agora explicaremos como atenuar o ruído proveniente de uma fonte sonora que se propaga livremente em várias direcções. Isto seria o caso do ruído emitido à descarga de um ventilador de telhado como o da Fig. 11.

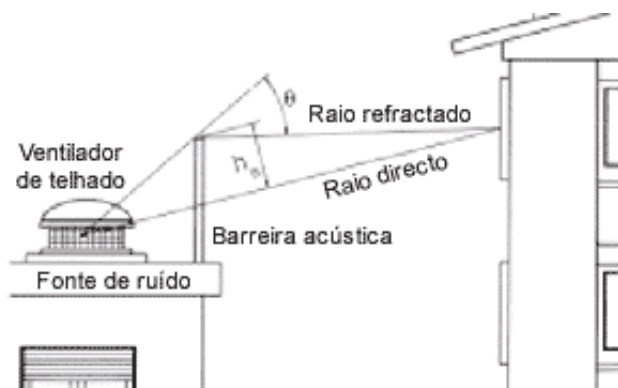


Fig. 11. Barreiras acústicas

O vizinho do edifício contíguo poderia estar afectado pelo ruído do ventilador. Uma forma de atenuar este ruído é mediante uma barreira acústica.

A missão principal da mesma é evitar que chegue ao receptor, não a onda directa, mas apenas a que se refracta no bordo da citada barreira.

A atenuação destas barreiras pode ser calculada mediante o gráfico da Fig. 12 em que  $l$  é a longitude da onda sonora que depende da frequência  $f$  (Hz) e que pode ser calculada mediante a seguinte expressão, quando o ruído se transmite pelo ar:

$$\lambda = 340 / f \text{ (m)}$$

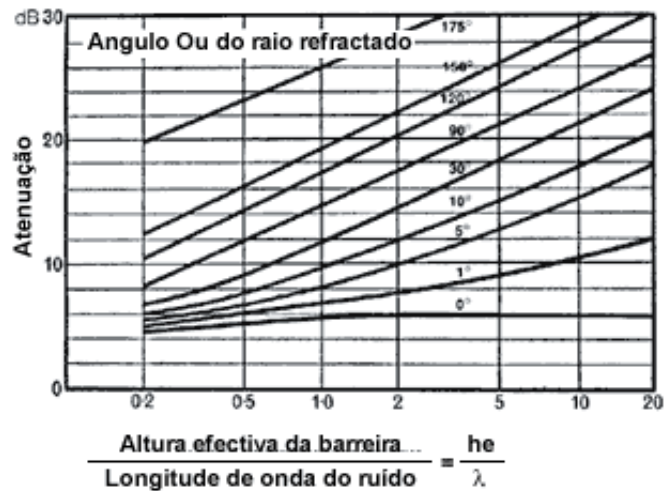


Fig. 12. Barreiras acústicas

Podemos observar que a atenuação cresce com o ângulo  $\theta$ , a altura  $A_e$  (altura efectiva da barreira) e com a frequência.

