

## Acústica Física



2014

Pedro Menezes - 2014

## Movimento Vibratório e Ondulatório

### Classificação das ondas

- Natureza
  - Ondas Mecânicas
  - Ondas Eletromagnéticas
- Modo de vibração
  - Transversais
  - Longitudinais
- Dimensão
  - Unidimensionais
  - Bidimensionais
  - Tridimensionais

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Natureza das ondas

- **Ondas mecânicas** : Resultam de deformações provocadas em meios materiais elásticos. Por isso, as ondas mecânicas não se propagam no vácuo, apenas na matéria .

Exemplos :

Ondas em cordas, ondas na superfície de um líquido, ondas sonoras, etc.

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Natureza das ondas

- **Ondas eletromagnéticas** : Resultam de vibrações de cargas elétricas, transportando energia sob a forma de quanta (pacotes de energia). Por isso, as ondas eletromagnéticas propagam-se no vácuo e em alguns meios materiais.

Exemplos :

Ondas luminosas (luz), ondas de rádio ou TV, microondas, raios X , etc.

Pedro Menezes - 2014

**Movimento vibratório e ondulatório**

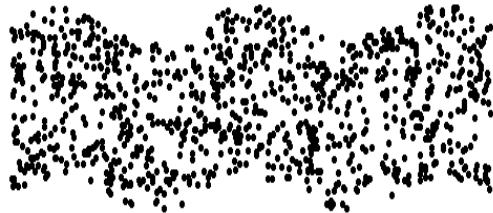
**Modo de vibração das ondas**

- **Ondas transversais** : Ondas em que a direção do movimento vibratório é perpendicular à direção de propagação.  
Exemplo: Ondas se propagando-se numa corda.
- **Ondas longitudinais** : Ondas em que a direção do movimento vibratório coincide com a direção de propagação.  
Exemplo :Ondas sonoras propagando-se no ar.

Pedro Menezes - 2014

**Movimento vibratório e ondulatório**

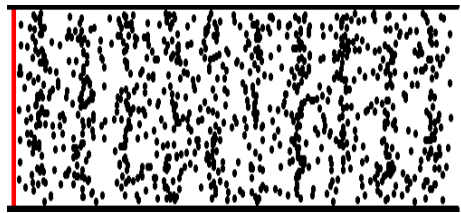
**Modo de vibração das ondas**



Pedro Menezes - 2014

**Movimento vibratório e ondulatório**


**Modo de vibração das ondas**



Pedro Menezes - 2014

**Movimento vibratório e ondulatório**

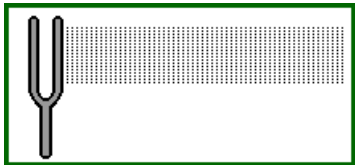
**Modo de vibração das ondas**



Pedro Menezes - 2014

**Movimento vibratório e ondulatório**

**Modo de vibração das ondas**



Pedro Menezes - 2014

**Movimento vibratório e ondulatório**

**Dimensão das ondas**

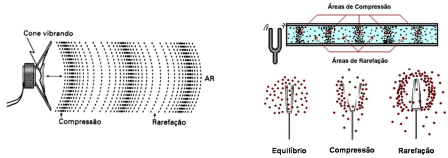
- **Ondas unidimensionais** : A energia propaga-se linearmente, como na corda, que é um meio unidimensional.
- **Ondas bidimensionais** : A energia propaga-se superficialmente, como na superfície da água, que é um meio bidimensional.
- **Ondas tridimensionais** : A energia propaga-se no espaço, que é um meio tridimensional, como as ondas sonoras e as luminosas.

Pedro Menezes - 2014

**Movimento vibratório e ondulatório**

**Ondas Sonoras**

Consiste na alternância regular de pressão num meio elástico que propaga-se como uma onda. As ondas sonoras são ondas mecânicas, longitudinais e tridimensionais.

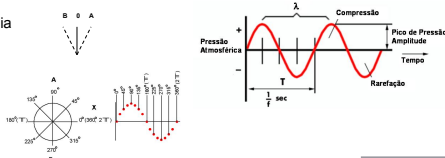


Pedro Menezes - 2014

**Movimento vibratório e ondulatório**

**Dimensões das Ondas Sonoras**

- **Amplitude**  
Medida do deslocamento das partículas de sua posição de equilíbrio  
Máxima  $90^\circ$  e  $270^\circ$   
Mínima  $0^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $360^\circ$   
Medida da força  
Equivalente a pressão
- **Frequência**
- **Período**
- **Fase**



Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Propagação sonora : Tipos de Ondas Sonoras

- **Ondas Periódicas**
  - Repetição de ondas em intervalos de tempo iguais
  - Características de um ciclo duplicadas nos ciclos subseqüentes
    - ONDAS SENOIDAIS
    - ONDAS COMPLEXAS
- **Ondas aperiódicas**
  - Falta de periodicidade
  - Movimentos vibratórios aleatórios, imprevisíveis
    - RUÍDOS

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Freqüência

Freqüência ( $f$ ) é a número de oscilações por segundo do movimento vibratório do som. Para uma onda sonora em propagação, é o número de ondas que passam por um determinado referencial em um intervalo de tempo. Chamando de  $\lambda$  o comprimento de onda do som e  $v$  a velocidade de propagação da onda, pode-se escrever :

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Freqüência

$$\begin{aligned} v &= S / T \\ v &= \lambda / T & \text{mas } T &= 1 / f \\ v &= \lambda \cdot f \end{aligned}$$

Então,

$$f = v / \lambda$$

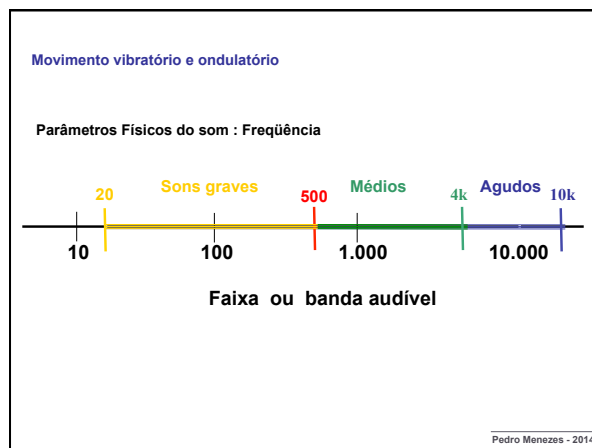
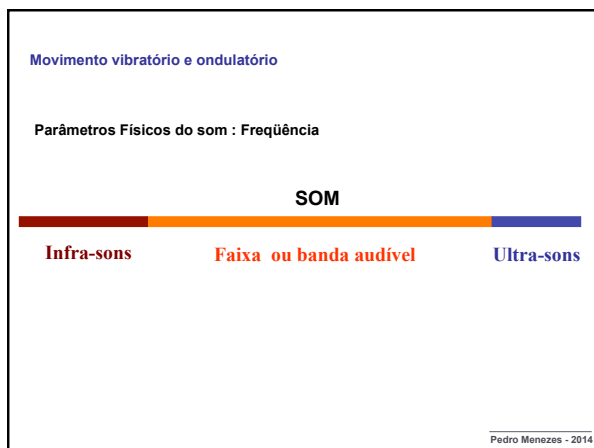
Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Freqüência

A unidade de freqüência (**SI**) é ciclos por segundo, ou **Hertz (Hz)**. Portanto, um som de 20 Hz (com velocidade 347 m/s) tem uma onda de 17,35 m e, um som de 20.000 Hz tem um comprimento de onda de 1,73 cm

Pedro Menezes - 2014



Movimento vibratório e ondulatório

Parâmetros Físicos do som : Freqüência

**Freqüência Fundamental**

As vibrações podem ser decompostas em uma série de senóides simples, cujas freqüências, formadas por números múltiplos inteiros, relacionam-se entre si e a mais baixa delas, é denominada freqüência fundamental ( $F_0$ ) ou  $F_1$  (já que esta é igual a  $1.F_0$ ).

Pedro Menezes - 2014

Movimento vibratório e ondulatório

Parâmetros Físicos do som : Freqüência

Os demais múltiplos inteiros superiores  $F_2$  ( $2.F_0$ ),  $F_3$  ( $3.F_0$ ),  $F_4$  ( $4.F_0$ ) etc são denominados tons harmônicos ou freqüências harmônicas.

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Freqüência

##### Oitava

Os intervalos entre os sons de 100 e 200 Hz, 200 e 400 Hz, 400 e 800 Hz parecerão iguais aos nossos ouvidos.

- Por este motivo quando a razão entre as freqüências é de dobro ou de metade dá-se o nome de oitava.
  - 250 Hz é uma oitava acima de 125 Hz
  - 500 Hz são duas oitavas acima de 125 Hz
  - 2000 Hz é uma oitava abaixo de 4000 Hz
  - 750 Hz é interoitava entre 500 Hz e 1000 Hz

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Freqüência

Esta é a razão que intervalos entre as notas **DÓ** sucessivas de um teclado de piano parecem sempre iguais, constituindo o intervalo de uma oitava. Em qualquer representação (figuras ou gráficos) colocamos a freqüência em escala logarítmica, por ser a forma que mais se aproxima da sensação do nosso ouvido.

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Freqüência

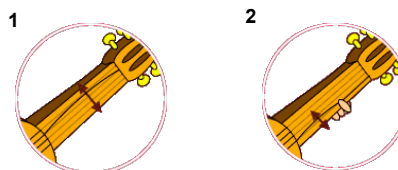
	DÓ	RE	MI	FÁ	SOL	LÁ	SI	DÓ
Freqüência	f	$\frac{9f}{8}$	$\frac{5f}{4}$	$\frac{4f}{3}$	$\frac{3f}{2}$	$\frac{5f}{3}$	$\frac{15f}{8}$	2f

UT queant laxis	– Dó	– C	264 (valores em Hz)
REsonare fibris	– Ré	– D	297
Mira gestorum	– Mi	– E	330
FAmuli tuorum	– Fá	– F	352
SOLve polluti	– Sol	– G	396
LABii reatum	– Lá	– A	440
Sancte Iohanes	– Si	– B	495

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Freqüência



Qual nota tem maior freqüência?

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Intensidade

A intensidade do som é a quantidade de energia contida no movimento vibratório. Essa intensidade se traduz com uma maior ou menor amplitude na vibração ou na onda sonora. Para um som de média intensidade essa amplitude é da ordem de centésimos de milímetros.

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Intensidade

A **intensidade** de um som pode ser medida através de dois parâmetros :

- A **energia** contida no movimento vibratório ( **$W/m^2$** )
- A **pressão do ar** causada pela onda sonora ( **$Pa = 1 N/m^2$** )

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Intensidade (Energia)

A energia contida num fenômeno sonoro é desprezível:

Um grito de "gol" de um estádio de futebol lotado, mal daria para aquecer uma xícara de café.

A energia da voz de toda a população de uma cidade como Olinda seria suficiente apenas para acender uma lâmpada de 60 Watts.

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Intensidade (Energia)

- ENERGIA
  - Algo que possa produzir mudanças na matéria
    - ← • →
      - Partícula sob ação da onda sonora
  - Energia consumida - Trabalho realizado
- SOM
  - Transferência de energia em um meio elástico
- PROPAGAÇÃO DO SOM
  - Transmissão de energia

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Intensidade (Pressão)

- Pressão
  - Quantidade de força vetorial por unidade de área
  - Medida da magnitude ou amplitude da onda senoidal
  - Medida da pressão sonora.
    - daPa (10Pa) ou  $\mu\text{Pa}$  ( $10^{-6}$  Pa) ou dB (NPS)
  - Ondas de pressão superior (condensação) e inferior (rarefação) à pressão atmosférica

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Intensidade

##### Valor de referência:

**Fixou-se a menor intensidade sonora audível.**

**Esse valor (média da população) foi de:**

**Para intensidade (energia) =  $10^{-12}$  w/m<sup>2</sup>**

**Para pressão = 20  $\mu\text{Pa}$**

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Intensidade

1



2



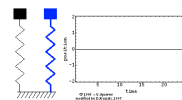
Qual som tem maior intensidade?

Pedro Menezes - 2014

### Movimento vibratório e ondulatório

#### Parâmetros Físicos do som : Intensidade (Amortecimento)

Ação de força friccional ou dissipativa em um sistema dinâmico causando perdas de energia e redução da amplitude dos movimentos. Em materiais "naturais", sabe-se que a deformação elástica, nunca retoma suas características iniciais, ou seja, existe uma perda, ou "absorção".



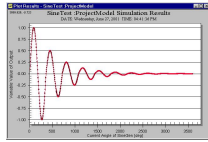
Pedro Menezes - 2014



**Movimento vibratório e ondulatório**

**Parâmetros Físicos do som : Intensidade (Amortecimento)**

Assim uma pressão inicial na fonte de transmissão é "abrandada" com o percurso . A atenuação é o decréscimo da intensidade (energia sonora) com a distancia .



Pedro Menezes - 2014

**Movimento vibratório e ondulatório**

**Parâmetros Físicos do som : Intensidade (Amortecimento)**

- Diminuição da amplitude da vibração em função do tempo
  - Energia Cinética - Energia Térmica
    - ET - energia sonora dissipada → amplitude ↓
  - Resistência Friccional ou Fricção
    - Causada pela massa do ar
    - Oposição ao movimento
    - ↓ velocidade - ↓ amplitude
    - Impedimento do movimento vibratório indefinido

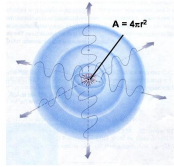
Pedro Menezes - 2014

**Movimento vibratório e ondulatório**

**Parâmetros Físicos do som : Amortecimento com a distância**

**Energia sonora**

- Esférica
- Decai proporcional ao inverso do quadrado da distância



•  $I = E/t.A = E/t.4\pi r^2$

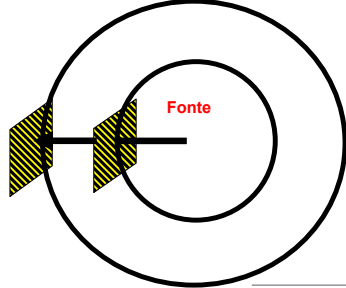
Pedro Menezes - 2014

**Movimento vibratório e ondulatório**

**Parâmetros Físicos do som : Amortecimento com a distância**

**Pressão sonora**

- Pontual
- Decai proporcional ao inverso da distância
- $P = \vec{F}/A$  (área fixa)



Pedro Menezes - 2014