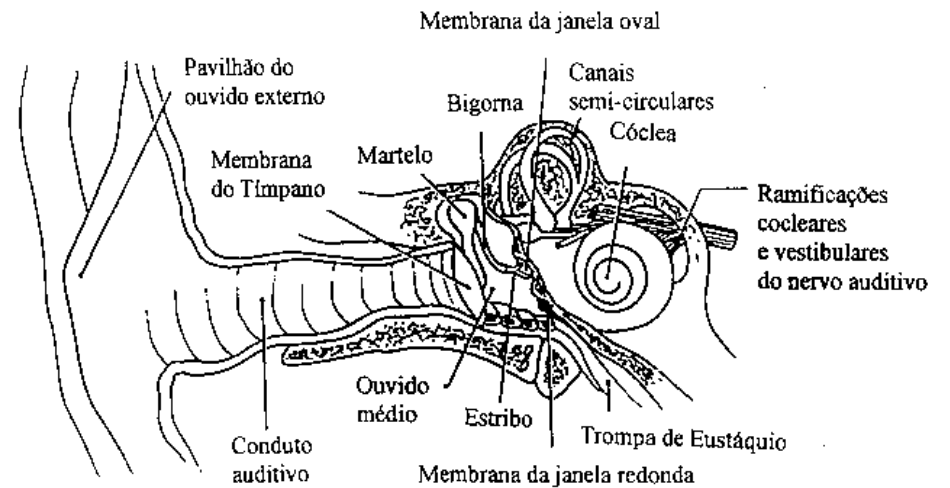
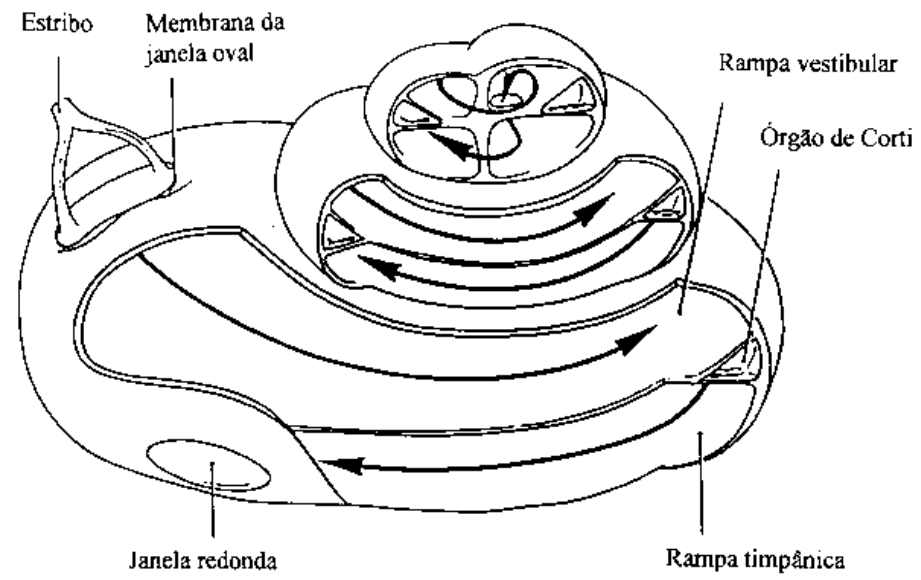
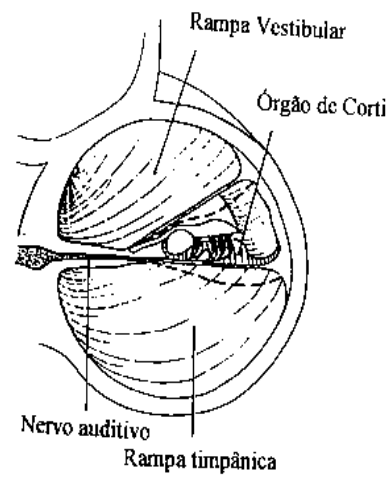
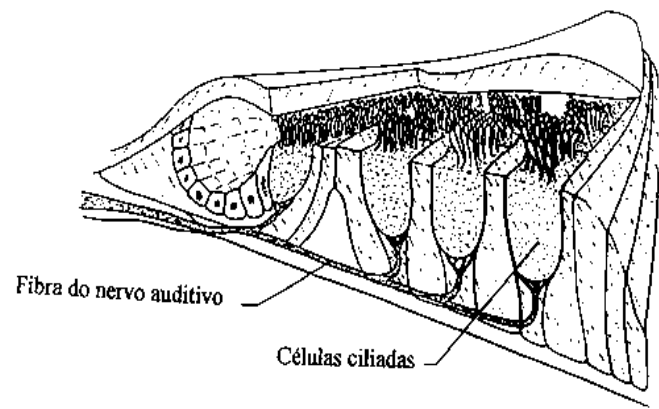


Universidade Católica de Louvain  
Escola de Saúde Pública  
Unidade de Higiene e Fisiologia do Trabalho  
Bruxelas - Bélgica

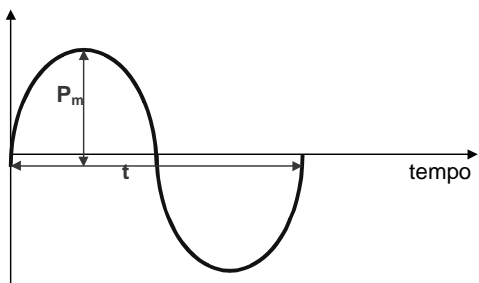
## CURSO DE ACÚSTICA

Prof. Jacques Malchaire





## Sons Puros



$$p(t) = P_m \text{ sen}(2\pi \cdot f \cdot t)$$

**1. Frequência**  $f$       ciclos / segundo      Hz

ouvido      20 ..... 20.000 Hz

Infra-sons

Ultra-sons

voz      200 ..... 4.000 Hz

**2. Velocidade de propagação**      **C**      m/s

ar 340 m/s      água 1450 m/s      aço 6 km/h

**3. comprimento de onda**       $\lambda$       m

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

100 Hz	340 cm
1.000 Hz	34 cm
10.000 Hz	3,4 cm

**4. amplitude** pressão de crista       $P_m$

pressão eficaz       $P = \frac{P_m}{\sqrt{2}} = 0.707 P_m$

Pascal 20  $\mu$ Pa (percepção) ..... 200 Pa (dor)

pressão atmosférica: 760 mm Hg, 1013 mbar, 100 kPa

## 5. intensidade

Watts / m<sup>2</sup>

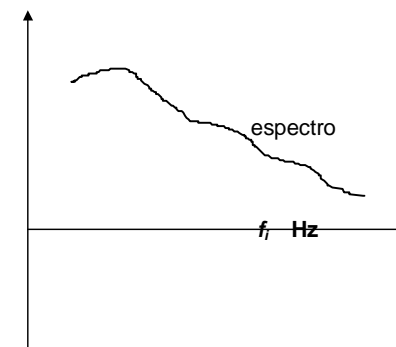
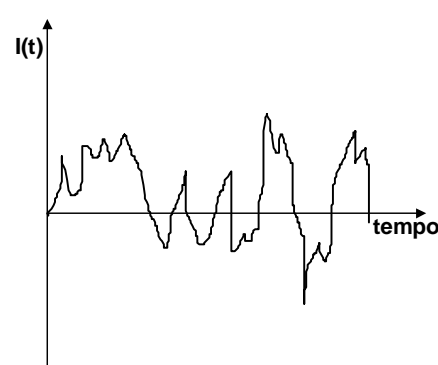
$$I = \frac{P^2}{\rho_c}$$

10<sup>-12</sup> W/m<sup>2</sup> .....

100 W/m<sup>2</sup> (dor)

## Sons Complexos

$$I_t = \sum I_i$$



## Decibéis

a 1000 Hz	limite de percepção	20 $\mu$ Pa	10 <sup>-12</sup> W/m <sup>2</sup>
	limite de dor	200 Pa	100 W/m <sup>2</sup>
	relação	10 <sup>7</sup>	10 <sup>14</sup>

sensação de intensidade:      logarítmica

$$N = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

$$W_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$N = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

limite de

$$N = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

$$P_0 = 20 \mu\text{Pa}$$

percepção

“Nível” sonoro ÷ referência

## Adição de níveis sonoros

$$N_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} \quad \frac{I_1}{I_0} = 10^{N_1/10}$$

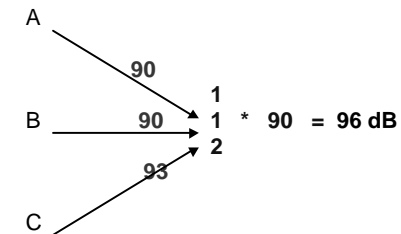
$$N_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} \quad \frac{I_2}{I_0} = 10^{N_2/10}$$

$$N_t = 10 \log \frac{I_1 + I_2}{I_0} = 10 \log \sum \left( 10^{N_i/10} \right)$$

se  $I_2 = n \cdot I_1$

$$N_t = 10 \log \frac{I_1}{I_0} (n+1) = N_1 + 10 \log (n+1)$$

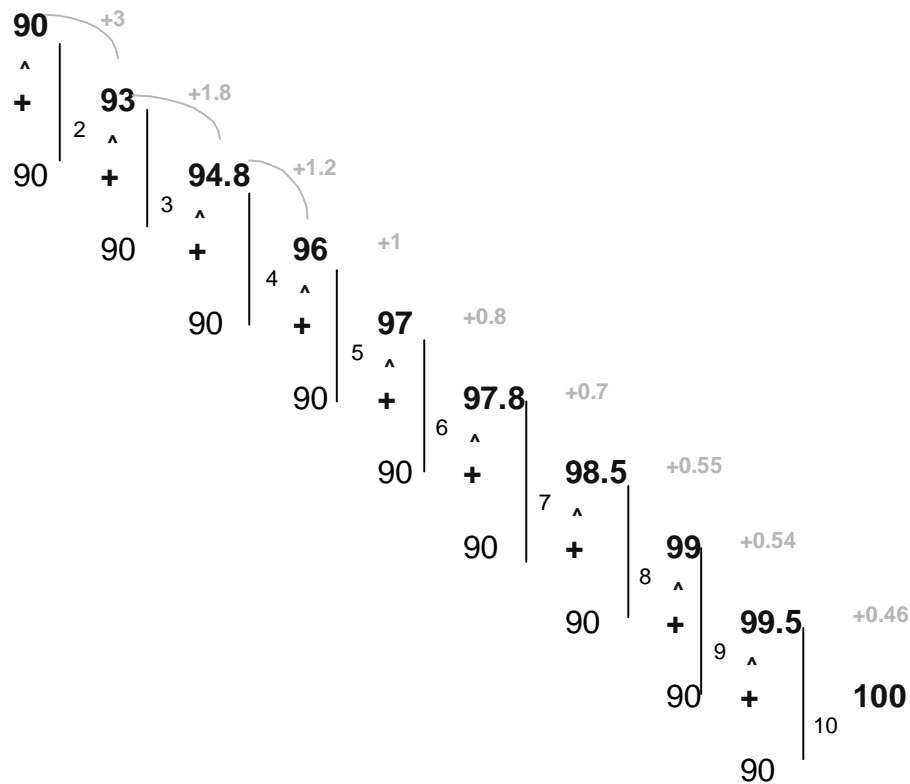
N	10 log N
1	0
2	3
3	4.8 ~ 5
4	6
5	7
6	7.7 ~ 8
7	8.5
8	9
9	9.5
10	10
20	13
50	17
100	20



redução 50 % : - 3  
90 % : - 10  
99 % : - 20

máquina + Ruído de Fundo (R F) = 96 (4 \* 90)  
R F = 90 (1 \* 90)

máquina 95 (3 \* 90)



$\Delta < 0.5 \text{ dB}$  se a diferença aritmética entre os 2 níveis  $> 10\text{dB}$

Nível fraco negligenciável (a 0.5 dB de diferença)  
se a diferença  $> 10 \text{ dB}$

É verdadeiro sob o ponto de vista:

- de medição caso ruídos independentes
- auditivo caso ~ mesmas frequências (efeito de máscara)

→ **sinais de alerta**

- |                   |          |
|-------------------|----------|
| ruído do ambiente | sinal    |
| - agudo           | - grave  |
|                   | modulado |
| - grave           | - agudo  |

**exemplo:**

máquina: 3 fontes	motor:	90	=	6 * 82
	engrenagem:	85	=	2 * 82
	ventilador:	82	=	1 * 82

nível de ruído total medido            95            9 \* 82

erroneamente atribuído ao motor sozinho

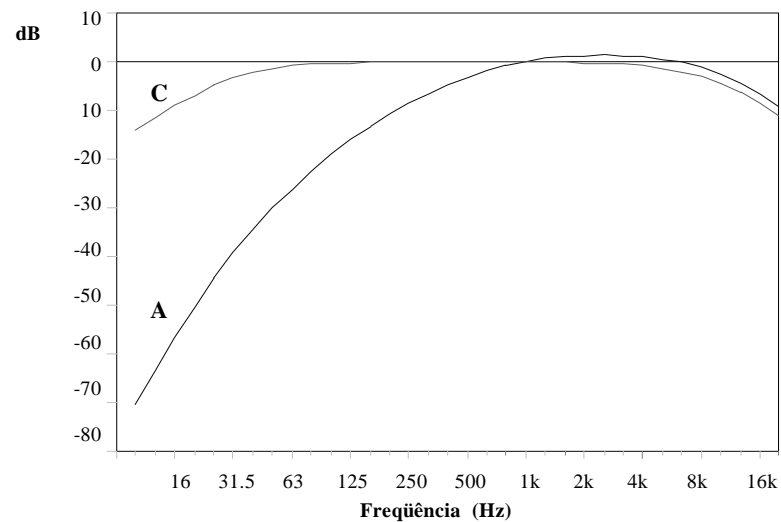
solução (dispendiosa)    20 dB    sobre o motor

permanecem            70 + 85 + 82 = 87 dB

ganho real            :    4.5 dB

→ Pesquisa  
de todas as fontes  
quantificação

**soluções coerentes**



dB: nível existente não importando a frequência com infra e ultra-sons

dB(A): nível sonoro tal como percebido (essencialmente a baixos níveis); serve para avaliar o incômodo, a surdez, ... ( dB(C) ..... medida do ruído audível )

se  $N_C \cong N_A$  : ruído de frequências próximas a 500 .. 2000 Hz

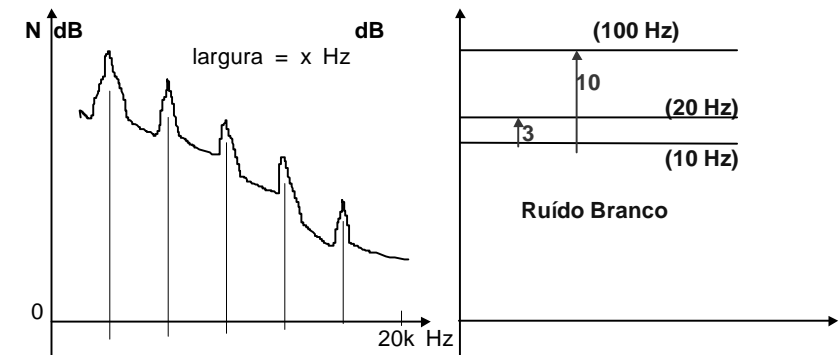
se  $N_C \ll N_A$  : ruído de baixas frequências

## Análises Espectrais

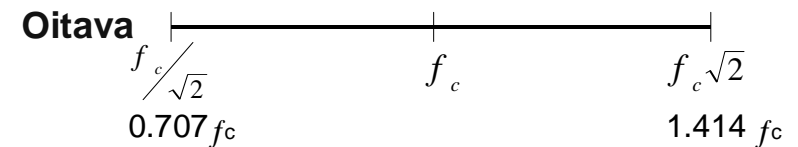
dB(A): nível global ponderado em frequências

Análise em frequências por  
 pesquisa causal  
 sinais de alarme  
 absorção  
 isolamento

### 1. Análise por bandas de largura constante



### 2. Análise por Oitavas: bandas de % constante 1/3 de Oitava

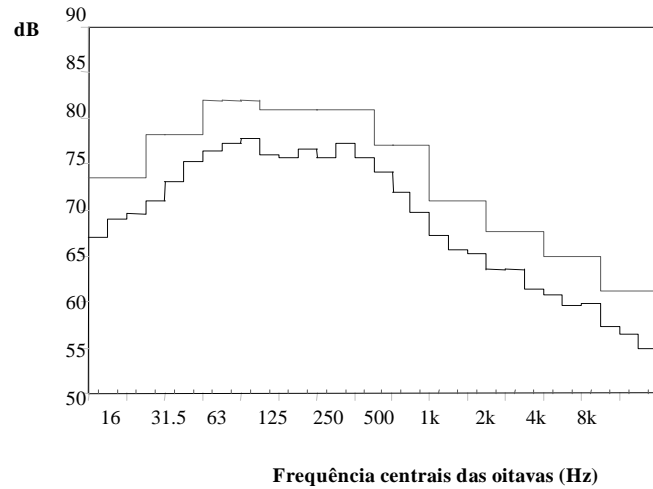


$$\text{largura } 1.414 f_c - 0.707 f_c = 0.707 f_c \quad \mathbf{70.7\% f_c}$$

Oitava  $f_c$  : 31.5 63 125 250 500 1k 2k 4k 8k

$N_{1000Hz}$  = nível total de intensidade nas frequências compreendidas entre 707 e 1414 Hz

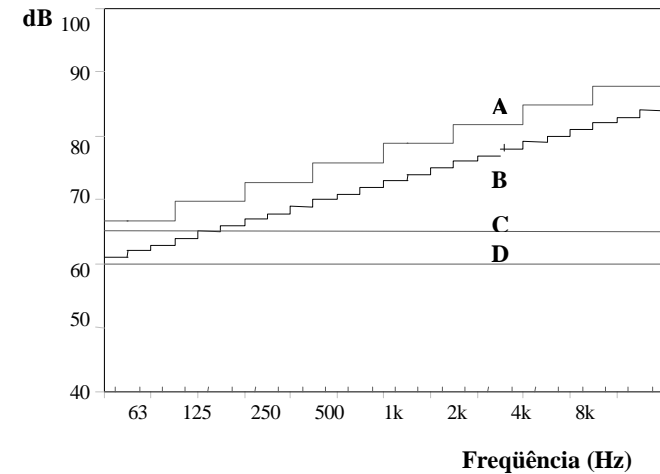
Espectros por bandas de oitavas (A) e de terças de oitavas (B) do ruído de um compressor



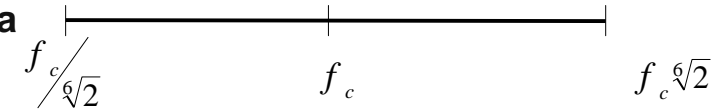
Escala discreta de n° de oitavas ou de 1/3 de oitava

**Sem interpolação**

Exemplos de espectros por bandas de oitava (A e C) e por bandas de terças de oitava (B e D) de um ruído branco (A e B) e de um ruído rosa (C e D).



**1/3 Oitava**



largura = 23.2%  $f_c$

$N_{1/3oit,1000Hz}$  = nível total de intensidade nas frequências compreendidas entre 891 e 1122 Hz

$$Oitava = \sum_1^3 Terças\ de\ Oitava$$

O espectro terças de oitava < espectro oitava

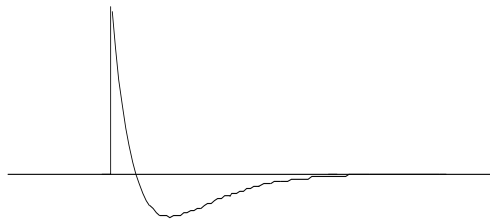
Validade:

1° a resposta em frequência do micro em altas frequências

2° atenuação fora da banda

3° inexistência de dB(A)

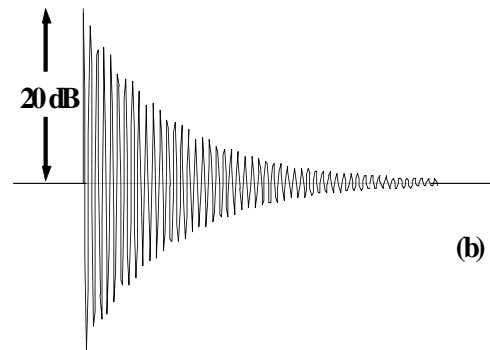
## Ruídos de Impacto



(a)

### Ruídos Impulsivos

tiro em campo aberto



(b)

### Ruídos de Impacto

martelada +...  
ressonância

tempo de elevação



nível sonoro de crista

duração

freqüência de repetição

## Nível cotidiano de exposição sonora semanal de exposição sonora

ruído intermitente      perfil dB(A)      em  $f$  (tempo)  
flutuante                      distribuição acumulada

$N_x \%$  : nível ultrapassado durante  $x \%$  do tempo

$N_{90}$  ruído de fundo

$N_{10}$  indicador dos níveis máximos

$N_{A,eq}$  : nível equivalente

nível contínuo que sob a mesma duração  
→ mesma contribuição de energia acústica

$N_{EX,8}$  : nível cotidiano de exposição sonora

nível contínuo que **durante 8 horas**  
→ mesma contribuição de energia acústica que  
durante a jornada de trabalho

$N_{EX,40}$  : nível semanal de exposição sonora

nível contínuo que **durante 40 horas**  
→ mesma contribuição de energia acústica que  
durante a semana de trabalho

**exemplo:**

Um trabalhador permanece

lugar	1	$N_{A,eq1} = 93 \text{ dB(A)}$	durante	4 h
	2	$N_{A,eq2} = 96 \text{ dB(A)}$	durante	2 h
	3	$N_{A,eq3} = 70 \text{ dB(A)}$	durante	<u>1 h</u>
			Total	7 h

Nível equivalente sobre as 7 horas:

$$= 10 \log \frac{1}{7} \left[ 4 \cdot 10^{9.3} + 2 \cdot 10^{9.6} + 1 \cdot 10^7 \right]$$

$$= 93.6 \text{ dB(A)} \cong 93.5 \text{ dB(A)}$$

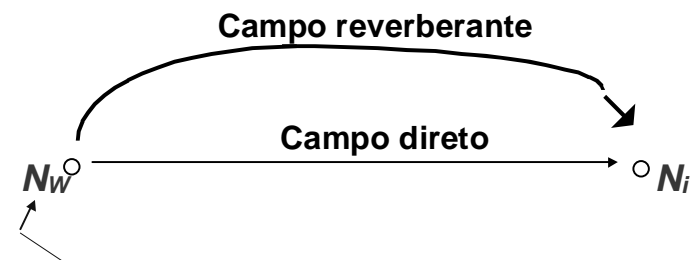
$$N_{EX,8} = 10 \log \frac{1}{8} \left[ 4 \cdot 10^{9.3} + 2 \cdot 10^{9.6} + 1 \cdot 10^7 \right]$$

$$N_{EX,8} = 93.6 \text{ dB(A)}$$

**Propagação do ruído** $\bar{a}$  = coeficiente de absorçãoSe  $\bar{a}$  2 x maior

R 2 x maior -3 dB

constante do local  $R = \frac{\bar{a}}{1 - \bar{a}}$



nível de potência

propagação esférica  $I = \frac{W Q}{4 \pi r^2}$

$$N_I = N_w + 10 \log \left[ \frac{Q}{4 \pi r^2} + \frac{4}{R} \right]$$

**direcionalidade**

1. se r dobra de valor - 6 dB
2. se solo refletor  $Q = 2$  + 3 dB  
se ângulo refletor  $Q = 4$  + 6 dB

## Campo livre

Meio homogêneo - infinito - não absorvente

### Propagação esférica

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4 \pi r^2} \quad N_I = N_w - 10 \log S$$

se a medida  $I_r$  a  $S_r$

$$I = \frac{W}{S} \quad I_r = \frac{W}{S_r}$$

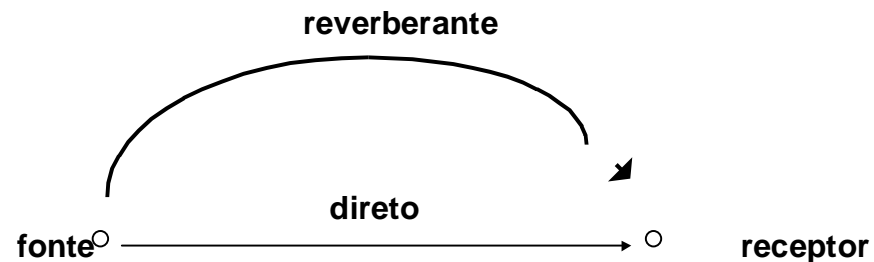
$$W = I S = I_r S_r \quad I = I_r \frac{S_r}{S}$$

$$N_w = N_I - 10 \log S = N_r - 10 \log S_r$$

$$N_I = N_r - 10 \log \frac{S}{S_r}$$

atenuação 6 dB / 2 \* distância

## Campo difuso direto + reverberante

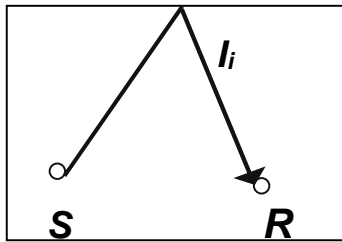


$$I = I_{dir} + I_{rev}$$

$$I_{rev} = f ( W, S_{parede}, \bar{a} = f(\text{Hz}) )$$

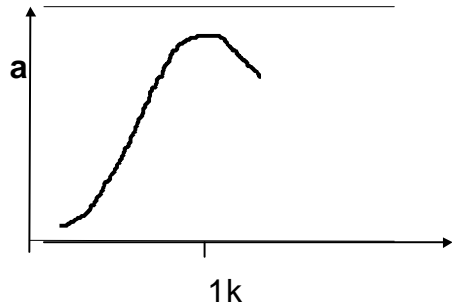
# Materiais acústicos

## 1. Absorventes



coeficiente de absorção

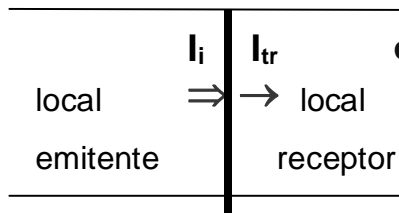
$$a = \frac{I_i - I_r}{I_i}$$



materiais porosos

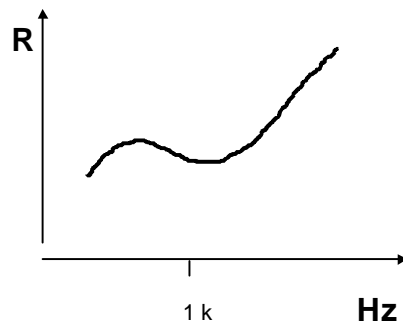
lãs de vidro, rocha  
espumas  
lajes porosas  
estiropor, .....

## 2. Isolantes



coeficiente de transmissão

$$C_t = \frac{I_{tr}}{I_i}$$

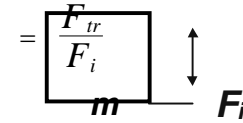


atenuação acústica

$$R = 10 \log \frac{1}{C_t}$$

materiais pesados :  
concreto

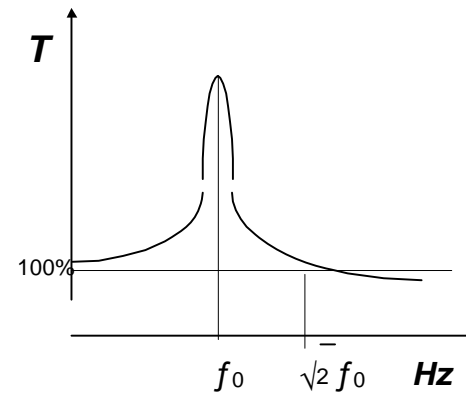
## 3. Amortecedores



**T** = Transmissibilidade

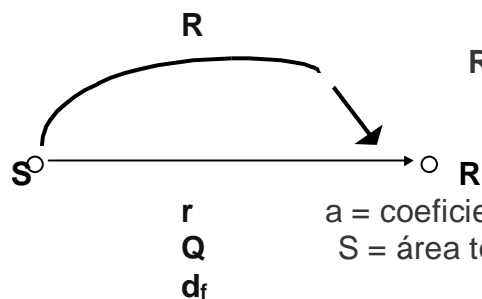
materiais emborrachados

molas  
cortiças  
feltros



## Campo sonoro global

fonte no interior



$$R = \frac{S a}{1 - a} = \text{cte do local}$$

$a$  = coeficiente de absorção médio  
 $S$  = área total das paredes

$$I_r = W \frac{4}{R} \quad I_d = W \frac{Q}{4 \pi r^2}$$

$$I = I_r + I_d = W \left( \frac{Q}{4 \pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

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

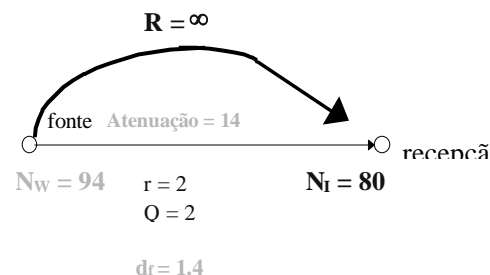
$r$  pequeno  $I_d \gg I_r$  campo livre  $-6 \text{ dB} / 2 * r$

$r$  grande  $I_d \ll I_r$  campo difuso  $N_I$  constante

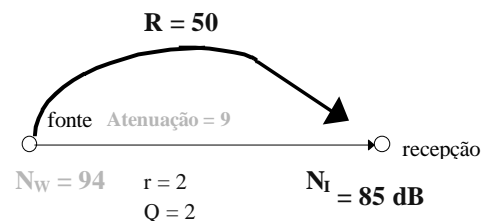
$f(R)$

## exercício:

máquina: 80 dB a 2m sobre uma laje reverberante em campo livre



Quanto no local  $R = 50 \text{ m}^2$   
a 2 m, solo de concreto ?



Atenuação	campo direto	14	$N_{dir} = 80$	
	campo reverb.	11	$N_{rev} = 83$	85

se	$N_{dir} - 10:$	$70 + 83 = 83$	ganho	-2
	$N_{rev} - 10:$	$80 + 73 = 81$	ganho	-4
	$N_{dir} \text{ e } N_{rev} - 5:$	$75 + 78 = 80$	ganho	-5

→ isolar campo direto  
campo difuso

soluções coerentes

## Cálculo da constante R

local                  H = 4.5 m      L = 15 m      l = 10 m

paredes, teto: gesso       $a_{500\text{Hz}} = 0.04$   
 solo : concreto       $a_{500\text{Hz}} = 0.03$   
 obstáculo médio

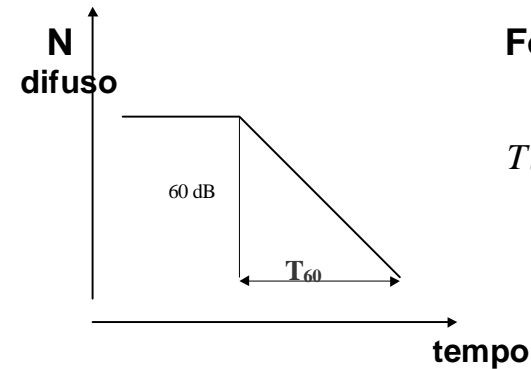
Origem	$S_i$	$a_i$	$A_i = S_i a_i$
teto	150	0.04	6
paredes	225	0.04	9
solo livre	150	0.03	5
ou ocupado		0.2 ...	30 ...
<b>Total</b>	<b>525</b>		<b>A = 20 ... 45</b>

$$\bar{a} = \frac{20-45}{525} = 0.04 \dots 0.09$$

$$R = \frac{S \bar{a}}{1 - \bar{a}} = \frac{20 \dots 45}{0.96 \dots 0.91} = 21 \dots 49$$

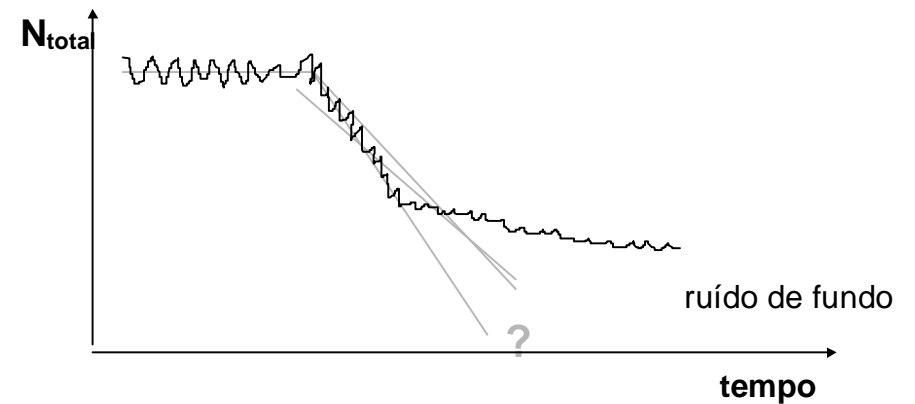
- muito impreciso
- orientação

## Tempo de reverberação



### Fórmula de Sabine

$$T_{60} = \frac{0.16 \text{ volume}}{S \bar{a}}$$

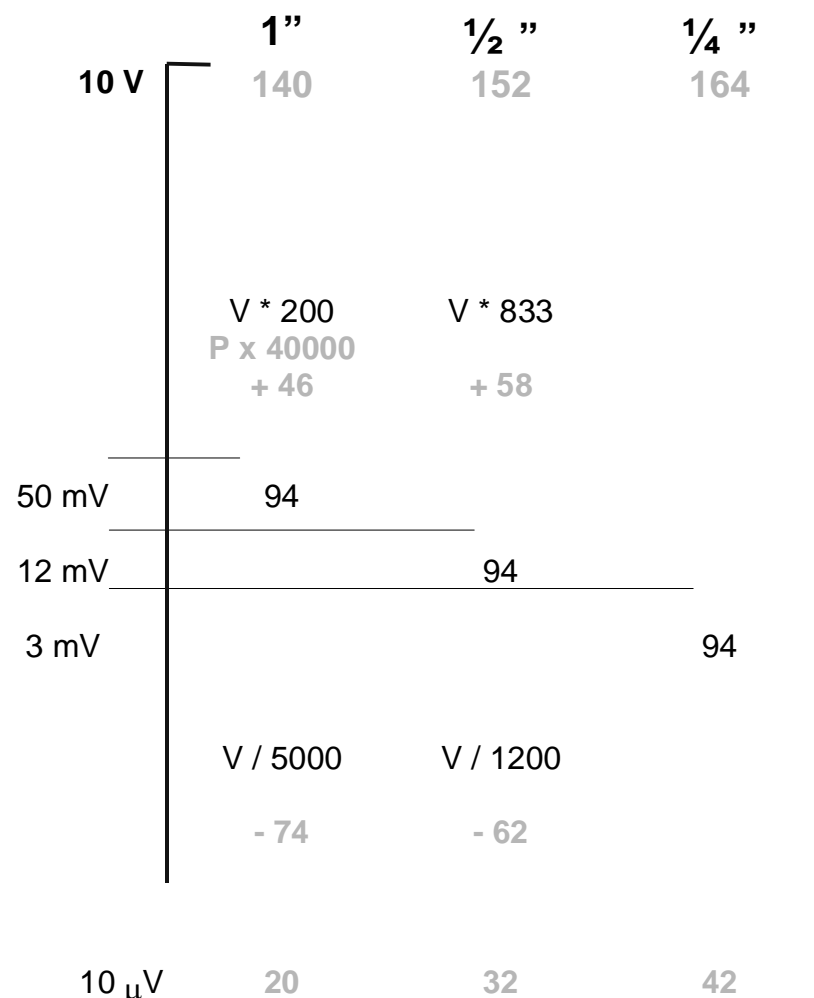


- problemas
1. campo direto
  2. velocidade de escrita
  3. ruído de fundo
  4. frequência
  5. ecos

- locais simples ( volume, formas, ...)



## Gama dinâmica



N fraco: grande sensibilidade 1"

N muito elevado: fraca sensibilidade 1/4"

Gama: 50 - 120 dB pouco importa

Exemplo de curvas de correção em campo livre a adicionar às características de pressão dos microfones utilizados com malha de proteção.

Comparação das curvas de resposta em frequência de microfones unidirecionais de uma polegada (A), de meia polegada (B), de um quarto de polegada C e de um oitavo de polegada (D).

## Decibelímetro

tipo 0  
1 impacto, vibrações, análise espectral,  $N_{eq}$  ...

2 dB(A)

(3)

1. amortecimento : slow Fast peak  
exponencial 2 s 0.2 s 0.0001 s

2. filtro lin 20 - 20 kHz  
A Ruído tal como é ouvido  
C Ruído audível

3. padronização : 94 dB(A) 1000 Hz

4. efeito do vento (poeiras)

## Escolha da aparelhagem

microfone sensibilidade **média** 10 mV / Pa 1/2"

banda passante **a mais larga**  
**sob incidência aleatória**  
"campo difuso"

Decibelímetro tipo **II ou I**  
gama dinâmica  $f$  (micro) **30 ... 140**

mostrador digital + analógico

analógico linear 40 dB  
zonas redundantes

ponderação **dB(A)** dB(C) dB

amortecimento **slow** fast **peak**

integração  **$N_{eq}$**  tempo qualquer

saída **AC** → gravação magnética  
**DC** → gravação gráfica

Fonte padrão 94 dB a 1000 Hz

Dosímetro

Exposímetro

**Inexistência de analisador de frequências**

## RELATÓRIO ACÚSTICO

Estudo: EMBALAGENS

Arquivo: xxxx.yy 23-10-1991

### REGULAGEM DOS PARÂMETROS ACÚSTICOS

Filtro de ponderação A Resposta SLOW

Nível de Dose a 100% = 90 dB com duplicação da dose de 3 dB

Gama dinâmica de 25.2 a 125.2 dB(A)

### DADOS RELATIVOS AO LEVANTAMENTO

Início: 25 abril 91 às 7h 41 min 22 s

Término: 25 abril 91 às 20:53:00

### RESULTADOS GLOBAIS

Ponderação ISO (q = 3)  $Leq = 87.9$  dB(A)

Ponderação OSHA (q = 5)  $Leq = 86.4$  dB(A)

~~$L_{max} = 111.0$  dB(A) —  $L_{pic} = 128.4$  dB(A)~~

Nível superior a 115 dB(A) durante 0 min 0 s

### HISTOGRAMA

L90% = 80 dB(A)

L50% = 86 dB(A)

L10% = 90 dB(A)

L 1% = 94 dB(A)

Evolução do nível sonoro ao longo do tempo para dois operadores (a e b) do laboratório "CONTROLE DE QUALIDADE"

## Diferença ISO - OSHA

1. 95.5 dB(A) em continuidade

ISO ~ 96 dB(A)    Dose = 400     $N_{eq} = 95.5$  dB(A)  
 OSHA ~ 95                    200                    95.5

2.

dB(A)	t	ISO		OSHA	
		$t_L$	D	$t_L$	D
90	4	8	50	8	50
95.5	2	2	100	4	50
99.5	2	1	200	2	100
	8	8 / 3.5	350	4	200

mesmo  $N_{eq}$

95  
dB(A)

95  
dB(A)

doses  
diferentes:

interpretações diferentes

3.

dB(A)	t	ISO		OSHA	
		$t_L$	D	$t_L$	D
100	2	8 / 10	250	2	100
60	6	$\infty$	0	$\infty$	0
	8	8 / 2.5	250	8	100

94  
dB(A)

90  
dB(A)

$N_{eq}$  diferentes

ambientes intermitentes

## Programa Sonométrico

$N_{eq}$  mesma energia ISO > < OSHA

ISO		OSHA
90 dB(A)	T min	90 dB(A)
93 dB(A)	T / 2 min	95 dB(A)
96 dB(A)	T / 4 min	100 dB(A)
(q = 3)		(q = 5)

$$Dose = 100 \frac{t}{t_L}$$

ISO		OSHA
90 dB(A)	8 h	90 dB(A)
93 dB(A)	4 h	95 dB(A)
96 dB(A)	2 h	100 dB(A)
99 dB(A)	1 h	105 dB(A)

$$N_{eq} = 90 - \frac{10}{16.66} \log \frac{Dose}{100}$$

## AUDIÇÃO

### Campo Auditivo Limites

Hz	125	250	500	1	2	3	4	6	8
Limites	45	25 <sup>5</sup>	11 <sup>5</sup>	7	9	10	9 <sup>5</sup>	15 <sup>5</sup>	13 <sup>5</sup>

Zona de conversação: 250 - 4000 Hz  
55 dB(A) descontráida ... 90 dB(A) aos gritos

### Presbiacusia

### Reflexo Estapediano

1. tempo de latência (2 ... 200 ms)
2. proteção ↑ baixas frequências
3. relaxação

### Handicap social e invalidez

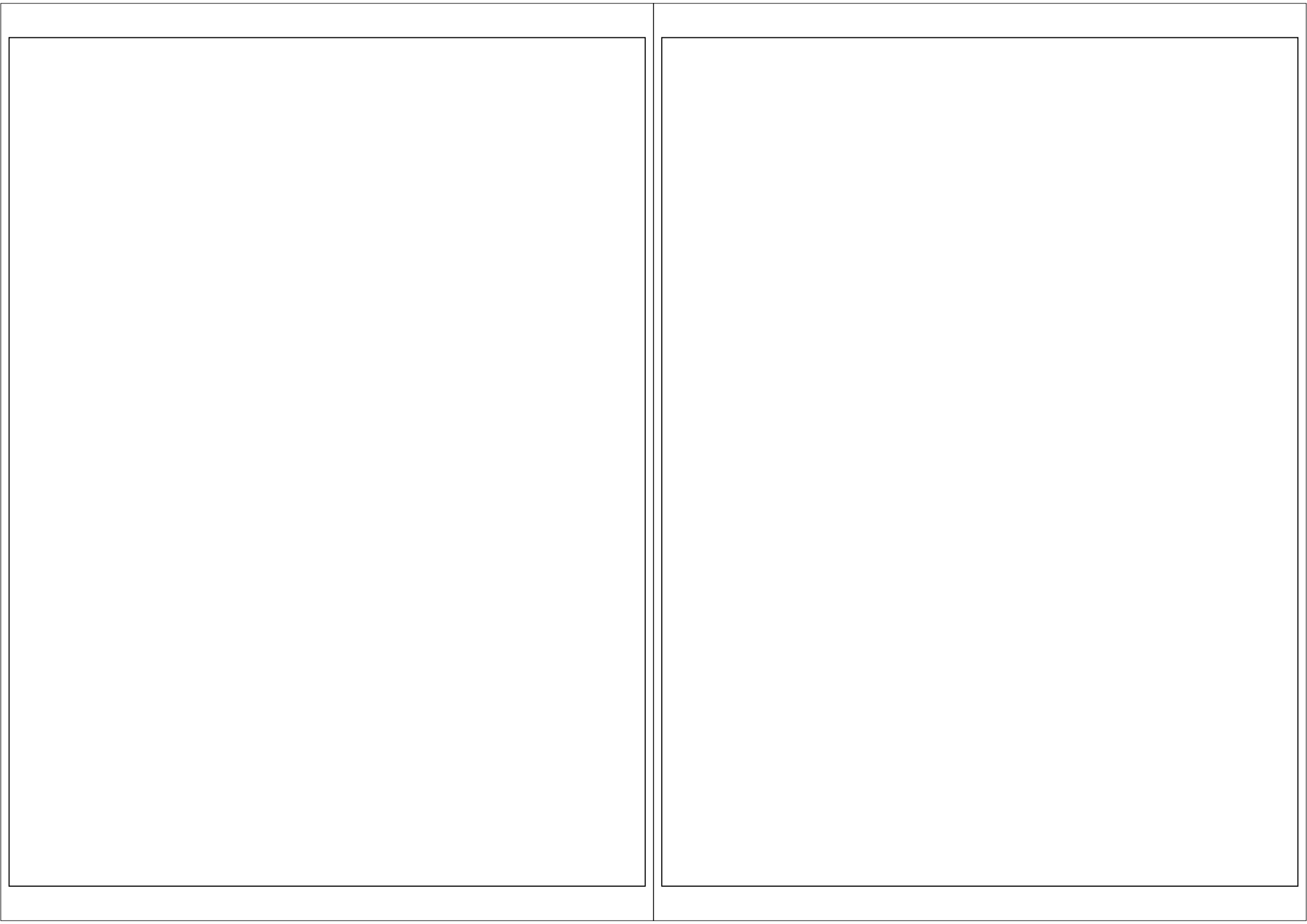
Bélgica déficit médio  $P_{123} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$

França  $P_{5124} = \frac{2P_{500} + 4P_1 + 3P_2 + P_4}{10} \cong 0.778 P_{123}$

% handicap  $P_{123} = 35$   $P_{5124} = 27$  dB

limite de invalidez 50 35  $\cong$   $P_{123} = 45$  dB

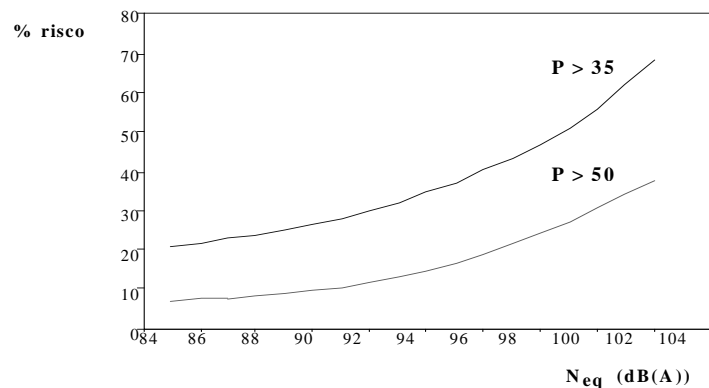
### Surdez profissional



Distribuições das perdas 123  
 aos 60 anos  
 após 40 anos  
 a 90, 94, 98 dB(A)

<b>Sens.</b>	<b>Presb.</b>	<b>90 dB(A)</b>	<b>94 dB(A)</b>	<b>98 dB(A)</b>
95 90	51 43	62 53	72 62	86 75
80 70	33 27	41 35	50 42	61 52
60 50	21 15	28 21	34 27	43 35
40 30	13 10	18 14	23 19	30 25
20 10	7 2	11 4	14 7	19 10
5	-1	0	2	3

A figura abaixo fornece a porcentagem da população que, em tais condições de idade e de exposição ao ruído, corre o risco de atingir o limite de handicap social (35 dB) e o limite de invalidez (50 dB).



Risco de surdez profissional em função do nível equivalente (porcentagem da população na faixa de idade de 60 anos com 40 anos de exposição ao ruído, apresentando mais de 35 dB ou 50 dB de déficit auditivo médio a 1, 2 e 3 kHz).

Exemplo de aplicação:

Seja  $N_{A,eq} = 98 \text{ dB(A)}$   
 legalmente diminuir  $< 85 \text{ dB(A)}$  13 dB(A)  
 qual é o interesse de uma diminuição parcial a 94 dB(A)?

DB(A)	risco %	diminuição absoluta	diminuição relativa
98	24		
94 - 4 dB(A)	14	-10	- 40%
85 - 13 dB(A)	7	-17	-70%

diminuição de - 4 dB(A) barata  
 imediata  
 eficaz no tocante à prevenção

## Sensibilidade ao ruído

% da população de mesma idade  
 duração de exposição  
 $N_{EX,d}$

apresentando perdas inferiores

Norma ISO 1999

modelo distribuição perdas idade  
 duração  
 $N_{EX,d}$

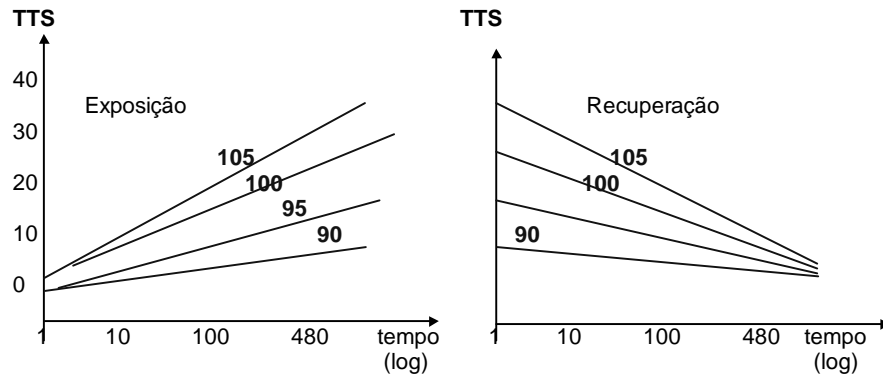
Após 40 anos  
 idade 60 anos

dB (A)	%	limite de invalidez
98	24	
94	14	
90	9	
85	7	

→ Ganho diminuição do limite até 85 dB(A)  
 ação parcial luta contra o ruído

## Fadiga auditiva

### Temporary Threshold Shift (TTS)



TTS fim de jornada  $\cong$  perda permanente após 10 anos.

dB (A)	85	90	95	100	105
TTS 50%	1	4	8	12	18
TTS 90%	3	8	14	21	30

→ exames audiométricos

$N_{EX,d}$	$\leq 90$ dB(A)	30'	de repouso
	$\leq 100$ dB(A)	16 h	de repouso
	$\geq 100$ dB(A)	2 dias	de repouso

## Diretiva Européia

12 de maio de 1986

### Proteção dos trabalhadores contra os riscos devidos à exposição ao ruído durante o trabalho

#### Especificações

- 1. medições:** adequadas por métodos apropriados
- 2. controle:** redução do ruído em nível mais baixo razoavelmente praticado
- 3. se  $\geq 85$  dB(A) , 140 dB pic**
  - informação dos trabalhadores
  - formação
  - sinalização das zonas de risco
  - meios de proteção disponíveis
  - direito ao cuidado auditivo
- 4. se  $\geq 90$  dB(A) , 140 dB pic**
  - justificativa
  - programa de ação
  - delimitação, redução de acesso
  - obrigação de proteções individuais

## (In) FORMAÇÃO dos trabalhadores

1. fisiologia do ouvido:      audição
2. evolução da surdez profissional  
  
em média  
variabilidade inter-individual      **CONSIDERÁVEL**
3. explicação  
participação      por medições  
controle      ações de redução  
exploração
4. justificativa      Programa de Conservação  
participação      da Audição (PCA)  
exposição de resultados
5. justificativa      Protetores individuais  
motivação  
escolha

## Cuidados com a função auditiva

Diretiva Européia: objetivos

- diagnóstico de toda a diminuição de audição devido ao ruído
- conservação da função auditiva

→ **Programa de Conservação da audição PCA**

Ao invés de:

**Programa de rastreamento da surdez PRS**

- medição do  $N_{EP}$
- medição das perdas
- + interpretação do risco individual**

**+ Programa de luta contra o ruído**

## P C A

## P R S

### Objetivo

Seguir a evolução de cada trabalhador

Identificar aqueles que possuem um risco de chegar a:

handicap  
invalidez

Determinar aqueles que apresentam perdas  $\geq$  limite indenizável (compensação)

### Quem ?

Indivíduos:

não atingidos  
susceptíveis

de serem

**jovens expostos por pouco tempo**

Indivíduos atingidos

**mais idosos expostos desde muito tempo**

### Medições

$N_{EX,8}$

individual  
(dosímetros)  
decibelímetros integrados  
fontes padrão

decibelímetros simples:

- atingidos
- não atingidos

porque a surdez atual

procedimentos de medição rigorosos

$f$  ( $N_{EX}$  anterior)

**Sem análises espectrais**

## Estratégia de medição

### 3 objetivos

1. identificar fontes de ruído onde  $N_{EX,d} >$  limites zonas de trabalho

para hierarquizar problemas  
luta

medições grosseiras  
medições específicas

2. Em conformidade com a legislação

..... A .... 85 ..... B ..... 90 ..... C

3. Avaliar  $N_{EX,d}$  precisão x dB

→ riscos individuais

estudos epidemiológicos

# Análise QUALITATIVA

Estudos de tarefas

→ **grupos homogêneos de exposição**      **GHE**

**em um intervalo estacionário**      **IS**

IS = múltiplo do tempo do ciclo  
com todos os disfuncionamentos  
variantes

## Ambiente

identificação das fontes - operações  
zonas de permanência

ordem de grandeza do ruído

tipo de ruído      contínuo, flutuante, intermitente  
impacto - ou não

durante fases representativas

## Tarefa

seqüência das operações - deslocamentos

1 trabalhador por GHE

duração da permanência nas zonas

## Interpretação

a. mesmas tarefas a curto prazo processo fixo

GHE ok ..., IS = tempo do ciclo

b. mesmas tarefas processo variável

GHE ok ..., IS = n tempos de ciclo

c. tarefas diferentes

rever GHE

## Avaliação qualitativa do risco

**Finalidade:** lista de prioridades dos GHE

meios: 1. níveis SLOW condições mais representativas

2. durações e as exposições correspondentes

3. número de trabalhadores

4. probabilidade EPI

Zona	N <sub>Aeq</sub>	duração	Dose i	% relativa
1	92	300	99	51
2	95	80	53	27
3	97	40	42	29
4	60	60	0	0
N <sub>EX,d</sub>	<b>92.9</b>	480	194	100 %

## Monitoramento

1. Escolher N<sub>s</sub> indivíduos ∃ GHE ex: 7/10

2. duração da medição Δt ex: 30'

3. números de amostras n<sub>a</sub> ~ 5 3

4. período de medição > IS 2 semanas

5. momentos de medição aleatórios

6. técnica de medição zonal  
ambulante \*

## Interpretação

1. homogeneidade do GHE

2. estado estacionário nas medições

3. distribuição das medições

4. cálculo N<sub>EX,d</sub> + imprecisão

5. interpretação

## 1. $N_s$

Finalidade:  $N_s$  para certeza a 95% de chance que 1 trabalhador entre os 20% mais elevados pertence a esta amostra

tamanho GHE	< 6	7 - 8	9 - 11	12 - 14	15 - 18	...
$N_s$	$N_s$	6	7	8	9	

ex: GHE  $\in$  10 trabalhadores

$N_s = 7$  : certeza a 95%  
1 trabalhadores entre os 2 mais expostos  
 $\ni$  a esta amostra

## 2. Duração da medição $\Delta t$

n durações de ciclo 15 ... 60 minutos

## 3. Período de medição

múltiplo de I.S.

ex: 30' / 2 semanas

## 4. Número de amostras

3 amostras / pessoa: certeza a 90%  
1 período  $\Delta T$  entre os 33% mais ruidosos  
estará na amostra

$\rightarrow$  3 \* 7 amostras de 30' sobre 2 semanas

## 5. Amostragem aleatória

1. número total de amostras	$N_{tot}$	21
2. $N_{tot}$ números aleatórios		0.16935
3. duração total do período de amostragem	2 semanas	80h
4. cálculo "2" * "3"		13.54
5. situar no tempo	segunda-feira	19 <sup>h</sup> 32
	1° trabalhador	

evitar os períodos de repouso e sem ruído

## 6. Método de medição

método	zonal
	ambulante

## Programa Audiométrico

**Programa de Conservação da Audição (PCA)**

**Programa de Rastreamento da Surdez (PRS)**

**Evolução das perdas leves**

**Ultrapassagem de um limite elevado**

- a estudar
- aparelhagem (audiômetro)
  - padronização do audiômetro
  - condições acústicas ambientais (cabine)
  - exame audiométrico propriamente dito
    - preparação
    - instalação do sujeito
    - procedimento do teste
    - fontes de erro
  - momento da jornada
  - repetição a cada 1, 2, ... 5 anos

## Audiômetros

### 1. Tonal

opção: por via óssea, audiometria vocal, mascaramento ...  
desvantagens: caros  
reservar para exames Otorrino-laringológicos precisos

### 2. Tipo

manual: operador, exame adaptado, 4 - 8 minutos  
automático: operador, não adaptado (desaconselhado)  
comandado por computador:  
caro, automático, armazenagem direta

### 3. Gama de frequências

PRS: mínimo 500, 1 k, 2 k, 3 k, 4 kHz  
PCA: 250, 500, 1 k, 2 k, 3 k, 4 k, 6 k, 8 kHz  
precisão 3 %

### 4. Gama dinâmica

regulagem a 0 : limite auditivo normal  
regulagem até - 10 dB : audição melhor que a normal  
reg. de 90 até 100 dB : medição das perdas auditivas  
precisão 3 dB

### 5. Fones

parte integrante, não intercambiáveis, não permutáveis,

### 6. Formação do operador

## Padronização do audiômetro (ISO 6189)

**1. Controle de escuta** todos os dias  
pelo operador com audição normal e estável

identificação: distorção, ruídos parasitas qdo comutações  
por todas as frequências  
a três níveis

**2. Controle subjetivo da padronização** todas as semanas (dias)  
exame audiométrico sujeito estável com < 25 dB de perdas  
revisar se diferença > 10 dB com relação aos testes  
anteriores

**3. Teste eletroacústico** a cada 3 meses  
por especialistas  
medição das frequências e amplitudes exatas a 70 dB  
revisar se diferenças > 3% ou 3 a 5 dB com relação  
a referência  
teste no acoplador adaptado aos alto falantes.

**4. Padronização completa** a cada 2 anos  
por especialistas  
além de: distorção harmônica  
linearidade  
precisão potenciômetros de regulagem

**5. Cuidados com os alto falantes de ouvido**  
atenção ao guardar  
cabos, conectores  
almofadas das conchas (fones) desinfecção (UV)

## Condições acústicas dos testes

Níveis máximos de ruído ambiente para a execução  
de testes audiométricos.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
125	45	48	3	12	60	50
250	25.5	32	5	18	50	40
500	11.5	11	7	27	38	28
1000	7	8	15	34	42	32
2000	9	6	26	36	42	32
(3000)	10	(7)	(31)	41	48	38
4000	9.5	8	32	39	47	37
(6000)	15.5	(10)	26	37	47	37
8000	13	15	24	31	46	36

- (1) Frequências centrais de bandas de 1/3 de oitava
- (2) Limites de audição segundo ISO 6189
- (3) Níveis máximos do ruído nas bandas de 1/3 de oitava, permitindo a medição de 0 dB de perda, com os ouvidos não cobertos, segundo ISO 6189
- (4) Atenuação média unicamente do alto falante em dB, segundo ISO 6189
- (5) Atenuação média do fone de ouvido completo (alto falante concha) em dB
- (6) (3) + (5)
- (7) Nível máximo no local de teste

### exemplo:

Sujeitos	A	B	C
perda auditiva real a 1000 Hz	0	15	30
escuta normalmente som puro a 1000 Hz	7	22	37
se o ruído de fundo em 1/3 oitava centrado a 1000 Hz < 42 dB			
se o ruído de fundo = 60 dB, seja 18 dB mais elevado	25	25	25
sons puros mascarados até 7 + 18 =			
primeiro som puro audível	27	27	37
perda aparente	20	20	30

**Conclusões:** ruído de fundo muito elevado conduz ao erro na avaliação das perdas **leves**

Ora, 60 dB de ruído de fundo na banda de 1/3 de oitava a 1000 Hz corresponde a um ruído de fundo de 70 dB(A)

altamente improvável

## Escolha de uma cabine

Exemplo de cálculo para a seleção de uma cabine audiométrica

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
125	69	48	21	3	18	28
250	66	32	34	5	29	39
500	62	11	51	7	44	54
1000	62	8	54	15	39	49
2000	58	6	52	26	26	36
3000	(52)*	7	45	31	14	24
4000	45	8	37	32	5	15
6000	(43)*	10	33	26	7	17
8000	40	15	25	24	1	11

\* valores interpolados

- (1) Freqüências centrais de bandas de 1/3 de oitava
- (2) Espectro do ruído ambiente por bandas de 1/3 de oitava
- (3) Níveis máximos admissíveis
- (4) Atenuação necessária global
- (5) Atenuação de alto falantes de ouvido simples
- (6) Atenuação teórica da cabine
- (7) Critérios de seleção da cabine

## Exame audiométrico

### A. Preparação do teste

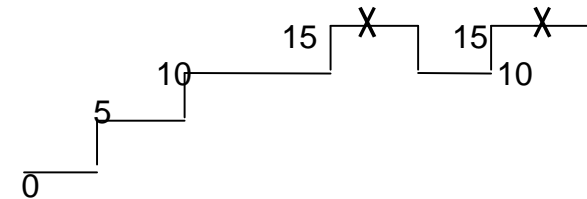
- Anamnese:
- antecedentes de surdez na família
  - doenças otorrino de infância
  - traumatismos cranianos
  - sensação zumbidos, surdez, confusão
  - medicamentos consumidos
  - atividades militares
  - hobby barulhento (armas, música, ...)
  - equip. de som portáteis, discoteca, concertos...
  - trabalhos anteriores com barulho nível, duração
  - trabalho atual nível, duração uso de EPI

Exame otológico: tampão de cerume (ouvido operculado)

### B. Instalação do sujeito - procedimento

- cadeira confortável, imóvel, silenciosa  
superfície neutra frontal  
sem visão do operador  
botão de pressão para resposta SIM - NÃO  
logo que ele **PERCEBER** o som (diferente de “escutar”)
- demonstração sem os fones de ouvido com palavras familiares
- colocação dos fones pelo operador  
(retirar: óculos, brincos, cabelos, ....)
- teste propriamente dito

#### 4.1 método ascendente



4.2 1, 2, 3, 4, 6, 8, -- 1, 500, 250

250, 500, 1, 2, 3, 4, 6, 8

4.3 troca de ritmo, durações, interrupções ...

4.4 duração ótima 4 - 8 minutos

muito longo fadiga, desleixo

### C. Fontes de erro

1. má padronização do audiômetro
2. ruído ambiente muito elevado (perdas leves)
3. mau posicionamento dos fones
4. grau de familiaridade do sujeito
5. diferença “perceber” - “escutar”
6. método ascendente e descendente
7. nervosismo, fadiga
8. falta de colaboração

### Programação diária

USA: exame audiométrico, 14 h após a última exposição

BRASIL: idem

EUROPA: “antes de qualquer exposição”

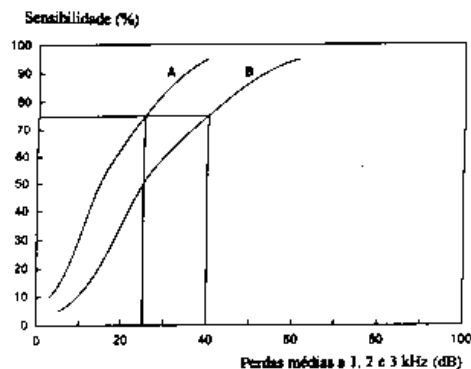
#### Recomendações:

se $N_{EX,8} < 90$ dB(A)	30 minutos de recuperação
90 -100	16 horas
> 100	2 dias

Uso de meios de proteção circunstanciais (fones de ouvido)  
no dia (e na véspera) do teste

## Avaliação do risco da surdez

Programa de Rastreamento da Surdez: não aplicável  
 Programa de Conservação da Audição



Distribuição das perdas médias a 1, 2 e 3 kHz. A: a 42 anos após 20 anos a 93 dB(A);  
 B: a 60 anos após 38 anos a 93 dB(A). Determinação da sensibilidade e da perda total provável a 60 anos a partir de uma perda a 42 anos de 25 dB.

exemplo: sujeito 42 anos  
 exposto há 20 anos a  $N_{EX,8} = 93$  dB(A)  
 perda média  $123 = 25$  dB

a partir da distribuição (42 anos, 20 anos, 93 dB(A))  
 sensibilidade = 75 %

a partir da distribuição (60 anos, 38 anos, 93 dB(A))  
 perdas prováveis a 60 anos: 40 dB

### Validade:

requer avaliações rigorosas e repetidas de  $N_{EX,d}$  e perdas

Coordenação: médico do trabalho  
 higienista industrial

## Resumo

Características essenciais dos Programas de Conservação de Audição (PCA) e de Rastreamento da Surdez (PRS)

<i>Critério</i>	<i>PCA</i>	<i>PRS</i>
Objetivo	- seguir a evolução de cada trabalhador - rastrear aqueles que possuem um risco de atingir a um handicap ou a uma invalidez	- determinar os trabalhadores apresentando perdas superiores ao limite de invalidez
Quais Trabalhadores	- sujeitos não atingidos susceptíveis de serem - jovens, recentemente expostos	- sujeitos atingidos - idosos, expostos há muito tempo
Medições	- programa sonométrico completo - $N_{EX,d}$ para cada trabalhador	- classificação simples - < 85, 85-90, > 90 dB(A)
<b>Programa audiométrico</b>		
Finalidade	evolução das perdas leves	ultrapassagem de um limite elevado
Frequências	250, 500 Hz, 1, 2, 3, 4, 6, 8 kHz	1, 2, 3 kHz ou 5, 1, 2, 4 kHz
Procedimento	rigoroso	rigoroso
ruído de fundo	fraco: cabine seguidamente necessária	menos importante
Programação diária	evitar as perdas temporárias	menos importante
Interpretação	- sensibilidade individual - predição do risco individual	ultrapassagem de um limite de invalidez

### Programação anual dos exames audiométricos

<i>Antigüidade</i>	<i>Classe <math>N_{EX,d}</math></i>		
	$\leq 94$ dB(A)	94 - 99 dB(A)	$\geq 100$ dB(A)
< 5 anos	2 anos	1 ano	6 meses
5 - 20 anos	3 anos	2 anos	1 ano
> 20 anos	4 anos	3 anos	2 anos



## **Critérios de escolha**

1. inexistência de partes metálicas  
(ferimentos, indução eletromagnética)
2. colocação pelo usuário segundo técnica apropriada
3. lavável
4. arco de união dos fones de ouvido:  
ruído ósseo, inserção insuficiente

## **Eficácia real**

1. colocação defeituosa
2. deslocamento com movimentos dos maxilares

## **Correção**

segundo diferentes autores, adaptar

m - 2 s    ou    m - 3 s

50 %            ...        30%

- 15 dB

segundo outros

**nenhuma relação entre eficácia teórica e real !**

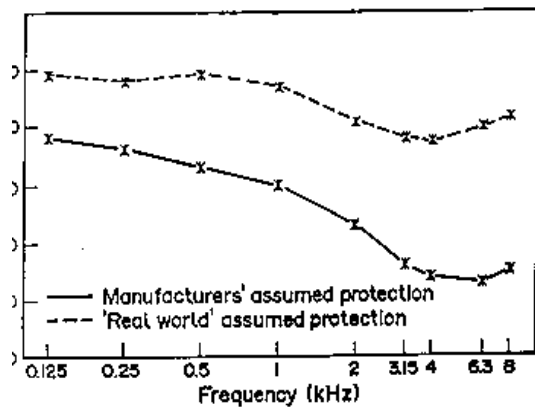


FIG. 5. Bion SOFT plug—assumed protections.

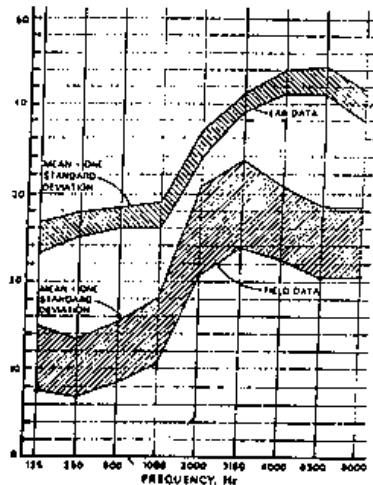
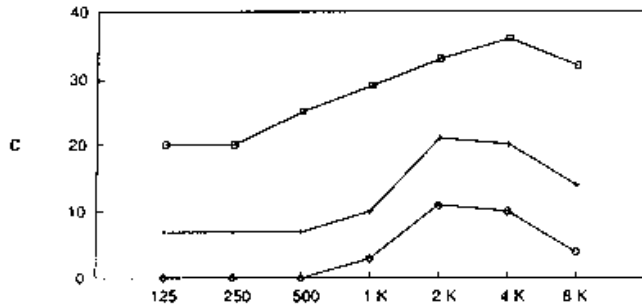
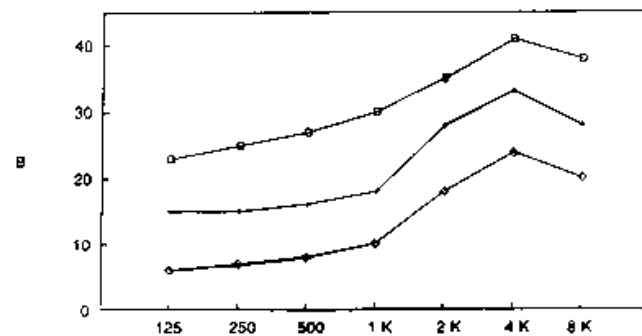
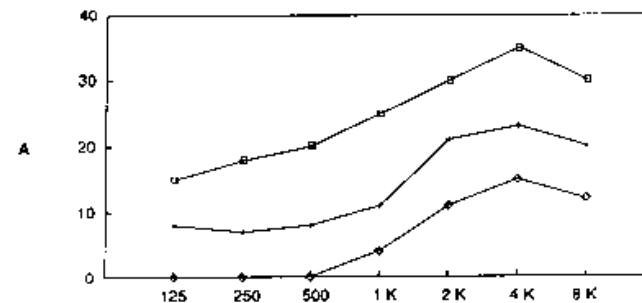


Figure 12—Attenuation and standard deviation as a function of frequency for "acoustic seal" Type B earplugs. Field data (plant 8) and laboratory data compared.

Freq	labo	campo	labo	campo
250	14	3	25 ± 3	7 ± 6
500	17	3	28 ± 3	8 ± 8
1000	20	5	28 ± 3	10 ± 8
2000	27	8	34 ± 3	21 ± 10
4000	37	12	41 ± 3	23 ± 8
8000	35	10	38 ± 4	21 ± 8

Atenuação acústica (dB)



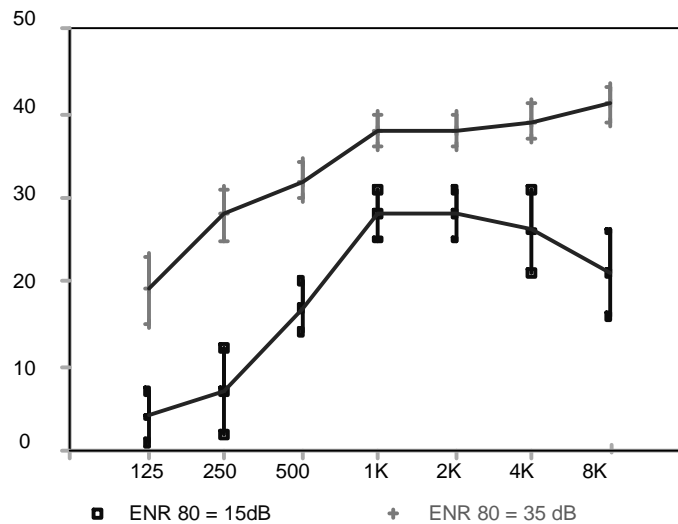
Frequências centrais das bandas de oitava (Hz)

# Conchas (EPI tipo fone de ouvido)

## Critérios de eficácia

- espessura, peso, tamanho
- pressão em torno da orelha
- hermeticidade da almofada da concha (plástico ou viscoso)
- arco de união ajustável

## Atenuação teórica e real



## Razões

- má colocação (óculos, cabelos, ....)
- almofadas das conchas deformadas

## Precauções no uso

- inexistência de partes metálicas ou alérgicas
- almofadas sempre limpas

## Correções propostas

- 5 dB para fones de ouvido comuns
- 15 dB se adaptado (ou acoplado) no capacete

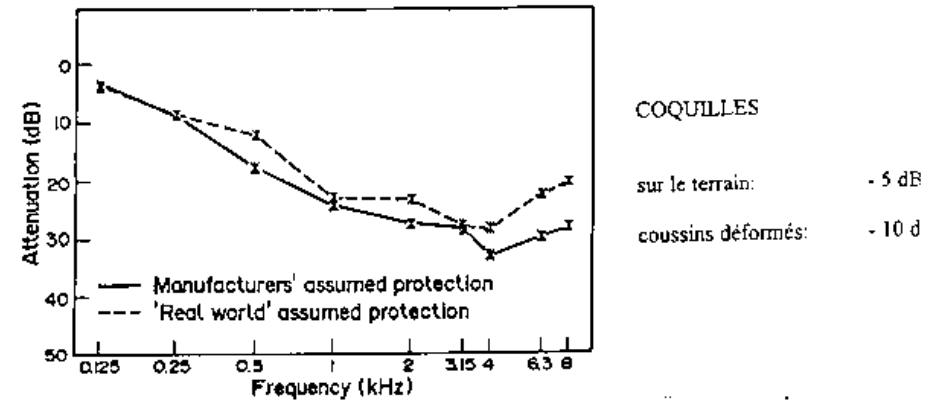


Fig. 1. Safe muff-assumed protection.

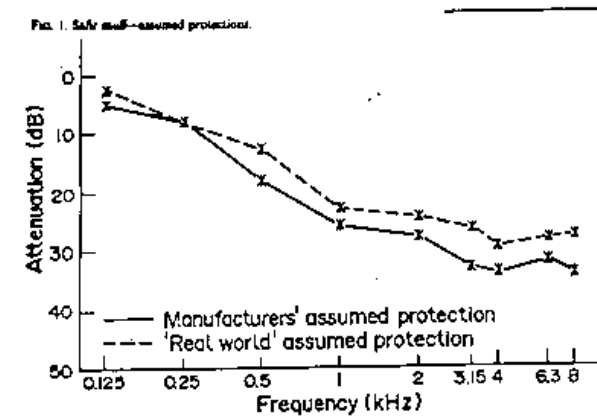


Fig. 6. Bilsco 'COMFORT' helmet-mounted muff-assumed protection.

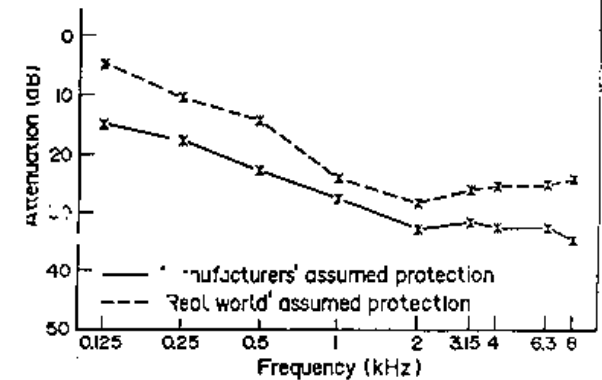


Fig. 7. Halberg helmet-mounted muff-assumed protection.

## Outros meios de proteção

**1. Combinação** tampão intra-auricular e fone de ouvido  
limitado pela condução óssea

### 2. EPI com emissão de música

interessante se o nível da música for limitado a menos de 82 dB(A)

! distração, segurança

### 3. EPI com comunicação

interessante com a mesma limitação  
devem passar os sinais de segurança

### 4. EPI ativos

futuro, caro, eficaz sobretudo a altas frequências

## Critérios de escolha

Compromisso desconforto proveniente do ruído  
desconforto devido ao EPI

Pesquisa de um EPI **não** o mais eficaz  
mas o que será **mais tempo** utilizado

p	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	99 %
redução	- 0.5	- 1.2	-3	- 6	- 10	-20

Redução do nível quotidiano de exposição sonora resultante do uso de um EPI durante uma fração “p” do tempo.

## Critérios

1. inocuidade
2. características do trabalhador (morfologia, anomalias)
3. compatibilidade com outros EPIs (capacetes, máscaras, ...)
4. facilidade de uso fácil de colocar, sem incomodar
  - fones em volta do pescoço
  - almofada porosa

### 5. característica do ruído

contínuo:	tampão (intra-auricular)
variável:	tipo fones de ouvido
intermitente:	tipo fones de ouvido

### 6. ambiente

se quente e úmido: tampão (intra-auricular)

### 7. níveis sonoros

< 100 dB(A)	qualquer EPI pode ser usado
> 100 dB(A)	fones (ruído intermitente)

Lutar contra a super dimensionamento - evitando a não utilização

## Recomendações para a utilização

### Informação dos trabalhadores

- \* da evolução de sua surdez e as conseqüências sobre o plano social
- \* possibilidades de prevenção, insistindo sobre a duração do uso
- \* Problemas verdadeiros e falsos correntemente evocados
  - muito incômodo, enervante, irritante mal adaptado
  - dor de cabeça pressão elevada
  - transpiração nas orelhas tampões absorventes
  - aparência ridícula verificar a estética
  - "o barulho faz parte do trabalho" educação
  - "agente se habitua" hábito = surdez
  - interferência com a comunicação EPI muito eficaz

## Conforto acústico

### 1. Qualidade acústica de um local com relação ao ruído das fontes ligadas às atividades internas

pesquisar  $T_{60} = 0.5 \dots 0.7$  s a 500 Hz (escritórios, moradias)

$T_{60} = 1$  s em indústrias

método medição do  $T_{60}$   
cálculo dos materiais absorventes a acrescentar

### 2. Qualidade de um local com relação ao ruído de fontes estranhas às atividades

caso: tráfego, ar condicionado, corredor, vizinhanças

<i>Tipo de local</i>	<i>Categoria do ambiente</i>			
	1	2	3	4
Locais de permanência	30	35	40	45
Locais de repouso	30	35	40	40
Escritórios comuns	40	45	50	55
Datilografia	45	50	55	55

Valores limites de nível equivalente de ruído de fundo ( $N_{eq}$  dB(A)) recomendados em função do tipo de ambiente

ambiente: 1 - meio rural, residencial, subúrbio  
2 - residencial urbano  
3 - residencial e comercial  
4- industrial