

Medidas da Onda Sonora

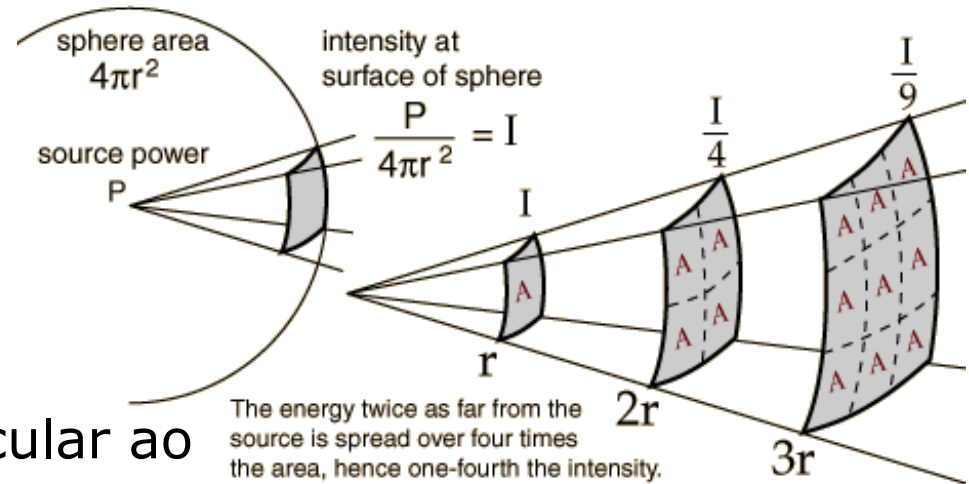
▪ **Prof. Theo Z. Pavan**

Física Acústica

Aula 8

Energia transportada pelas ondas

- Ondas transportam energia.
- Intensidade I de uma onda:
 - Potência transportada por unidade de área perpendicular ao fluxo de energia.



$$I = \frac{\text{Potencia}}{\text{area}} = \frac{\text{energia/tempo}}{\text{area}}$$


- A energia é proporcional à amplitude ao quadrado:

$$I \propto A^2$$

Intensidade do som

- Ao utilizar a energia para medir a intensidade do som, deve-se observar a potência sonora, onde potência [1 Watt=1 J/s] é trabalho em função do tempo. A Intensidade sonora é estabelecida pela potência aplicada em uma determinada área, no sistema SI $[I]=W.m^{-2}$ e no sistema CGS $[I]= erg.cm^{-2}.s^{-1}$
- Quando utilizamos a pressão para medir a intensidade do som, a unidade de medida no SI é o Pascal [1 Pa= 1 N*m⁻²] e no sistema CGS a pressão é dada em [dyna*cm⁻²].

Níveis sonoros

FONTES DE RUÍDO	Intensidade (Watt/m ²)
	10^2
limite da dor	
	10^0
jato	
	concerto de rock
	britadeira
	pequenos caminhões acelerando
	10^{-4}
via movimentada	
	10^{-6}
barulho de escritório	
	escritório
	10^{-8}
privado	
	residencial
	10^{-10}
estúdio de rádio operando	
	cochichar
	10^{-12}
limite da audição	

Limiar auditivo

- O sistema auditivo do ser humano é muito sensível e está preparado para receber sons de intensidades muito baixas, da ordem de 10^{-12} W/m² (ou seja, 0,0000000000001 W/m²) até intensidades tão altas quanto 100 W/m².

Bel

- Criado por conveniência, para expressar a razão de dois números com diferenças grandes.
- Homenagem ao cientista Alexander Graham Bell, inventor, entre outras, do telefone.
- Se a e b são dois níveis de potência, então a razão *bel* é: *Nível de Potência* = $\log_{10} (a/b)$ [Bel].

Nível de Potência = $\log_{10} (a/b)$ [Bel]

Ex: Se **a tem o dobro** da potência de **b** então:

$$\text{Nível de Potência} = \log_{10} 2 = .301 \text{ Bel}$$

Ex: Se **a tem a metade** da potência de **b** então:

$$\text{Nível de Potência} = \log_{10} 0.5 = -0.301 \text{ Bel}$$

Decibel: Introdução

- Segundo a Lei de Fechner e Weber, a sensação (S) de um indivíduo a um estímulo sonoro é proporcional ao logaritmo do estímulo (E), multiplicado por uma constante (K), ou seja:

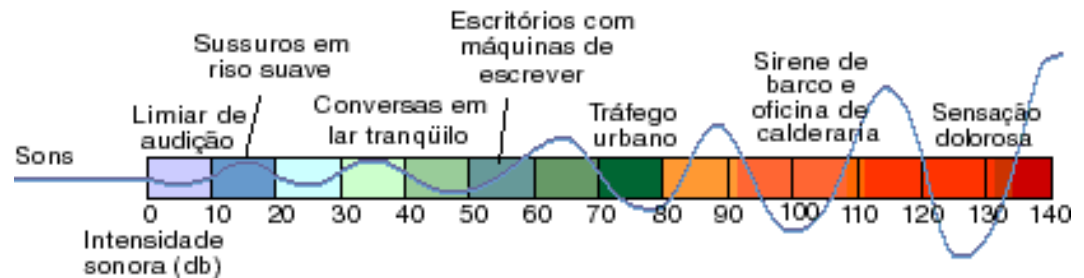
$$S = K \log E/E_{\text{ref}}$$

onde: S : Sensação auditiva

K : Constante de proporcionalidade

E : Estímulo

E_{ref} : Estímulo de referência



Decibel

- **Decibel (dB)** é uma unidade inventada para medir a intensidade do som. Ela é uma razão entre valores, com um valor de referência. Como a intensidade absoluta dos sons varia em uma escala muito grande, a unidade é definida em termos de uma escala logarítmica.
- O decibel (**dB**) nada mais é do que a décima parte de um Bel, ou seja, 0,1 Bel.

Nível de Intensidade Sonora (NIS)

- Nível de Intensidade Sonora (NIS)
- Sound Intensity Level (SIL)

$$S = K \log E/E_{\text{ref}}$$

Utilizando-se a equação anterior, e utilizando a intensidade de referência como 10^{-12}W/m^2 (10^{-16} W/cm^2) por ser esta a mínima intensidade sonora audível por um indivíduo otologicamente normal e utilizando-se $K=10$, temos:

$$\text{NIS} = 10 \log (I / I_0)$$

$$I_0 = 10^{-12}\text{W/m}^2 = 10^{-16}\text{W/cm}^2$$

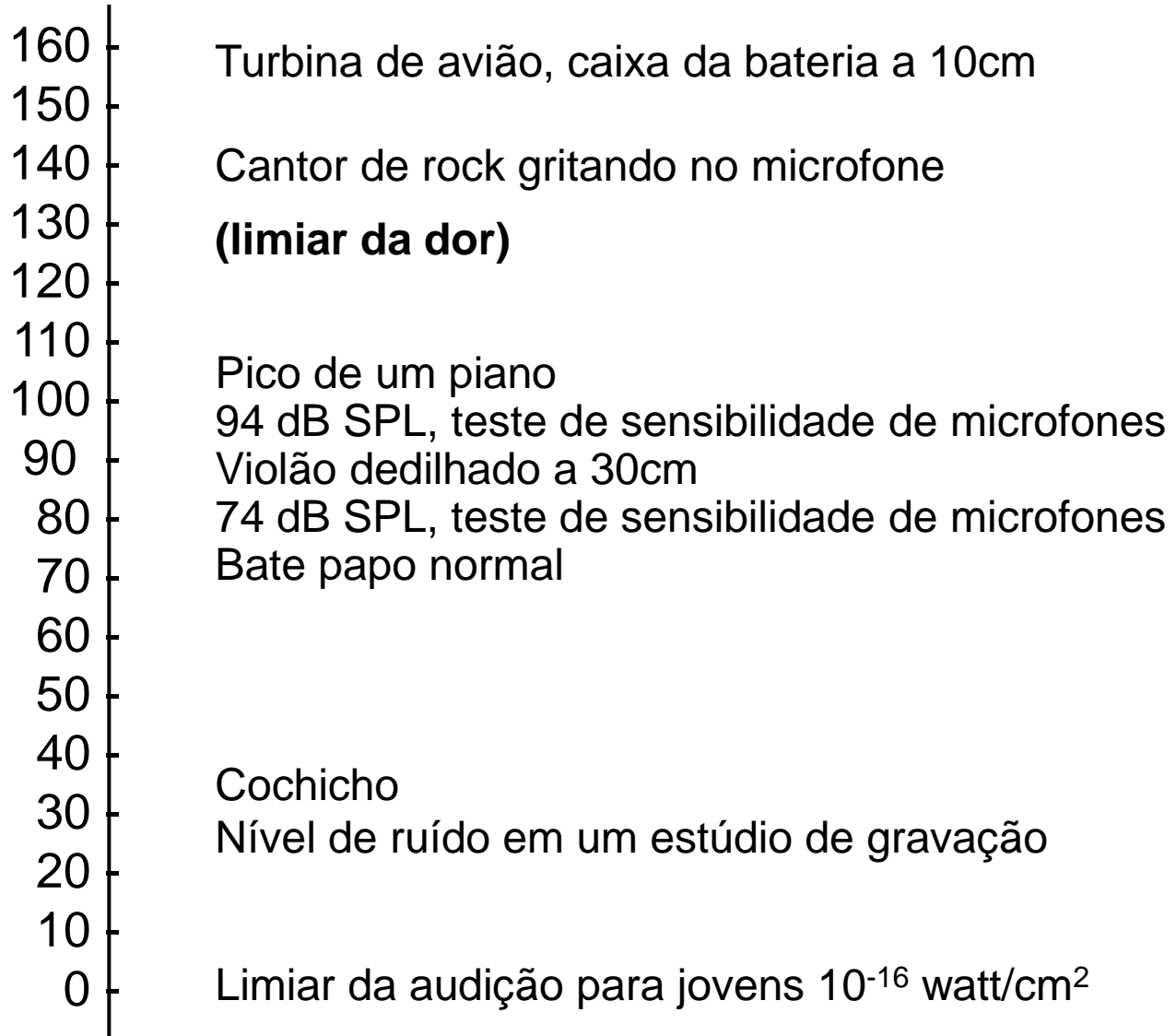
Potência de uma onda sonora

- Volume (nível de áudio): decibel (dB)
 - 1 dB = menor **mudança** de volume perceptível
 - É uma medida **relativa** entre tensões, correntes, potências ou pressões acústicas
$$\text{dB} = 10 \times \log_{10} (\text{nível/nível de referência})$$

Existem vários níveis de referência

- dBm: 1 miliwatt
- dBu ou dBv: 0.775 volt
- dBV: 1 volt
- dB NIS: 10^{-12} Watt/m² (limiar da audição)

dB



Intensidade

A intensidade I de um som pode ser percebida com precisão, e está relacionada com a quantidade de energia sonora recebida por segundo a partir da fonte de som. Os seres humanos podem perceber um amplo intervalo de intensidade, de 10^{-12} Wm^{-2} até 100 Wm^{-2} .

O nível de intensidade em decibels (dB) é dado por

dB = 10 x log da razão de intensidades

$$\text{dB} = 10 \times \log_{10}(I/I_0)$$

I – Intensidade medida em Wm^{-2}

I_0 – Intensidade de referência, normalmente 10^{-12} Wm^{-2} , aproximadamente igual ao limiar de audibilidade a 1000 Hz.

Nível de Intensidade

- Um resultado importante de se trabalhar com nível de intensidade é que se a intensidade do som é dobrada, isso corresponde apenas a um aumento de 3 dB no nível de intensidade sonora.
- Mas, na prática é mais fácil medir variação de pressão do que intensidades.

Nível de pressão sonora: decibel

- Para se medir o nível de pressão sonora é necessário uma pressão de referência, P_0 . Usamos uma pressão sonora que é aproximadamente igual ao limiar de audibilidade a 1000 Hz, isto é, a pressão exercida por uma onda de som de um som de 1000 Hz no tímpano, que é apenas o suficiente para ser ouvida. Esta pressão é tomada como sendo $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$. A escala de intensidade do som é então dada por:

$$SPL = 20 \log_{10}(P/P_0) \text{ dB}$$

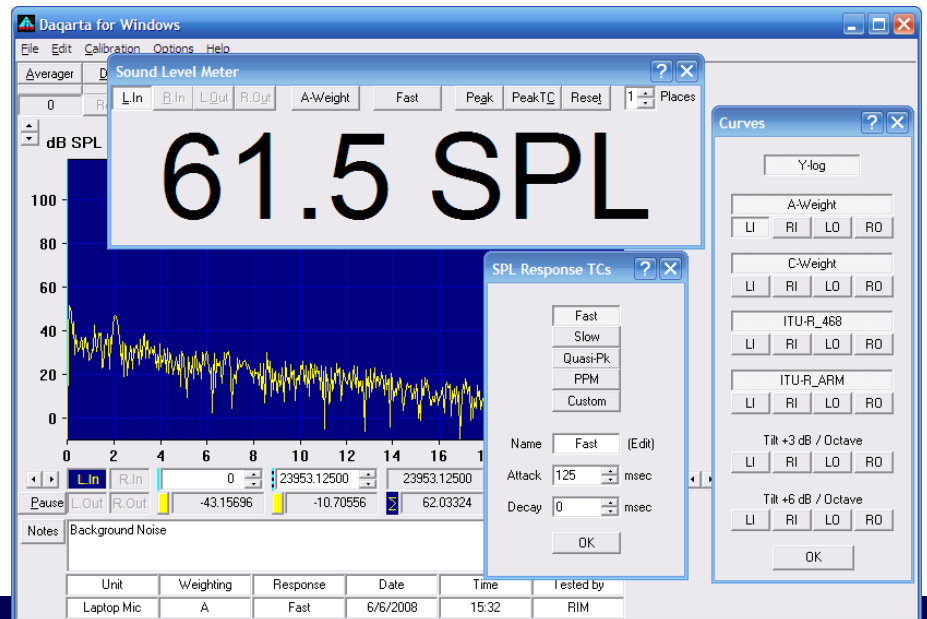
(Note que a fórmula para a escala usa $20 \log$ em vez de $10 \log$, já que a intensidade é proporcional ao quadrado da amplitude de pressão.)

Nível de Pressão Sonora (NPS)

- **Nível de Pressão Sonora (NPS)**
- ***Sound Pressure Level (SPL)***

Utilizando-se a equação Fechner e Weber, e utilizando o nível de pressão sonora de referência como sendo $P_0=20 \mu\text{Pa}$ por ser esta a mínima pressão sonora audível por um indivíduo otologicamente normal e utilizando-se $K=20$, temos:

$$\text{NPS} = 20 \log P/P_0$$
$$P_0=20 \mu\text{Pa}$$



NPS ou SPL

N/m²	dB re 2 x 10⁻⁵ N/m²	
200	140	Limiar de dor
20	120	Decolagem de avião
2	100	Tiro a 5 m
2 x 10⁻¹	80	Rádio com volume alto
2 x 10⁻²	60	Conversação
2 x 10⁻³	40	Ruído de fundo em uma sala
2 x 10⁻⁴	20	Sala muito quieta
2 x 10⁻⁵	0	Limiar da audição

Exemplo

- Se dois violinos produzem sons com SPL ou NPS de 50dB (referência= 20×10^{-6} Pa) cada um, qual é o SPL total resultante?

Para um violino:

$$50 = 20 \log(p_1 / 2 \cdot 10^{-5})$$

$$p_1 = 6,32 \times 10^{-3} \text{ Pa}$$

Dois violinos:

$$\text{dB} = 20 \log ((p_1 + p_1) / 2 \times 10^{-5})$$

$$\text{dB} = 56$$

Níveis de Intensidade e Pressão

Nível de Pressão Sonora - Sound pressure level, dB

$$\text{SPL} = 10 \log [(P/P_{\text{ref}})^2] = 20 \log (P/P_{\text{ref}})$$

$$\text{onde } P_{\text{ref}} = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

Nível de Intensidade Sonora - Sound intensity level, dB

$$\text{SIL} = 10 \log (I/I_{\text{ref}})$$

$$\text{onde } I_{\text{ref}} = 10^{-12} \text{ Watt/m}^2$$

Nível de Potência Sonora – Sound power level, dB

$$\text{SWL} = 10 \log (W/W_{\text{ref}})$$

Níveis em dB

$$P \propto \sqrt{I}$$

$$I \propto P^2$$

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

- Se a intensidade sonora aumentar de um dado fator, a pressão média aumentará somente a raiz quadrada desse fator.
- Se a pressão sonora aumentar de um dado fator, a intensidade sonora aumentará o quadrado daquele fator

Relação entre *dB NI* e *db NP*

- Uma razão de intensidade de 10:1 corresponde a 10 dB. Mas uma razão de pressão de 10:1 corresponde a 20 dB.
- Conclui-se, por exemplo, que 60 dB NI = 120 dB NP? **NÃO**
- Cuidado, pois se a intensidade aumenta de um fator 10, a pressão terá aumentado apenas um fator que é a raiz quadrada de 10 (3,1623), e portanto o equivalente em decibels será ainda 20 $\log 3,1623=10$!!

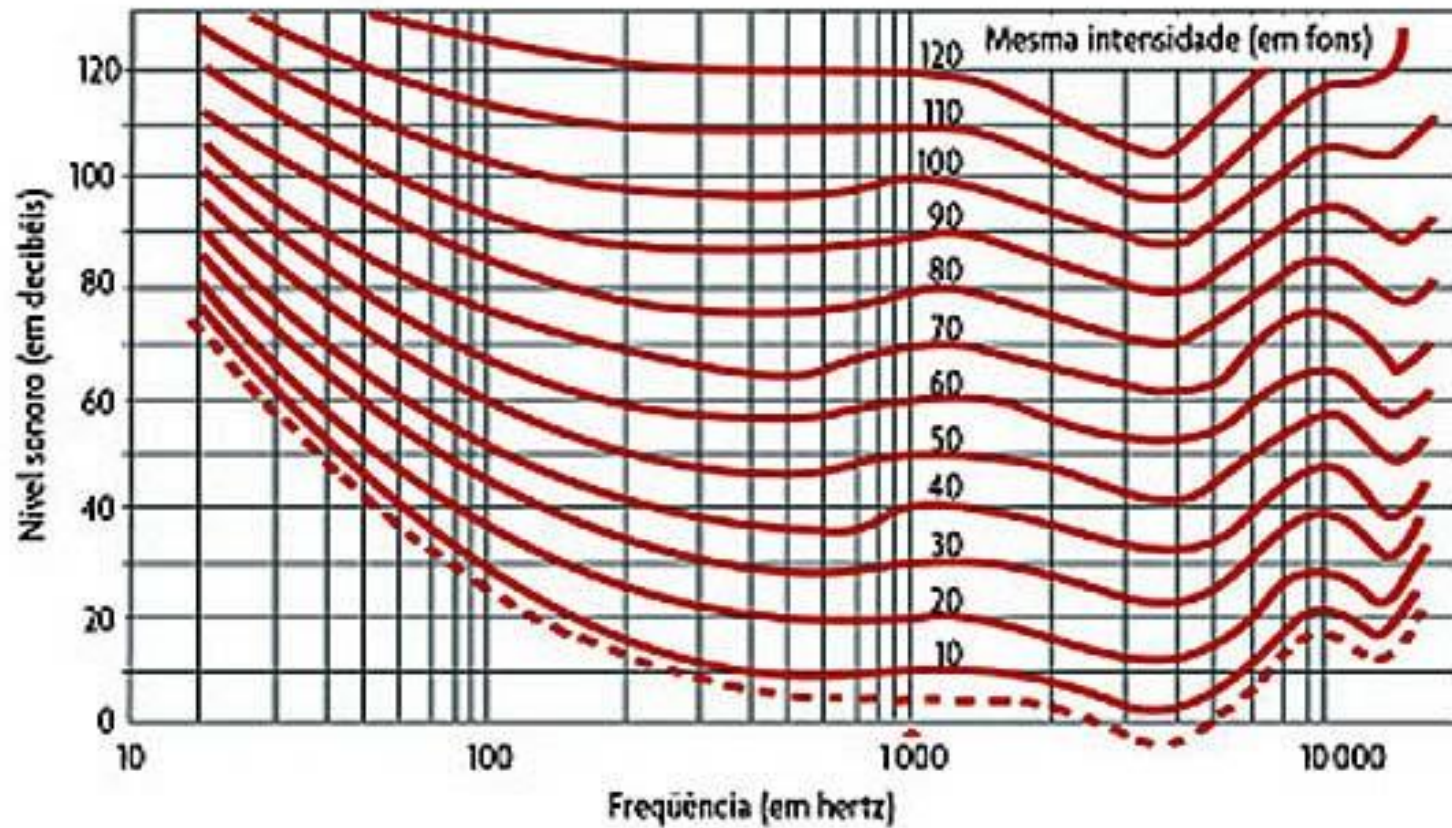
Qualidade de um som

- **Altura**
 - Em inglês: Pitch
- **Intensidade**
 - Em inglês: Loudness
- **Timbre**
 - Em inglês: Timbre

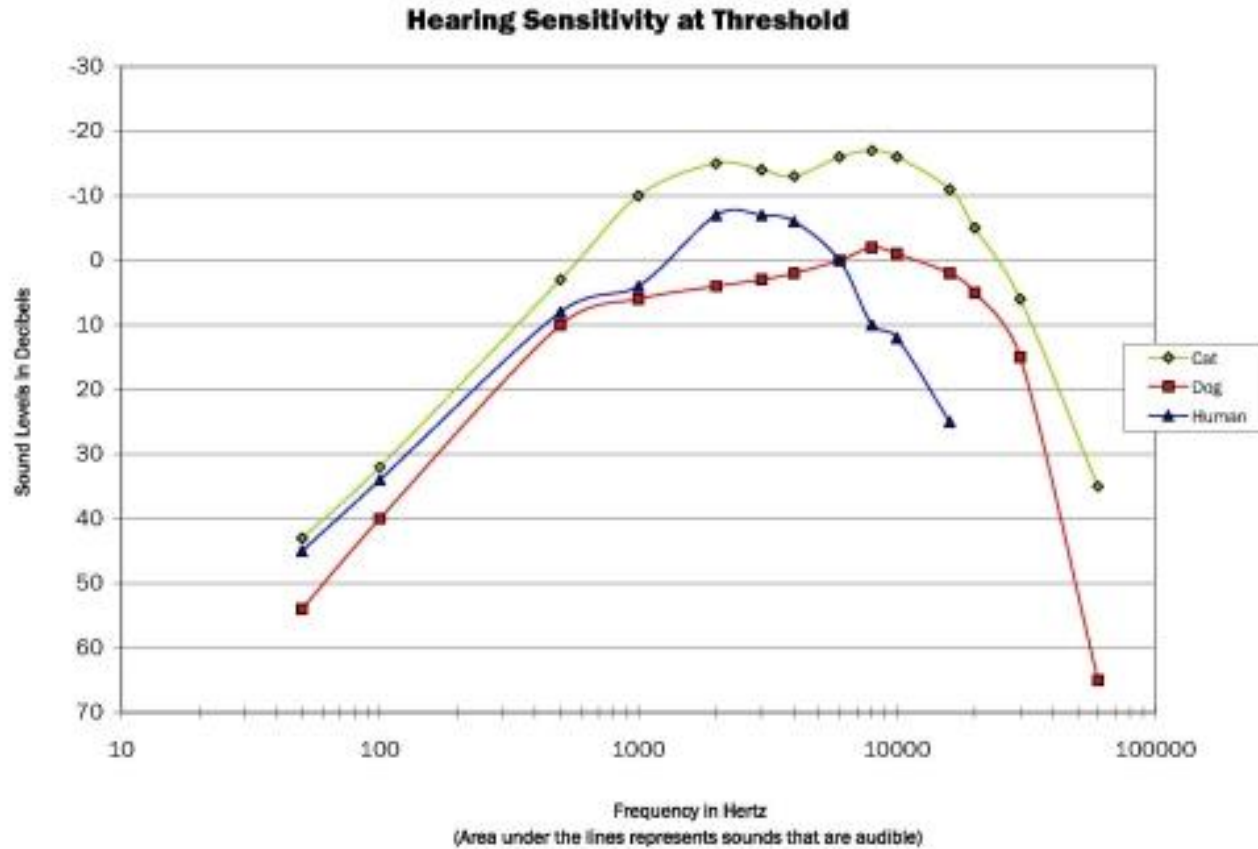
Sensação sonora

- A sensação sonora varia aproximadamente com o logaritmo da pressão sonora.
- O nosso ouvido não reage igualmente para todas as frequências sonoras.
- A sensibilidade varia, e muito, com a frequência do som.
- Dois sons de mesma intensidade **física** mas frequências diferentes podem parecer, para o nosso ouvido, ter intensidades muito diferentes.

Curvas de igual audibilidade ou isofônicas

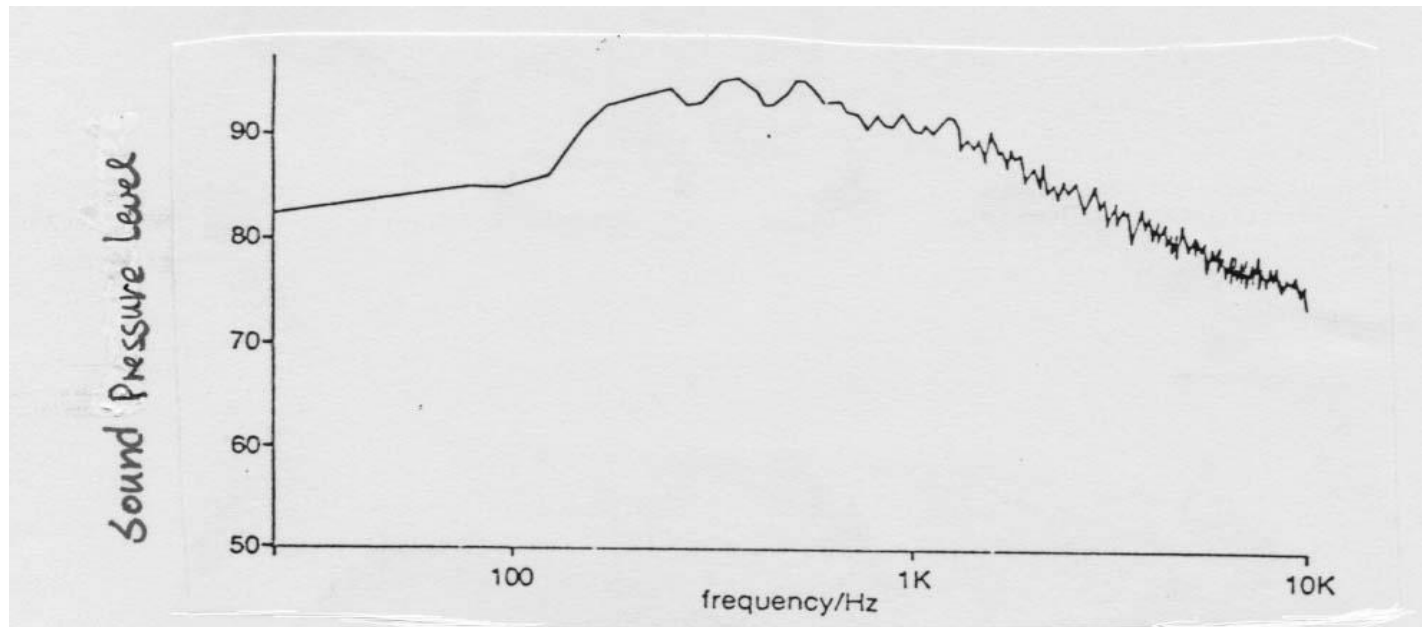


Limiar de audição



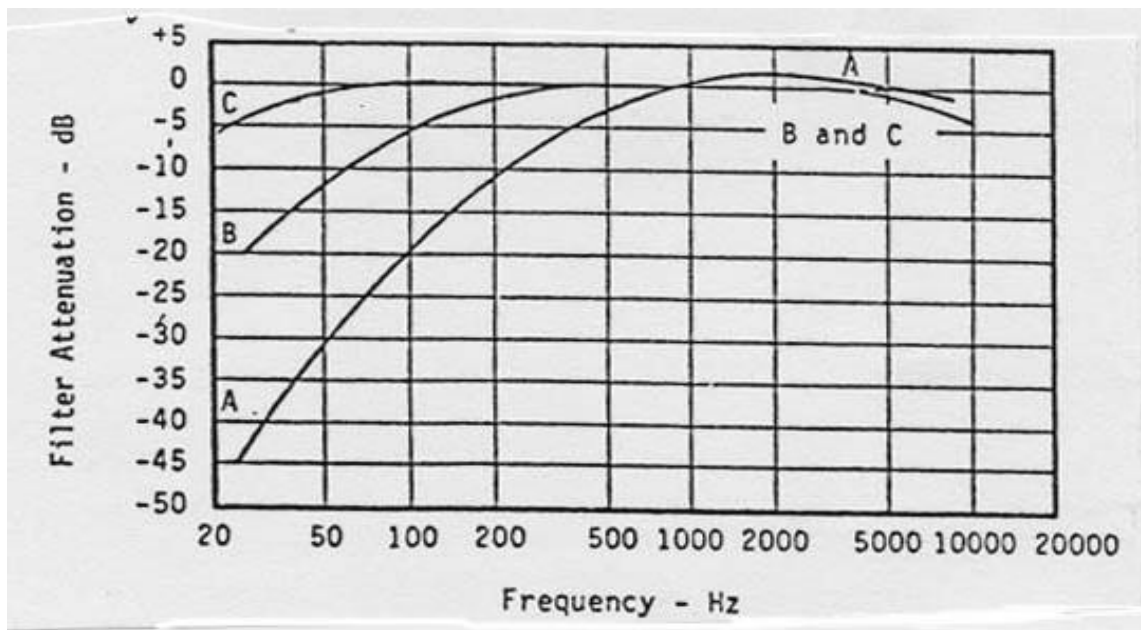
Níveis ponderados, níveis de banda e níveis de espectro

Níveis de ruído associados com fontes diversas de som são geralmente medidos em função da frequência. O espectro em frequência de um ruído é um gráfico do NPS para cada frequência no intervalo de interesse.

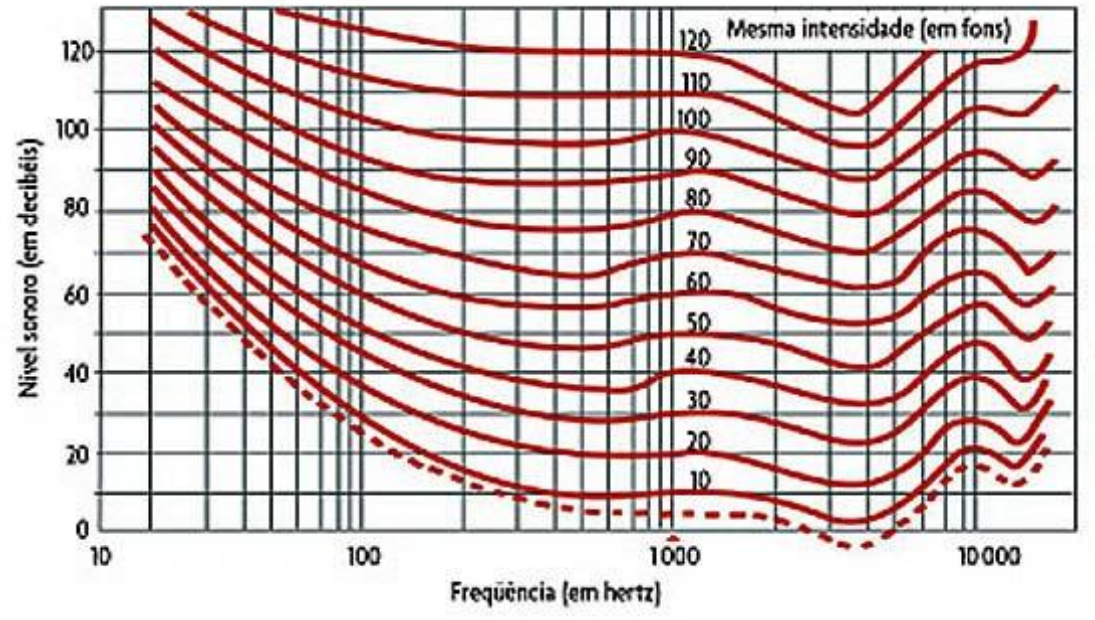
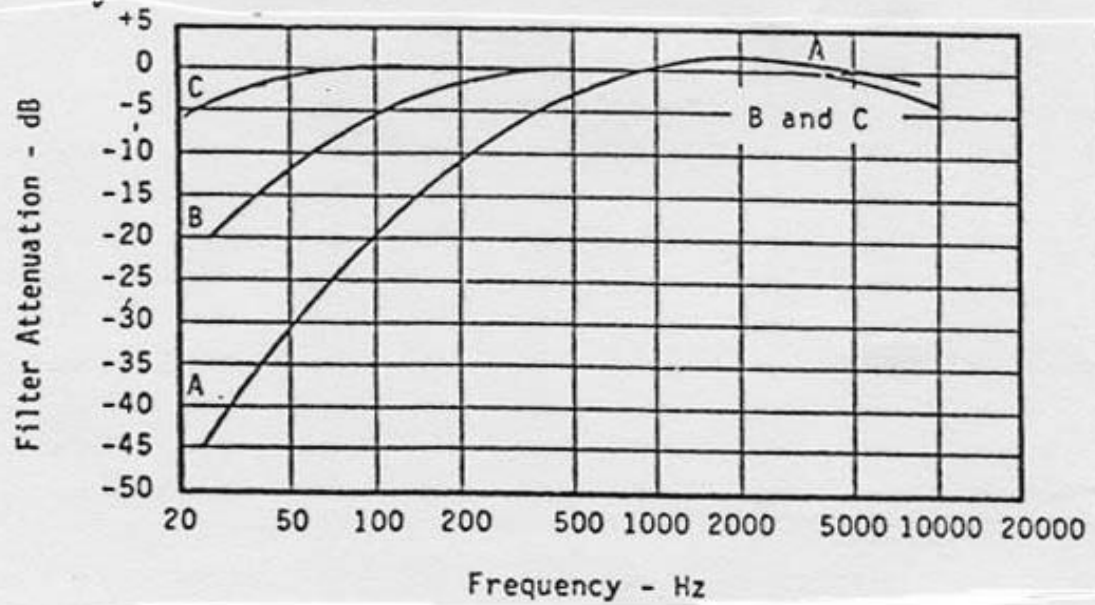


Níveis ponderados, níveis de banda e níveis de espectro

A maioria das fontes de ruído radia energia sonora em um amplo espectro de frequências. Então, faz-se uma “filtragem” do som em diferentes regiões. As redes ponderadas são chamadas A, B, & C.



<http://www.mat.ufrgs.br/~portosil/passa1f.html>

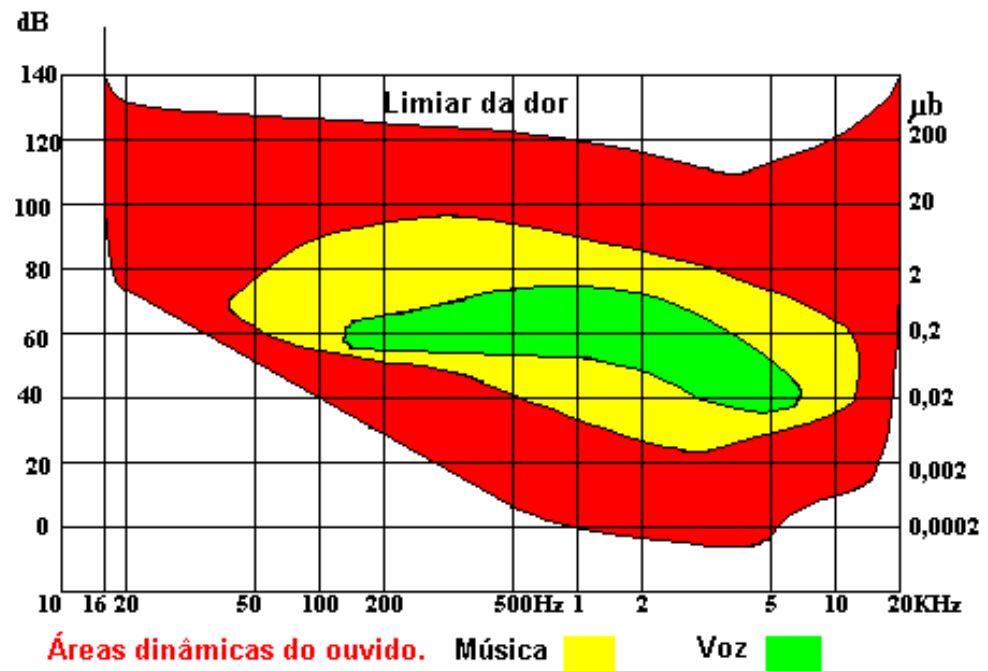


Níveis ponderados, níveis de banda e níveis de espectro

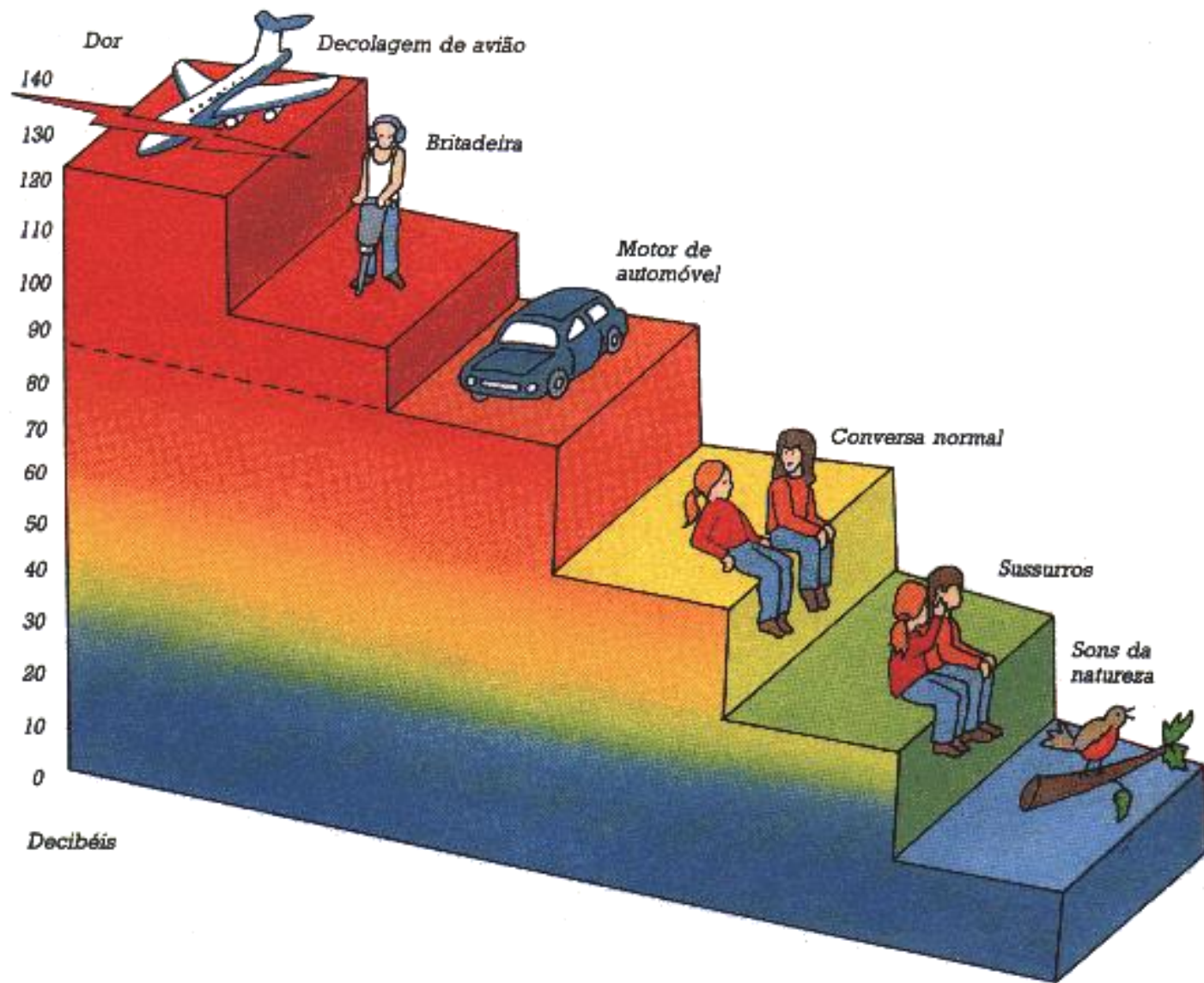
- Os NPSs em diferentes frequências são medidos. A função peso (A, B, C, ou F) é então aplicada aos NPSs medidos.
- Para o peso tipo A, as atenuações em baixas frequências são maiores. Isso corresponde a falta de sensibilidade do ouvido humano para os sons de baixas frequência. Sendo assim, se a diferença entre um NPS ponderado tipo A (em dB A) e um NPS ponderado tipo C (em dB C) é grande, o ruído é composto basicamente de frequências mais baixas do que 1 kHz.

Áreas Dinâmicas da Audição

- As áreas dinâmicas de audição são mostradas na figura abaixo. A linha superior é o limiar da dor, a diferentes frequências. A linha inferior é o limiar da audibilidade.



<http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/ondas2/ondas2.html>



Audiograma de sons familiares

