

# Medidas da Onda Sonora

---

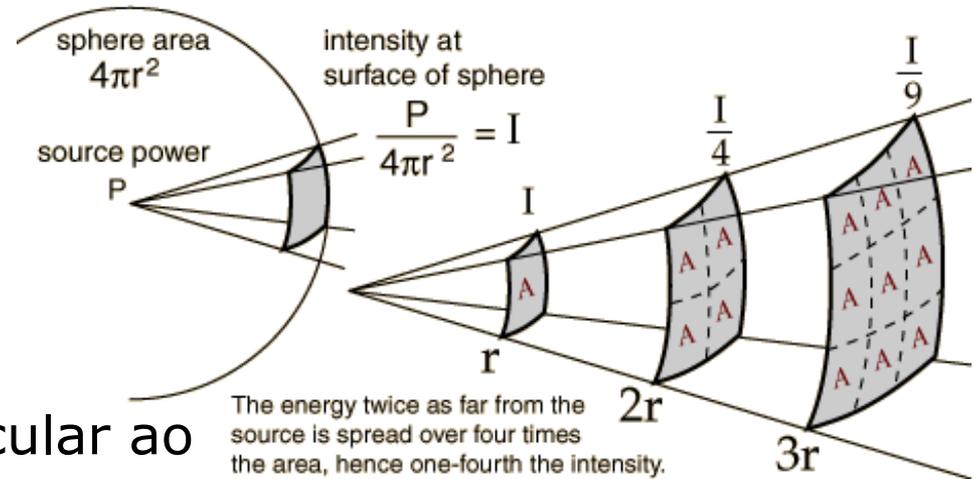
▪ **Prof. Theo Z. Pavan**

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<sup>-2</sup>] e no sistema CGS a pressão é dada em [dyna\*cm<sup>-2</sup>].

# Níveis sonoros

FONTES DE RUÍDO	Intensidade (Watt/m <sup>2</sup> )
	$10^2$
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/m<sup>2</sup> (ou seja, 0,0000000000001 W/m<sup>2</sup>) até intensidades tão altas quanto 100 W/m<sup>2</sup>.

# 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:

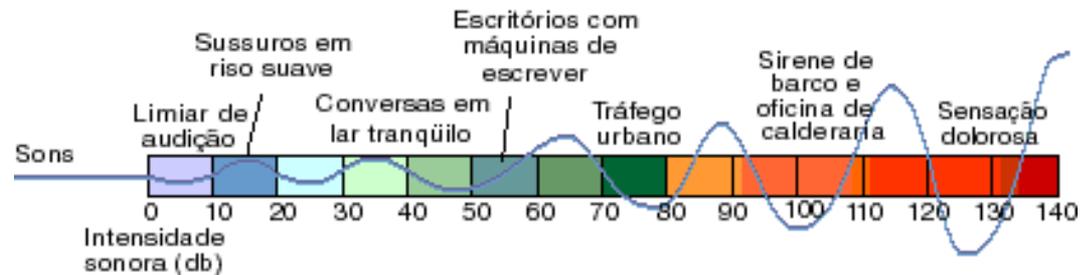
$$S = K \log E/E_{\text{ref}}$$

onde:  $S$ : Sensação auditiva

$K$ : Constante de proporcionalidade

$E$ : Estímulo

$E_{\text{ref}}$ : 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  $10^{-12}\text{W/m}^2$  ( $10^{-16}\text{W/cm}^2$ ) por ser esta a mínima intensidade sonora audível por um indivíduo otologicamente normal e utilizando-se  $K=10$ , temos:

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

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

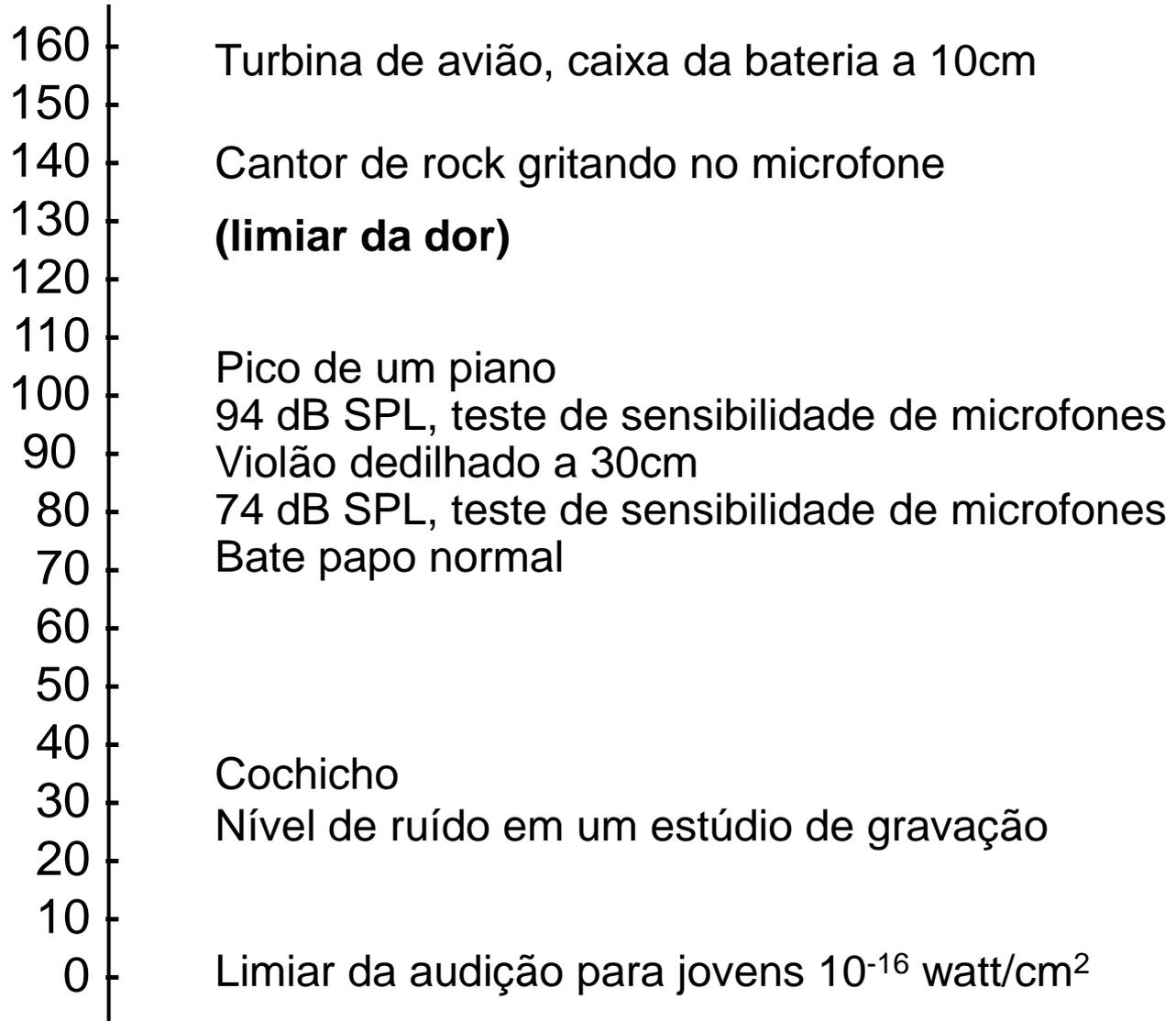
# Potência de uma onda sonora

- 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/m<sup>2</sup> (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  $10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$  até  $100 \text{ Wm}^{-2}$ .

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  $\text{Wm}^{-2}$

$I_0$  – Intensidade de referência, normalmente  $10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$ , 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:

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

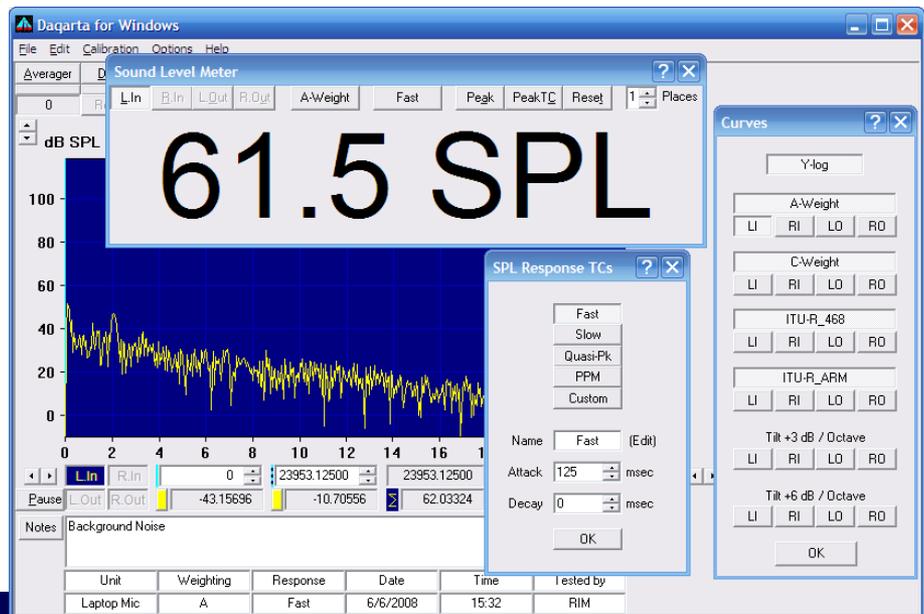
(Note que a fórmula para a escala usa  $20 \log$  em vez de  $10 \log$ , já que a intensidade é proporcional ao quadrado da amplitude de pressão.)

# 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

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

# Exemplo

- Se dois violinos produzem sons com SPL ou NPS de 50dB (referência=  $20 \times 10^{-6}$  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  $\log 3,1623=10$  !!

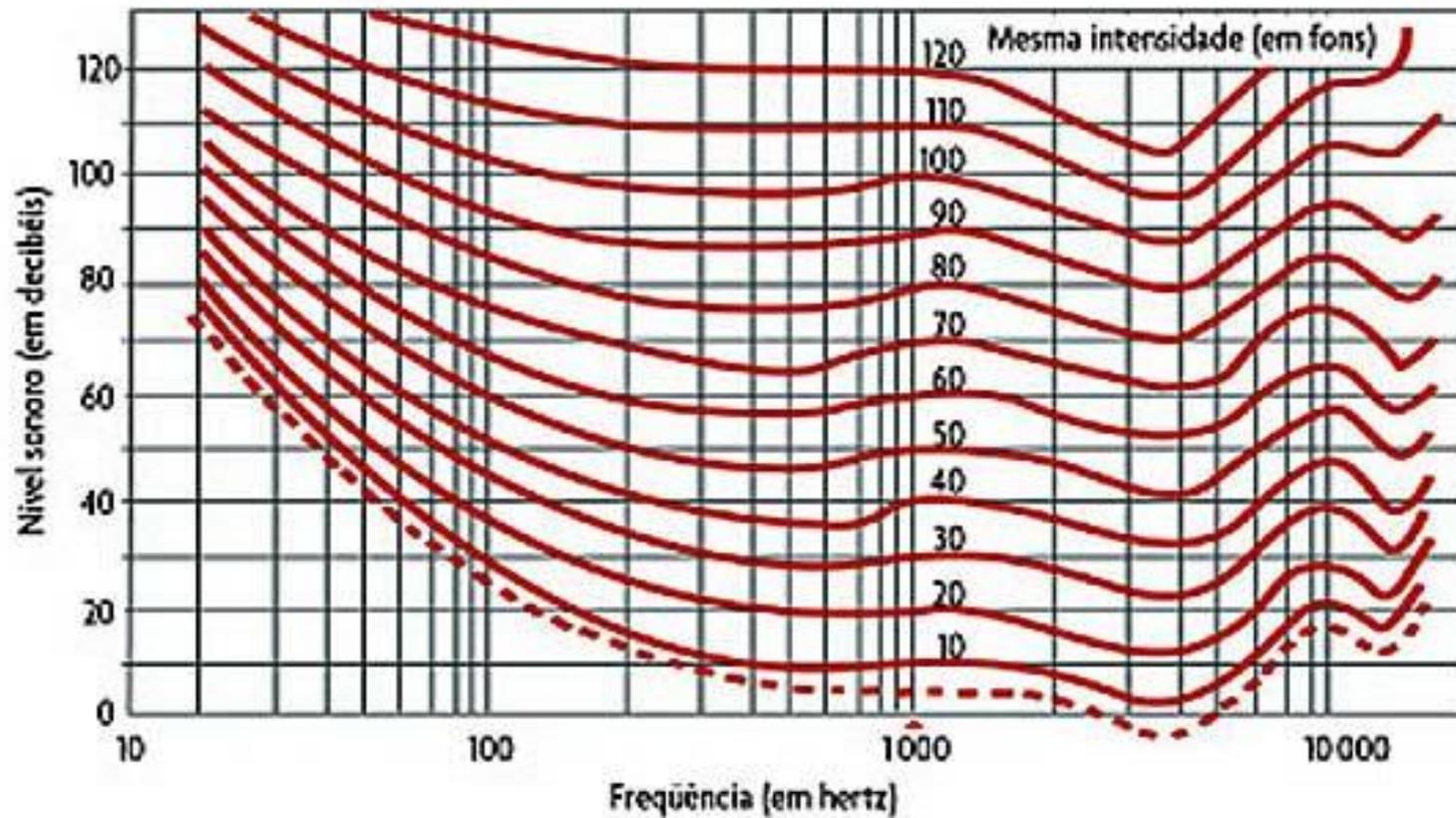
# Qualidade de um som

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

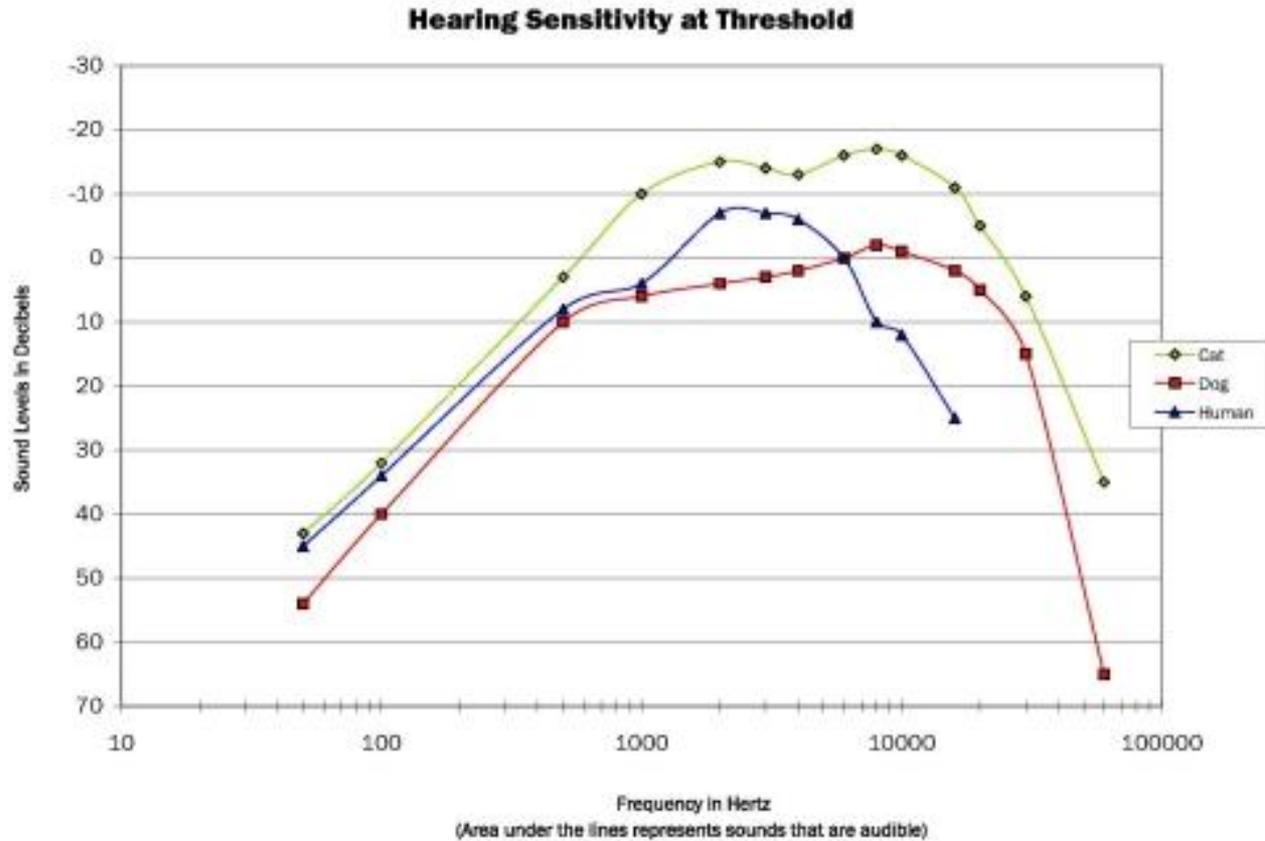
# Sensação sonora

- 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

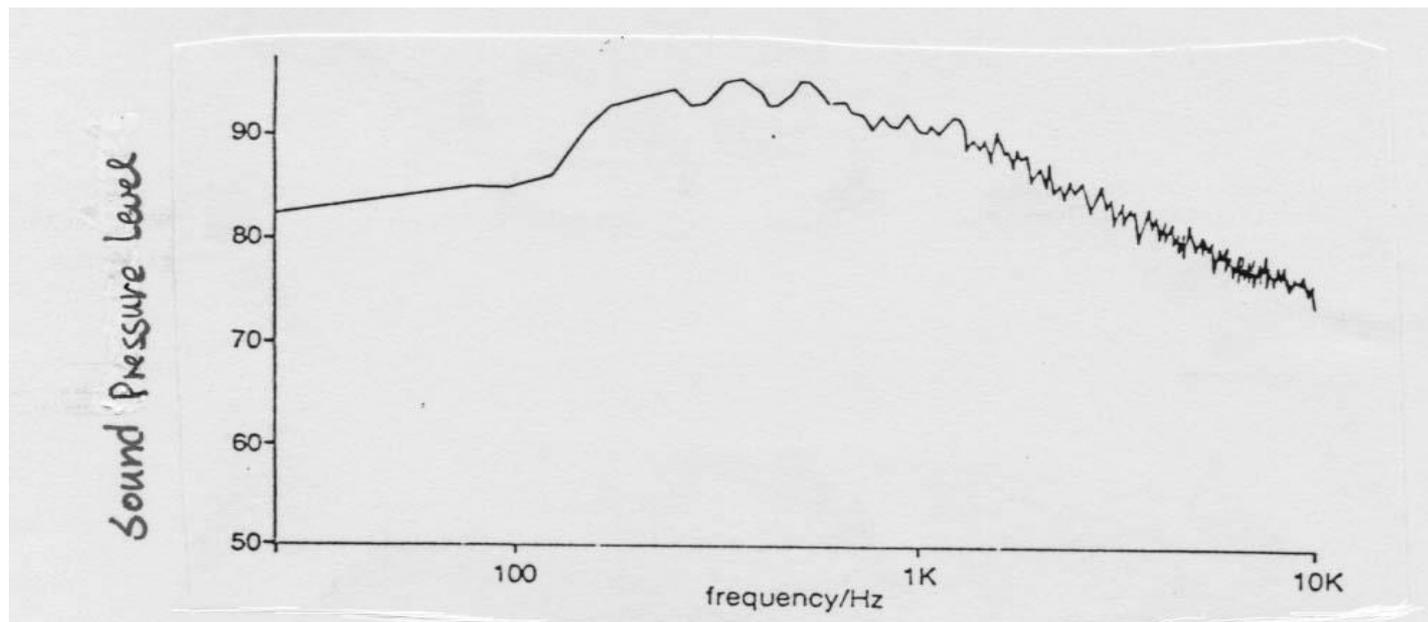


# Limiar de audição



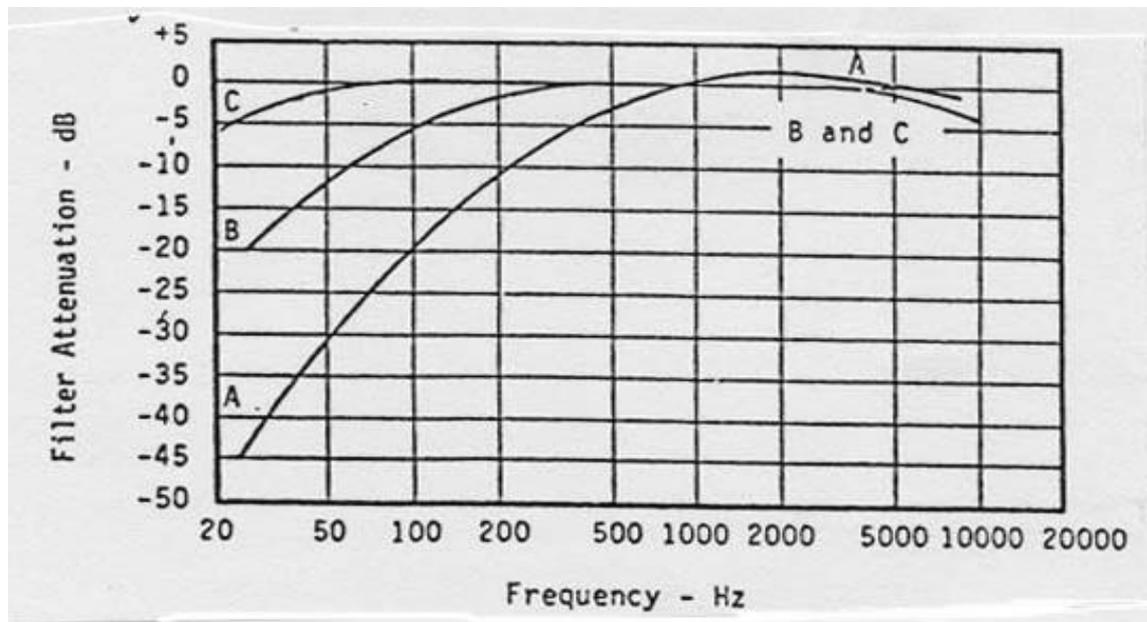
# Níveis ponderados, níveis de banda e níveis de espectro

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.

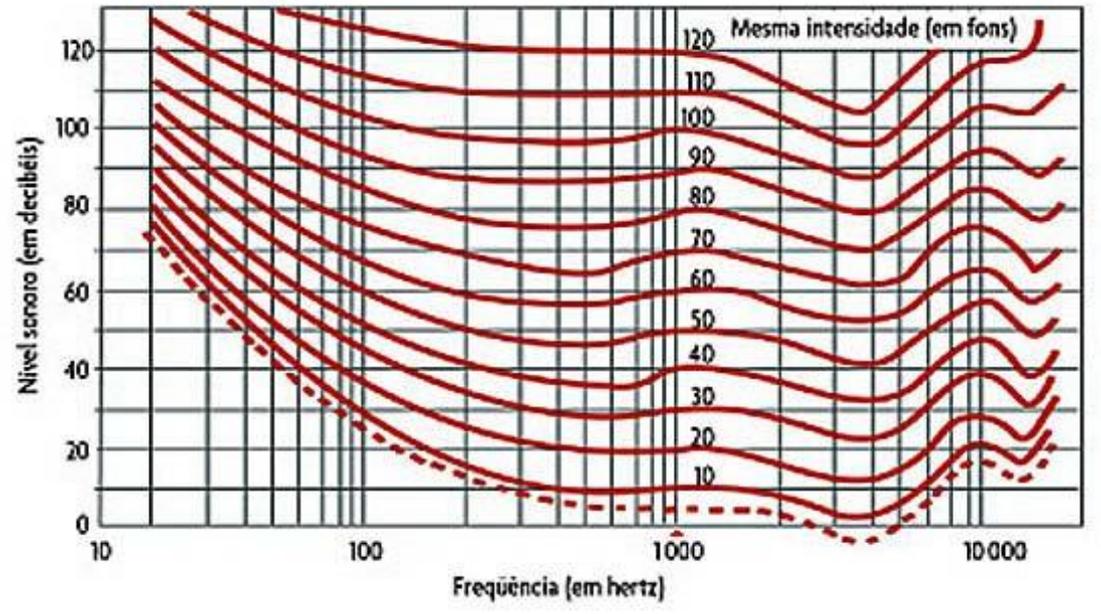
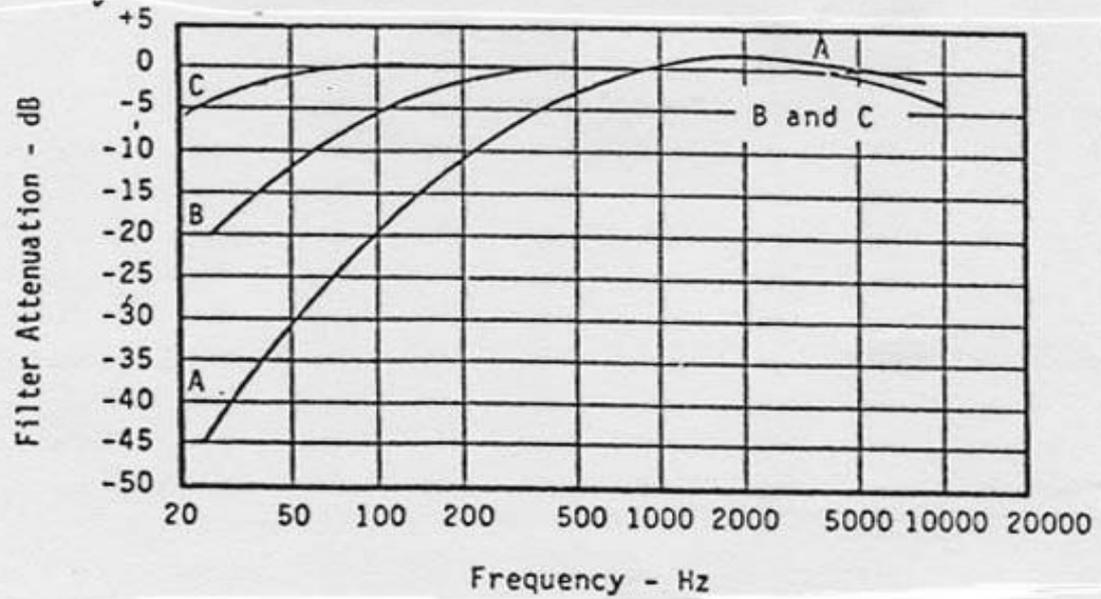


# Níveis ponderados, níveis de banda e níveis de espectro

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>

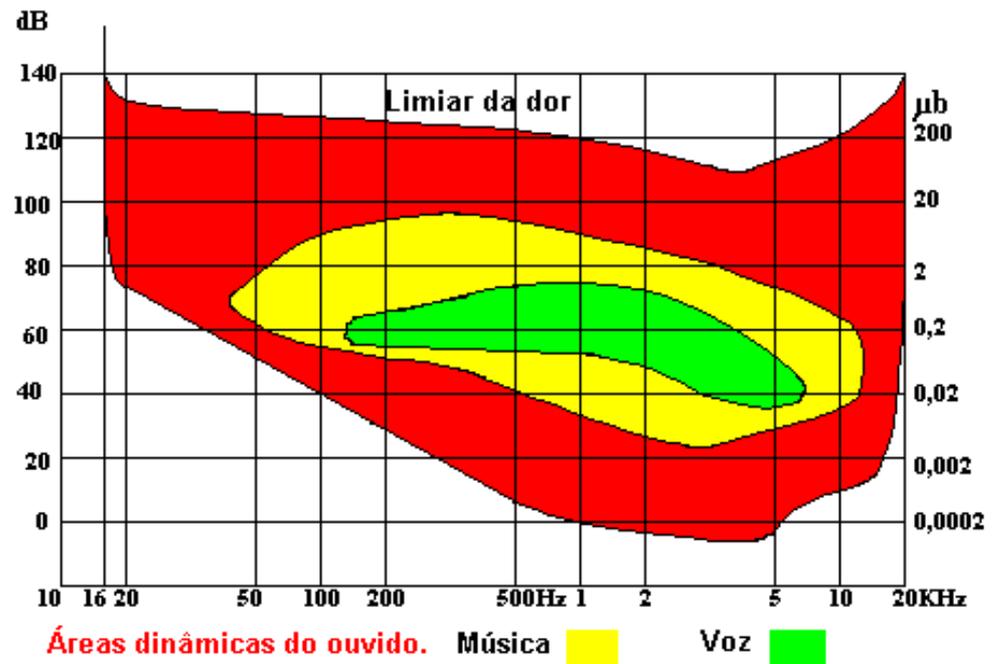


# Níveis ponderados, níveis de banda e níveis de espectro

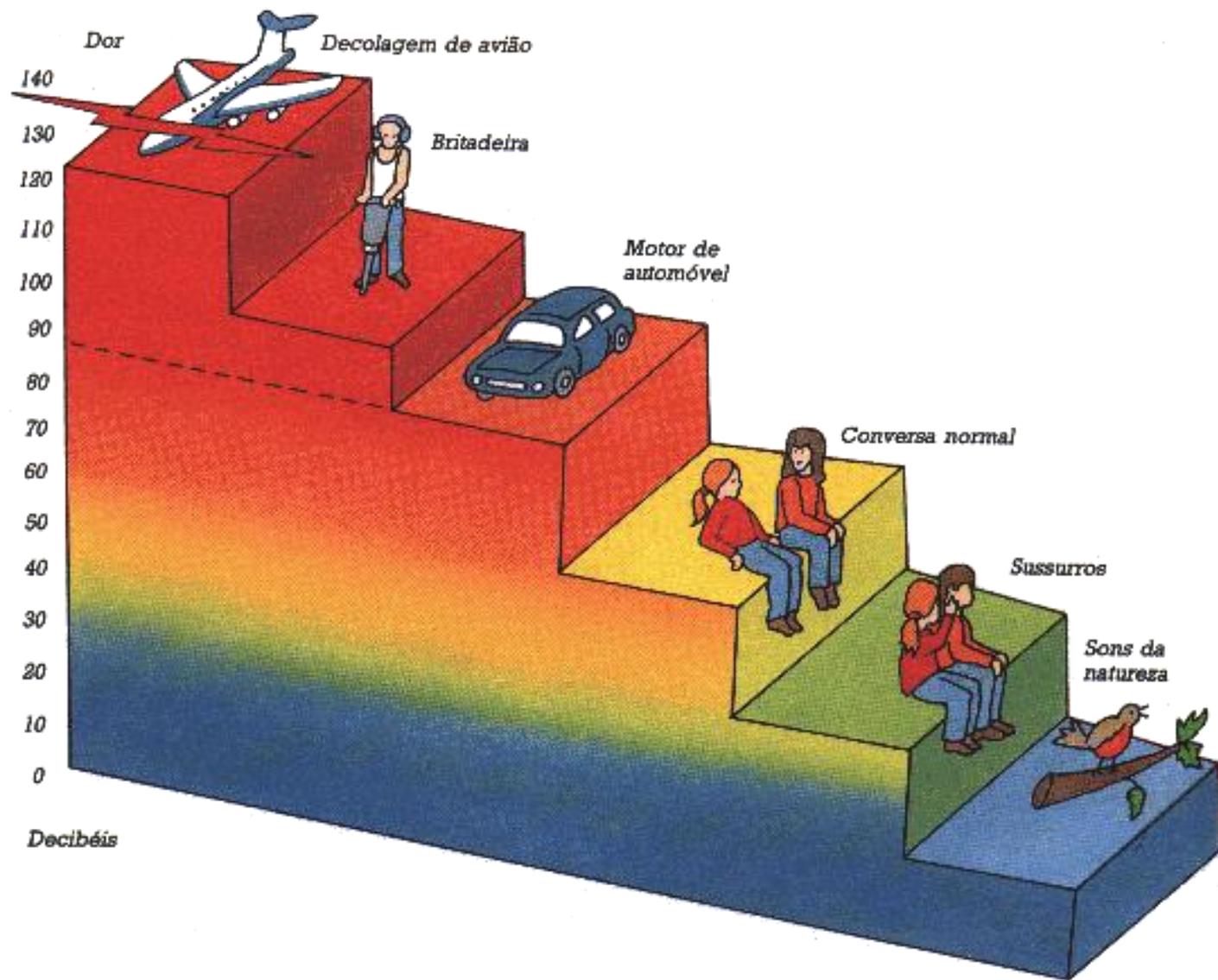
- Os NPSs em diferentes frequências são medidos. A função peso (A, B, C, ou F) é então aplicada aos NPSs medidos.
- Para o peso tipo A, as atenuações em baixas frequências são maiores. Isso corresponde a falta de sensibilidade do ouvido humano para os sons de baixas frequência. Sendo assim, se a diferença 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

