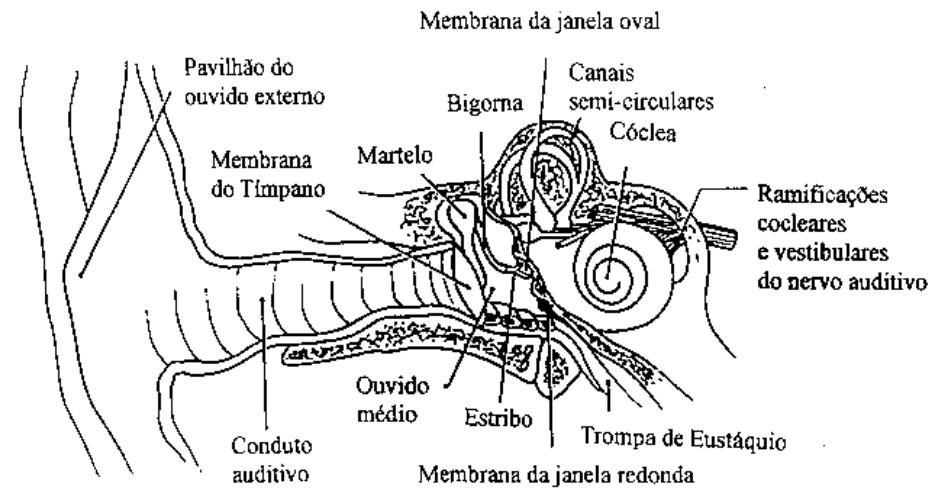
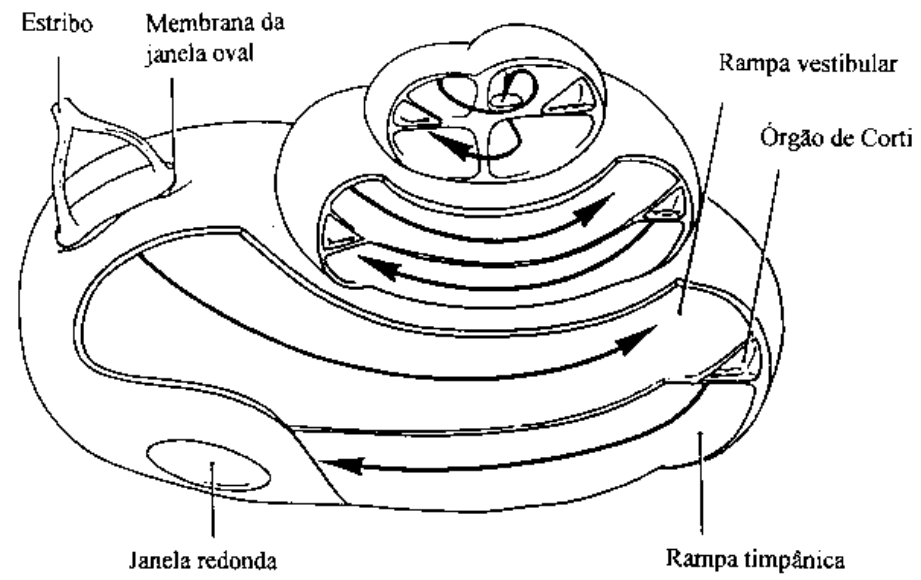
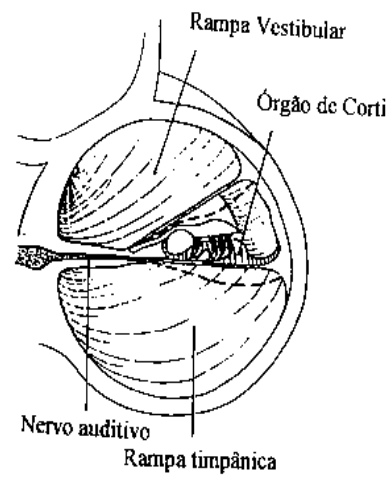
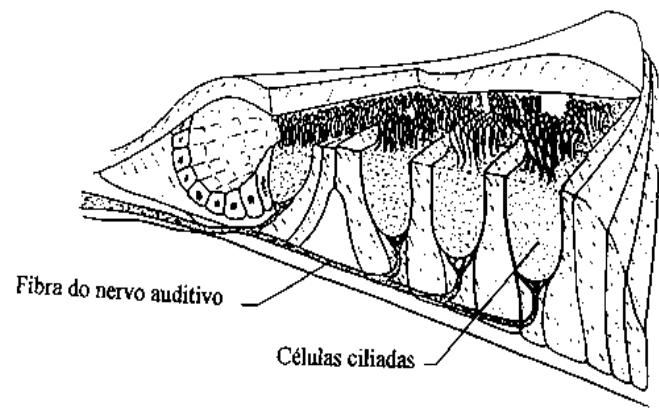


Universidade Católica de Louvain
Escola de Saúde Pública
Unidade de Higiene e Fisiologia do Trabalho
Bruxelas - Bélgica

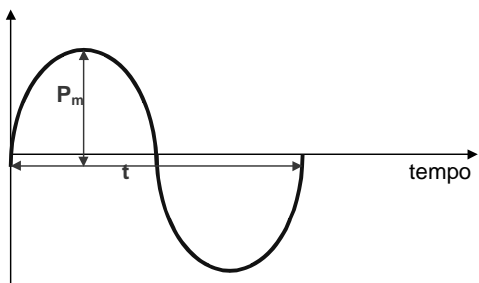
CURSO DE ACÚSTICA

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 λ 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 μ Pa (percepção) 200 Pa (dor)

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

5. intensidade

Watts / m²

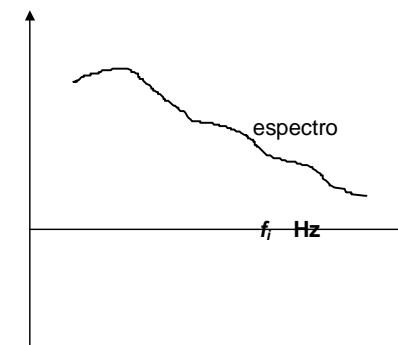
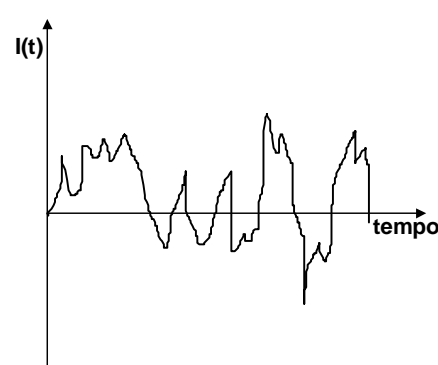
$$I = \frac{P^2}{\rho_c}$$

10⁻¹² W/m²

100 W/m² (dor)

Sons Complexos

$$I_t = \sum I_i$$



Decibéis

a 1000 Hz	limite de percepção	20 μ Pa	10 ⁻¹² W/m ²
	limite de dor	200 Pa	100 W/m ²
	relação	10 ⁷	10 ¹⁴

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

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

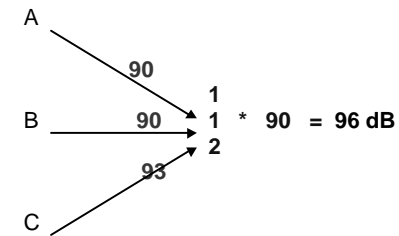
$$N_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} \quad \frac{I_2}{I_0} = 10^{N_2/10}$$

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

se $I_2 = n \cdot I_1$

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

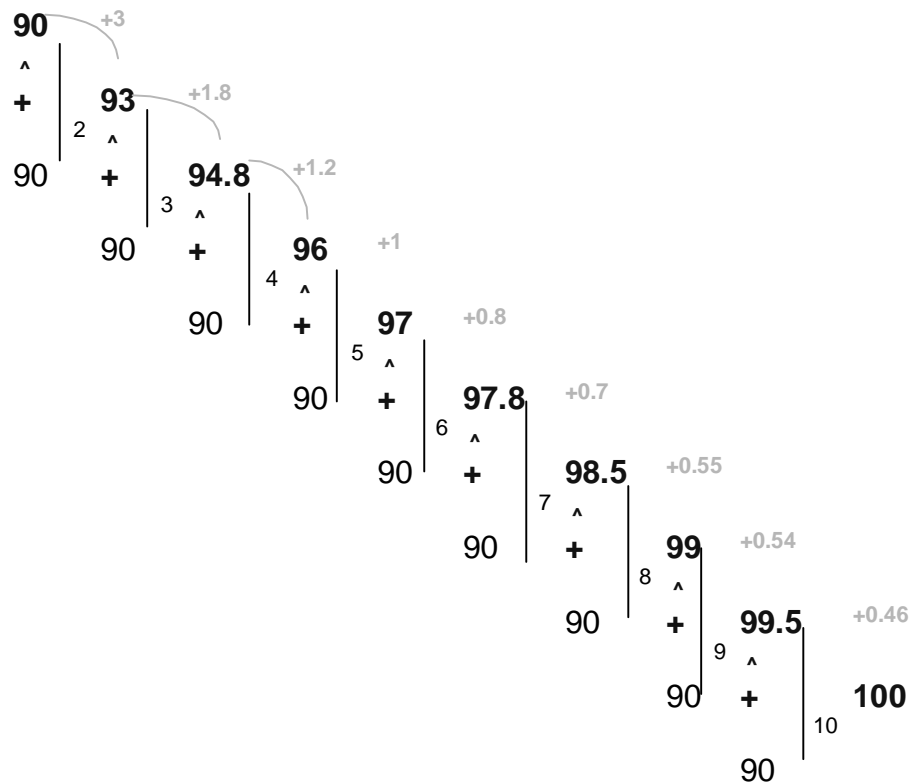
N	10 log N
1	0
2	3
3	4.8 ~ 5
4	6
5	7
6	7.7 ~ 8
7	8.5
8	9
9	9.5
10	10
20	13
50	17
100	20



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

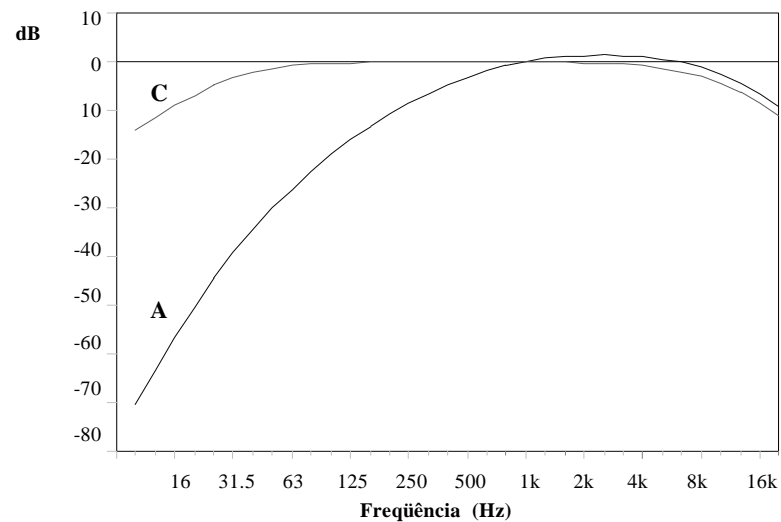
solução (dispendiosa) 20 dB sobre o motor

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

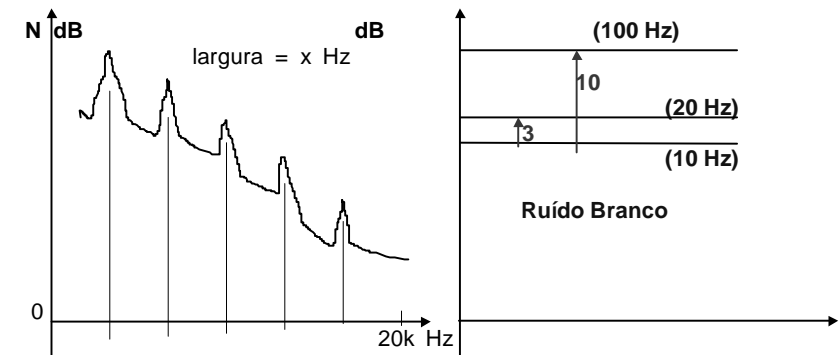
se $N_C \ll N_A$: ruído de baixas frequências

Análises Espectrais

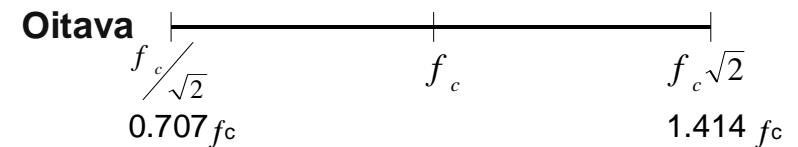
dB(A): nível global ponderado em frequências

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

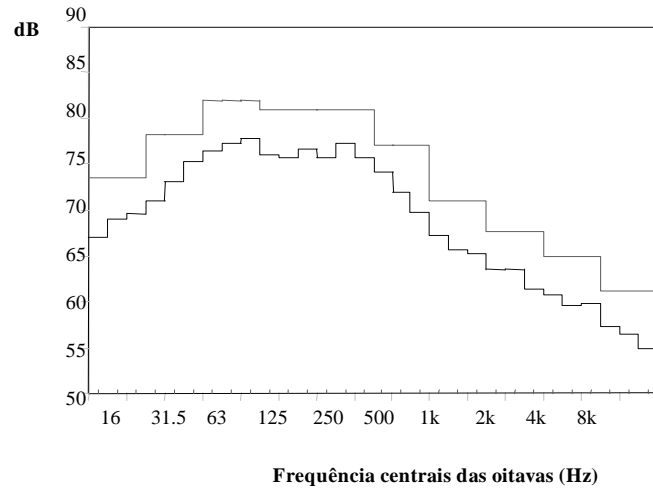


$$\text{largura } 1.414 f_c - 0.707 f_c = 0.707 f_c \quad \mathbf{70.7\% f_c}$$

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

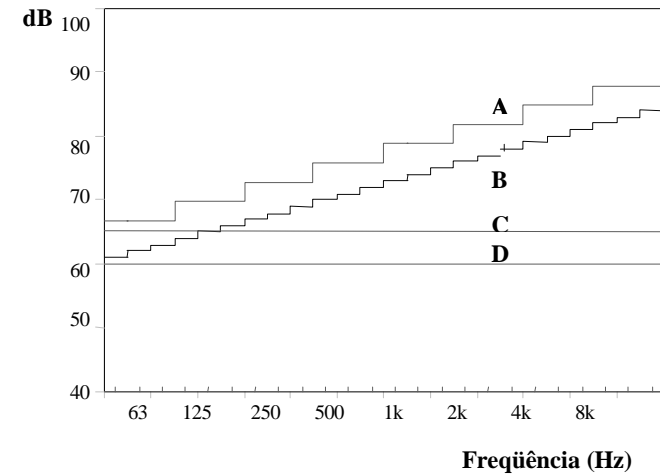
Espectros por bandas de oitavas (A) e de terças de oitavas (B) do ruído de um compressor



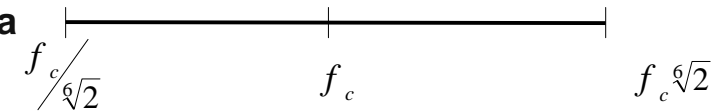
Escala discreta de n° de oitavas ou de 1/3 de oitava

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

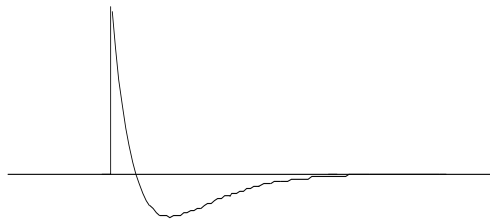
Validade:

1° a resposta em frequência do micro em altas frequências

2° atenuação fora da banda

3° inexistência de dB(A)

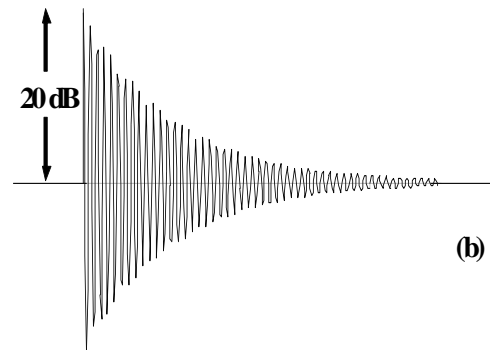
Ruídos de Impacto



(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:

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

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

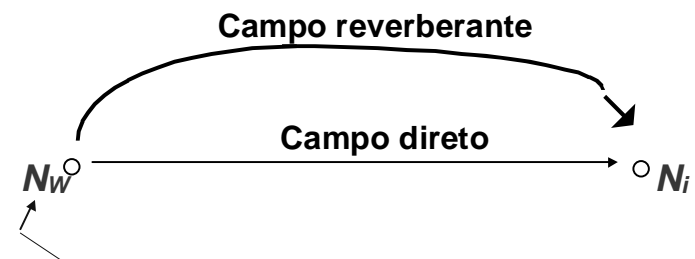
$$N_{EX,8} = 10 \log \frac{1}{8} \left[4 \cdot 10^{9.3} + 2 \cdot 10^{9.6} + 1 \cdot 10^7 \right]$$

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

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

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

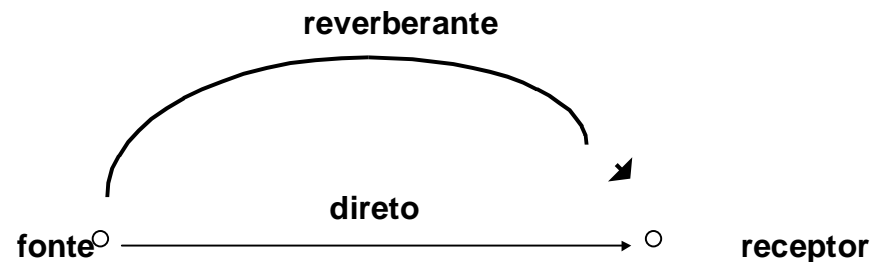
$$W = I S = I_r S_r \quad I = I_r \frac{S_r}{S}$$

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

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

atenuação 6 dB / 2 * distância

Campo difuso direto + reverberante

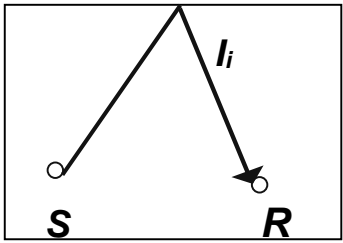


$$I = I_{dir} + I_{rev}$$

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

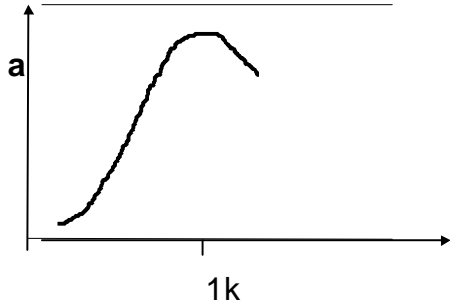
Materiais acústicos

1. Absorventes



coeficiente de absorção

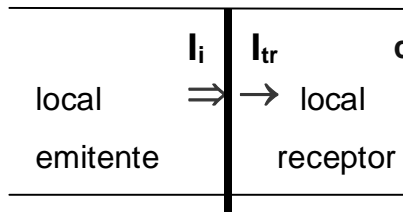
$$a = \frac{I_i - I_r}{I_i}$$



materiais porosos

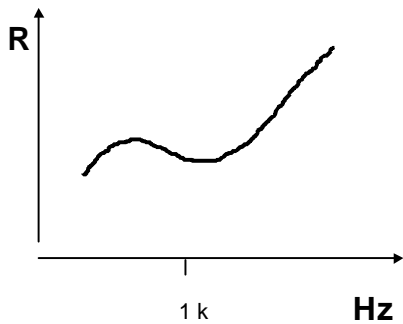
lãs de vidro, rocha
espumas
lajes porosas
estiropor,

2. Isolantes



coeficiente de transmissão

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

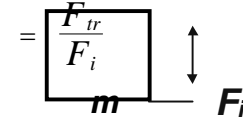


atenuação acústica

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

materiais pesados :
concreto

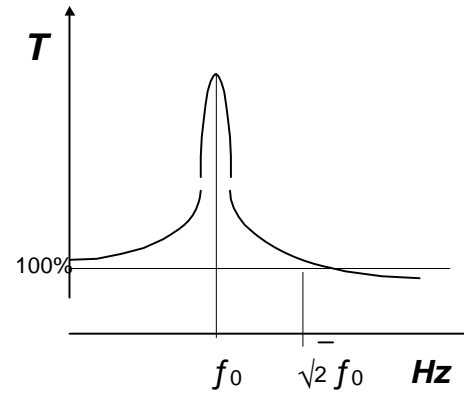
3. Amortecedores



T = Transmissibilidade

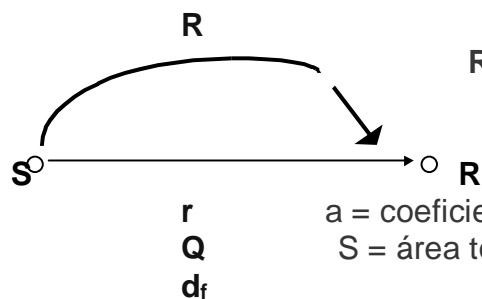
materiais emborrachados

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

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

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

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

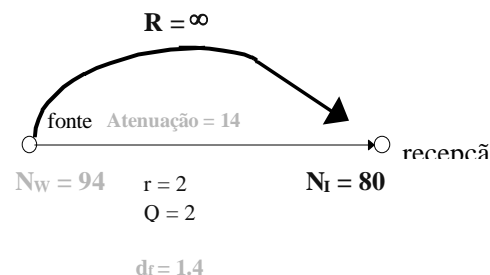
r pequeno $I_d \gg I_r$ campo livre $-6 \text{ dB} / 2 * r$

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

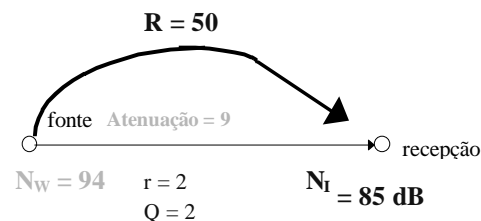
$f(R)$

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

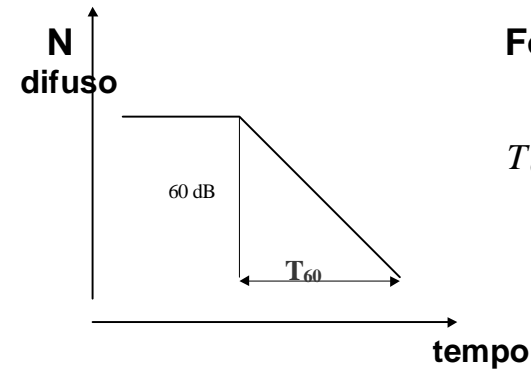
Origem	S_i	a_i	$A_i = S_i a_i$
teto	150	0.04	6
paredes	225	0.04	9
solo livre	150	0.03	5
ou ocupado		0.2 ...	30 ...
Total	525		A = 20 ... 45

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

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

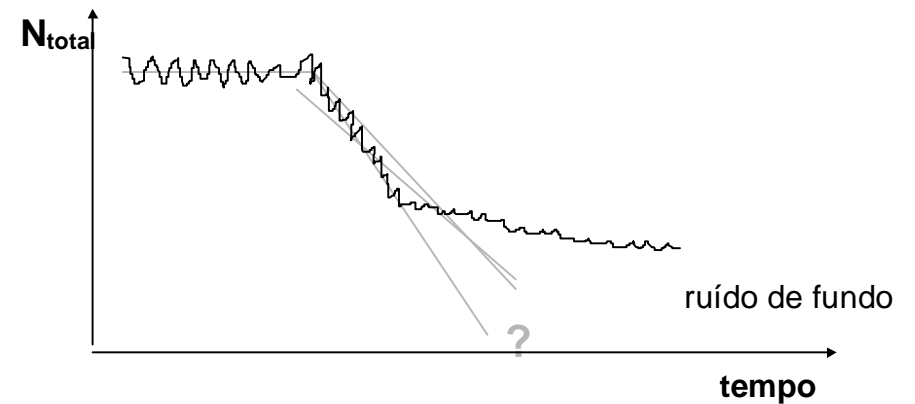
- muito impreciso
- orientação

Tempo de reverberação



Fórmula de Sabine

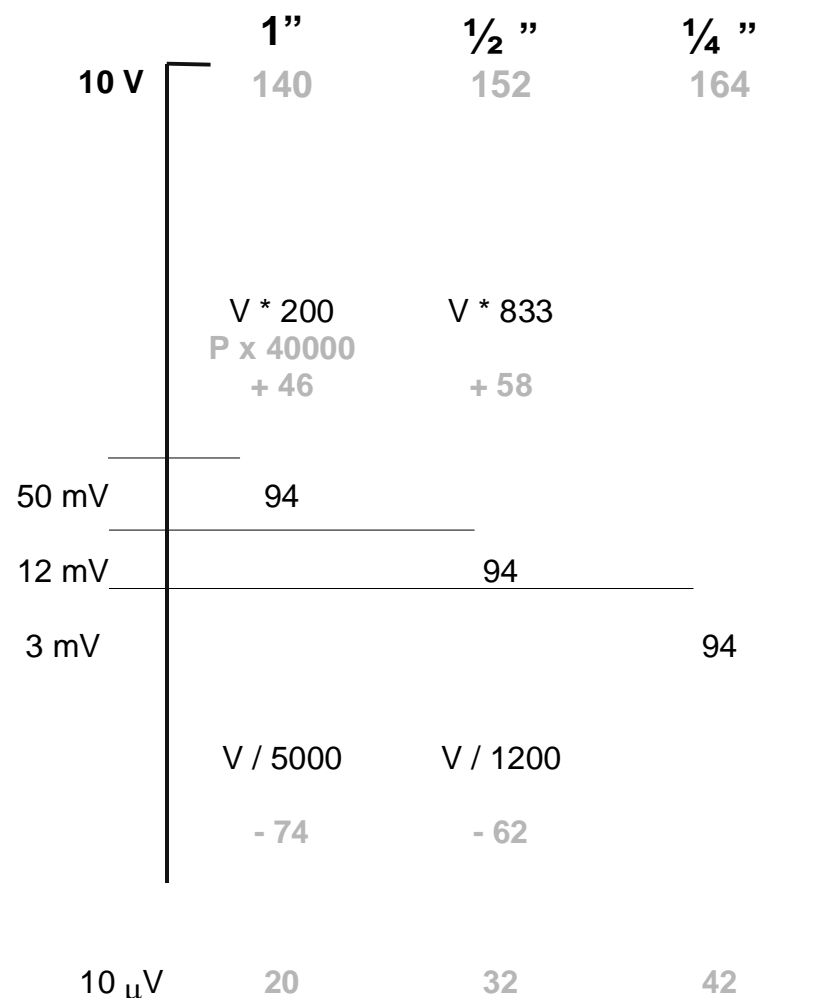
$$T_{60} = \frac{0.16 \text{ volume}}{S \bar{a}}$$



- 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)

~~Lmax = 111.0 dB(A) Lpic = 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	∞	0	∞	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 ⁵	11 ⁵	7	9	10	9 ⁵	15 ⁵	13 ⁵

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

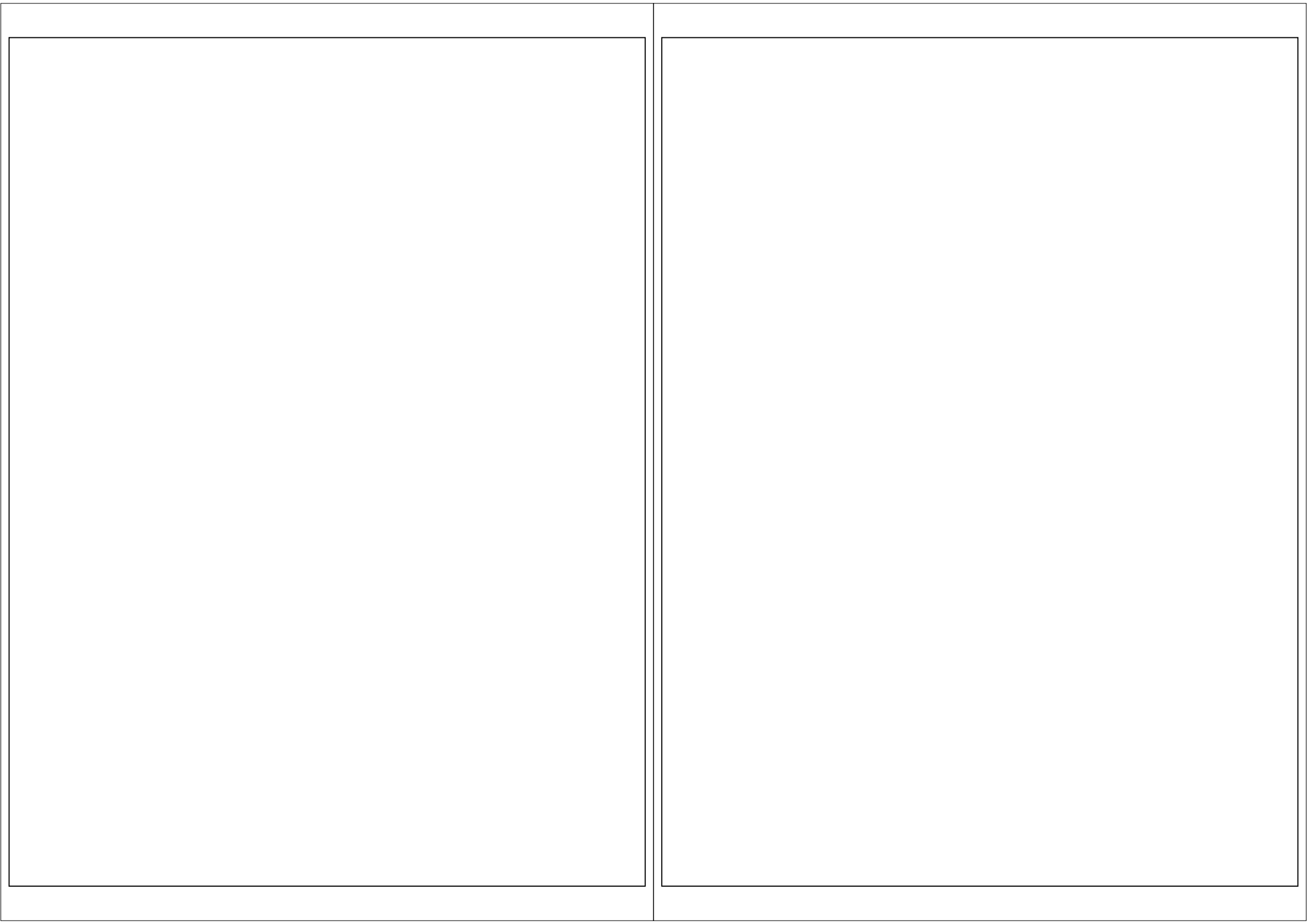
Bélgica déficit médio $P_{123} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$

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

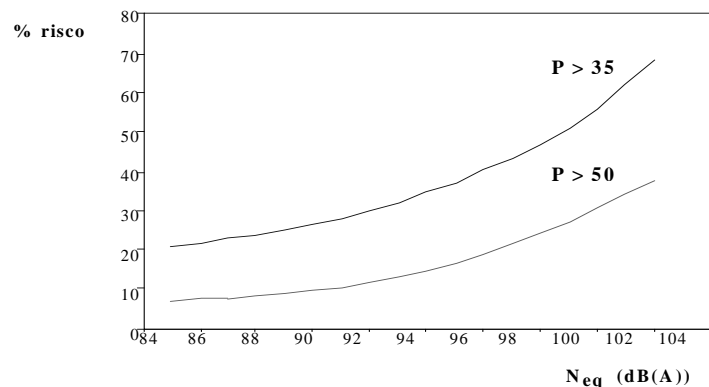
Surdez profissional



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

Sens.	Presb.	90 dB(A)	94 dB(A)	98 dB(A)
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
 $N_{EX,d}$

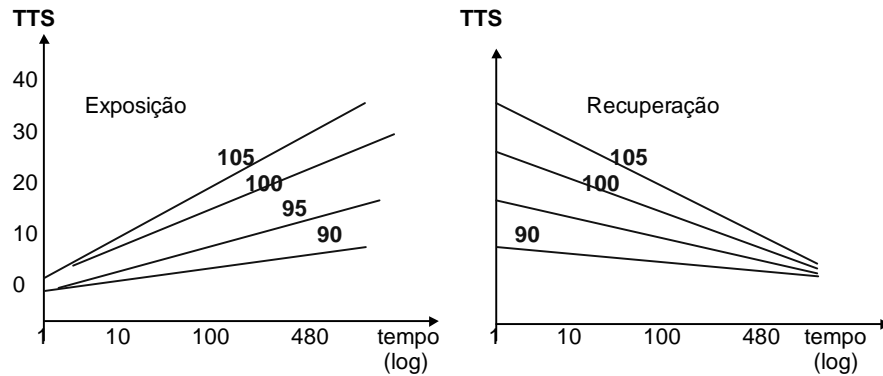
Após 40 anos
 idade 60 anos

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

$N_{EX,d}$	≤ 90 dB(A)	30'	de repouso
	≤ 100 dB(A)	16 h	de repouso
	≥ 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 ≥ 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 ≥ 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_{Aeq}	duração	Dose i	% relativa
1	92	300	99	51
2	95	80	53	27
3	97	40	42	29
4	60	60	0	0
$N_{EX,d}$	92.9	480	194	100 %

Monitoramento

1. Escolher N_S indivíduos \ni GHE ex: 7/10

2. duração da medição Δt ex: 30'

3. números de amostras $n_a \sim 5$ 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 $N_{EX,d}$ + 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 Δt

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 ΔT 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 ^h 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

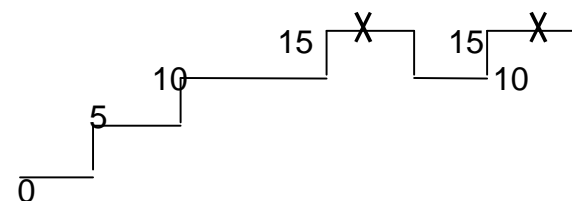
- Anamnese:
- antecedentes de surdez na família
 - doenças otorrino de infância
 - traumatismos cranianos
 - sensação zumbidos, surdez, confusão
 - medicamentos consumidos
 - atividades militares
 - hobby barulhento (armas, música, ...)
 - equip. de som portáteis, discoteca, concertos...
 - trabalhos 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”

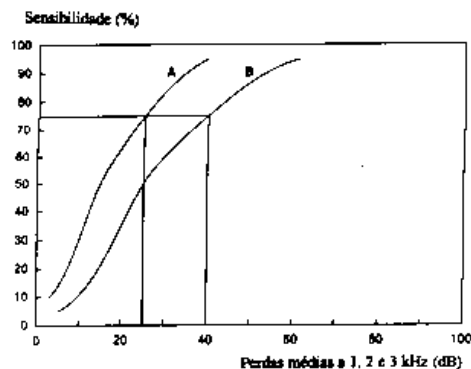
Recomendações:

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)

Critério	PCA	PRS
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)
Programa audiométrico		
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

Antigüidade	Classe $N_{EX,d}$		
	≤ 94 dB(A)	94 - 99 dB(A)	≥ 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

Crítérios 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 !

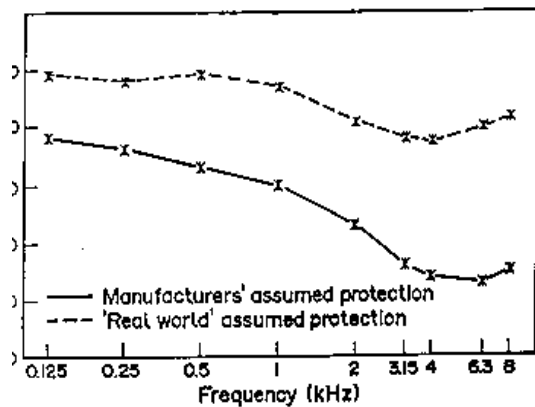


FIG. 5. Bion SOFT plug—assumed protections.

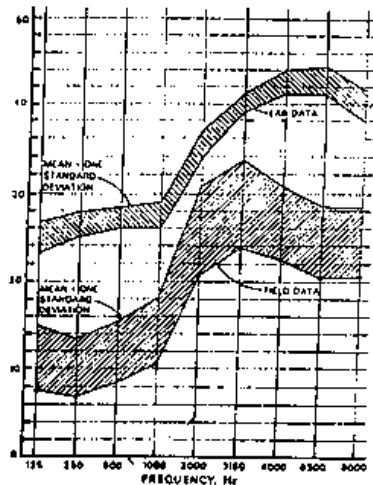
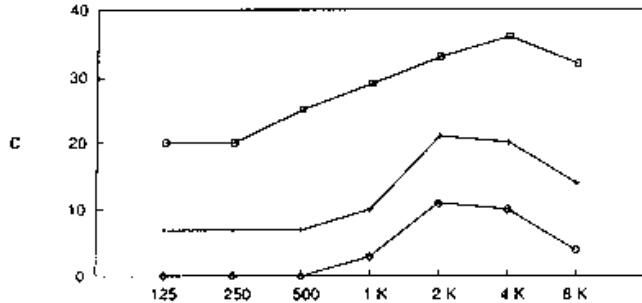
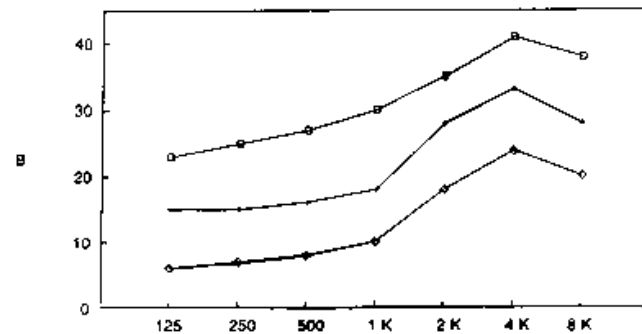
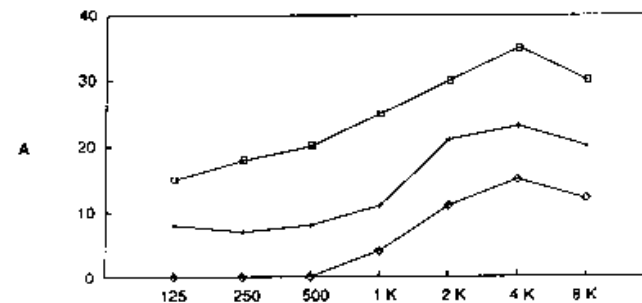


Figure 12—Attenuation and standard deviation as a function of frequency for "acoustic seal" Type B earplug. Field data (plant 8) and laboratory data compared.

Freq	labo	campo
250	14	3
500	17	3
1000	20	5
2000	27	8
4000	37	12
8000	35	10

labo	campo
25 ± 3	7 ± 6
28 ± 3	8 ± 8
28 ± 3	10 ± 8
34 ± 3	21 ± 10
41 ± 3	23 ± 8
38 ± 4	21 ± 8

Atenuação acústica (dB)



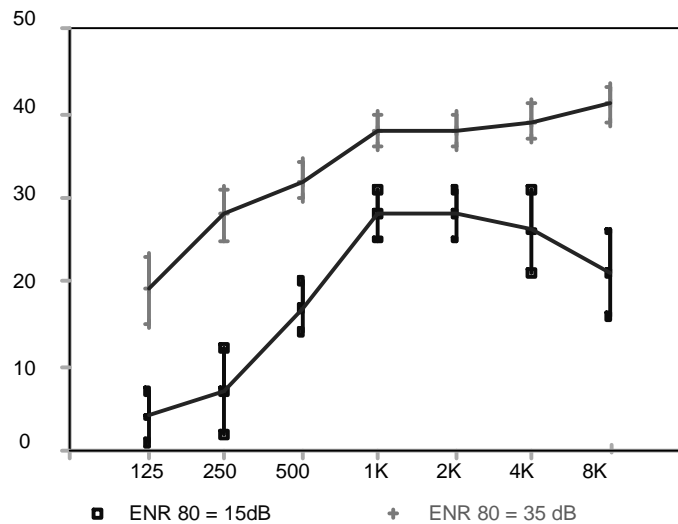
Frequências centrais das bandas de oitava (Hz)

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

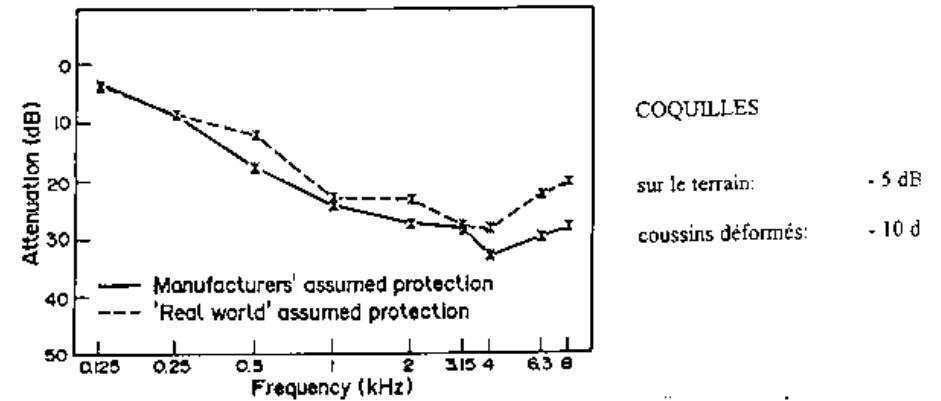


Fig. 1. Safe muff-assumed protection.

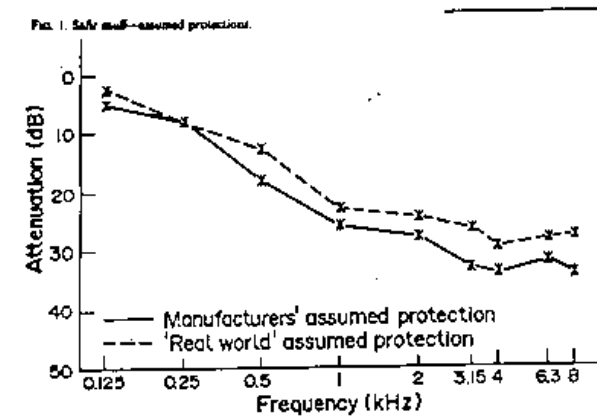


Fig. 6. Bilsco 'COMFORT' helmet-mounted muff-assumed protection.

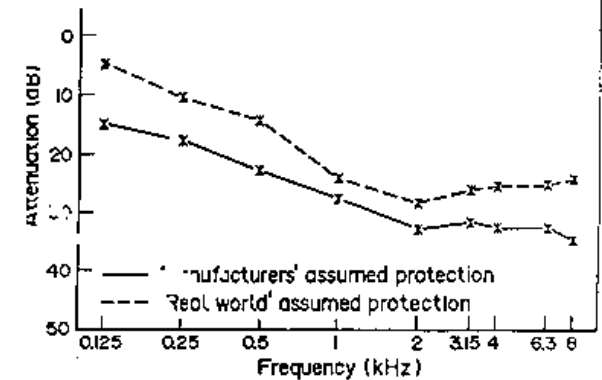


Fig. 7. Helberg helmet-mounted muff-assumed protection.

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