

# Ondas

Flaviano Williams Fernandes

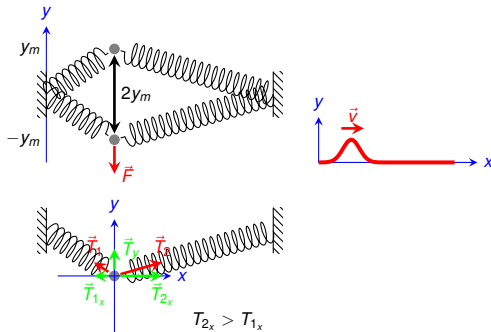
Instituto Federal do Paraná  
Campus Irati

23 de outubro de 2025

# Sumário

- 1 Ondas progressivas
- 2 Fenômenos ondulatórios
- 3 Interferência
- 4 Ondas sonoras
- 5 Aplicações
- 6 Apêndice

## Ondas progressivas numa mola

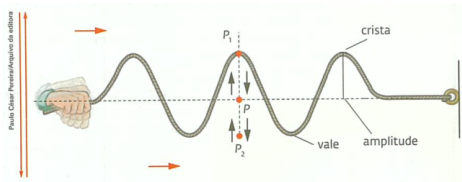


Surgimento de um pulso numa mola.

- ✓ As forças nas direções  $x$  e  $y$  produz um pulso de energia que se propaga na horizontal com velocidade  $\vec{v}$ ;
- ✓ O pulso propaga energia mas não propaga matéria;
- ✓ A força na direção  $y$  produz um movimento harmônico simples que faz oscilar o fragmento da mola de massa  $m$  na vertical.

## Ondas progressivas numa corda (continuação)

Uma onda é formada a partir de uma série de pulsos propagando-se na mesma direção e sentido a cada intervalo de tempo igual ao período de oscilação  $T$ .

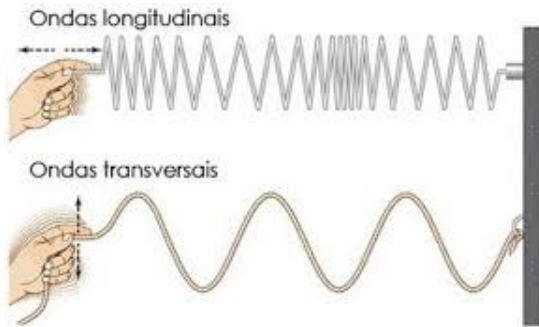


Pulsos se propagando numa corda.

### Corollary

*Uma onda mecânica necessita de um meio material para se propagar.*

## Tipos de ondas progressivas



Diferença entre onda longitudinal e transversal [3].

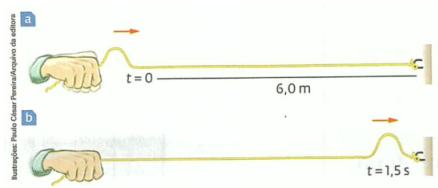
- ✓ Numa onda longitudinal, a direção de oscilação é paralela a direção de propagação dessa onda.
- ✓ Numa onda transversal, a direção de oscilação é perpendicular a direção de propagação dessa onda.

## Velocidade de uma onda progressiva

Se cada pulso percorrer uma distância  $\Delta S$  num intervalo de tempo  $\Delta t$ , a velocidade  $v$  desse pulso será

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}.$$

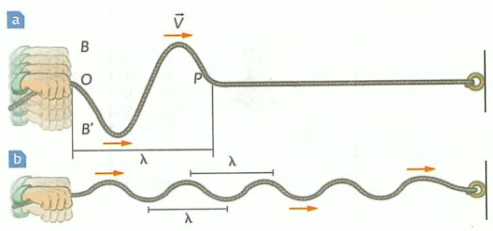
Por exemplo, se  $\Delta S = 6,0 \text{ m}$  e  $\Delta t = 1,5 \text{ seg}$ , a velocidade dessa onda será  $4 \text{ m/s}$ .



### Corollary

*A velocidade de propagação de uma onda numa corda depende da densidade ( $\frac{\text{massa}}{\text{comprimento}}$ ) dessa corda e da tensão aplicada sobre ela.*

## Propriedades de uma onda



- ✓ **Amplitude da onda:** A mesma amplitude da oscilação vertical.
- ✓ **Frequência da onda:** A mesma frequência da oscilação vertical.
- ✓ **Comprimento de onda ( $\lambda$ ):** Distância que a onda percorre durante um período  $T$ .

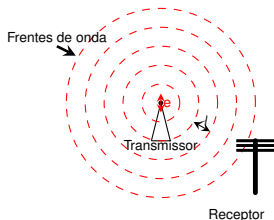
### Corollary

*Sendo  $v$  a velocidade de propagação da onda e  $T$  o período, o comprimento de onda é dado por*

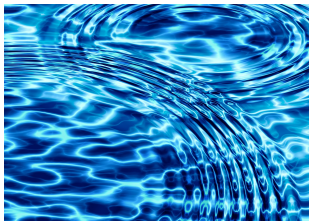
$$\lambda = vT$$

## Ondas progressivas em duas e três dimensões

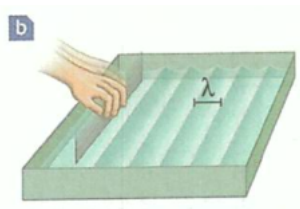
- ✓ As frentes de onda de um pulso eletromagnético são esferas com o centro na origem do pulso.
- ✓ As frentes de onda em um lago são circunferências com o centro na origem do pulso.



Pulso eletromagnético.



Ondas bidimensionais.

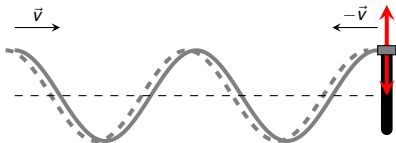


Ondas planas na água.

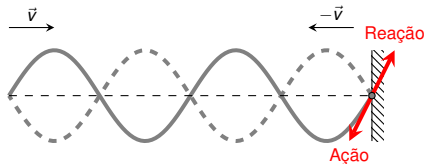


## Reflexão

- ✓ Na extremidade móvel, o pulso é refletido e retorna igual ao pulso incidente;
- ✓ Na extremidade fixa, o pulso é refletido e retorna invertido ao pulso incidente;
- ✓ Numa corda, somente pode existir números inteiros de comprimentos de onda.



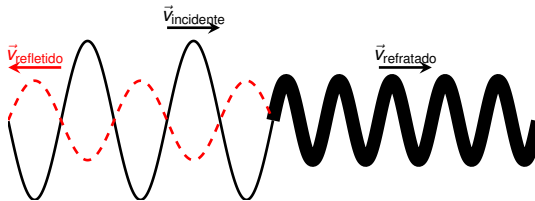
Extremidade móvel. A onda se propaga livremente na corda, e para manter o seu movimento ela é refletida para a esquerda.



Extremidade fixa. Afim de satisfazer a conservação do momento, a onda refletida deve estar em sentido oposto ao onda incidente.

## Refração (meio mais denso)

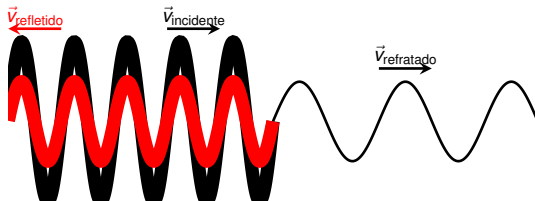
- ✓ A velocidade de uma onda diminui quando ela atravessa o meio 1 (mais fino) para o meio 2 (mais denso);
- ✓ O comprimento de onda também diminui quando ela atravessa um meio mais fino para o mais grosso;
- ✓ Parte do pulso é refratado e parte é refletido de maneira invertida;
- ✓ A frequência é a mesma da fonte geradora do pulso, portanto ela não se altera no processo.



Refração da onda no meio mais denso.

## Refração (meio menos denso)

- ✓ A velocidade de uma onda aumenta quando ela atravessa o meio 1 (mais fino) para o meio 2 (mais denso);
- ✓ O comprimento de onda também aumenta quando ela atravessa um meio mais fino para o mais grosso;
- ✓ A onda é refletida de maneira direta e não invertida;
- ✓ A frequência é a mesma da fonte geradora do pulso, portanto ela não se altera no processo.

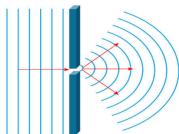


Refração da onda no meio menos denso.

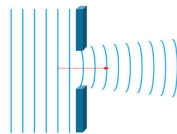
## Difração

### Difração de uma onda

Propriedade que uma onda possui de contornar obstáculos.



Difração em uma fenda pequena [4].



Propagação retilínea em uma fenda grande [4].

### Corollary

*A difração é acentuada se a largura do orifício for muito menor que o comprimento de onda.*

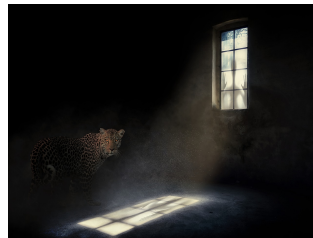
## Difração da luz e ondas sonoras

### Corollary

*O comprimento de onda da luz é muito pequeno, tornando difícil observar fenômenos referentes a difração que podem ocorrer naturalmente.*

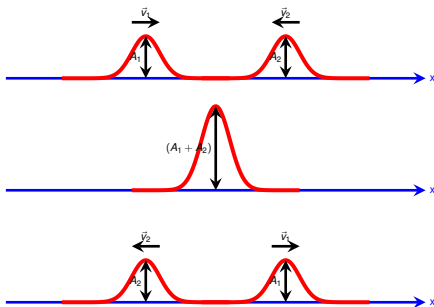


Difração do som numa parede.

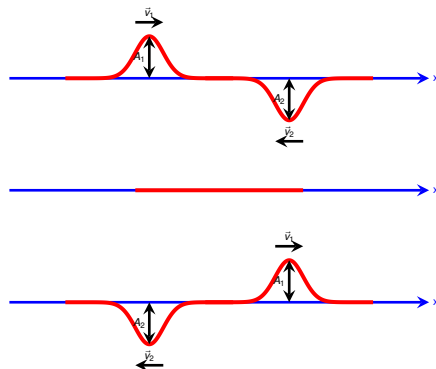


Propagação linear dos raios de luz.

# Interferência



Interferência construtiva.

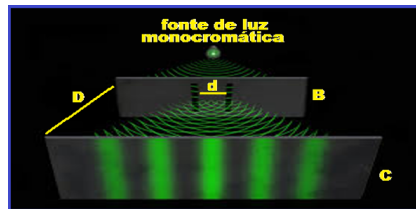


Interferência destrutiva.

## Experiência de Young

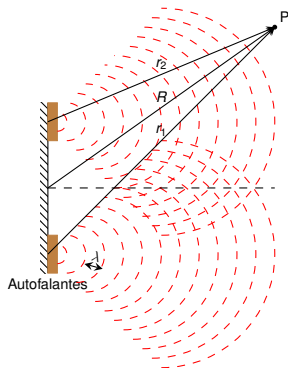
A experiência de Young ou da fenda dupla foi um experimento feito por Thomas Young onde foi possível reforçar o caráter ondulatório da luz. Nele um feixe de luz atravessa duas fendas bem finas. Ao atravessá-las a luz sofre difração e se espalha como ondas circulares. Essas ondas ao se encontrarem sofrerão efeitos de interferência construtiva e destrutiva, que pode ser percebido se colocarmos um filme fotossensível a uma distância fixa das fendas. Nesse filme, regiões onde ocorre interferência construtiva teremos feixes

bem claros, enquanto que nas regiões escuras ocorre interferência destrutiva.

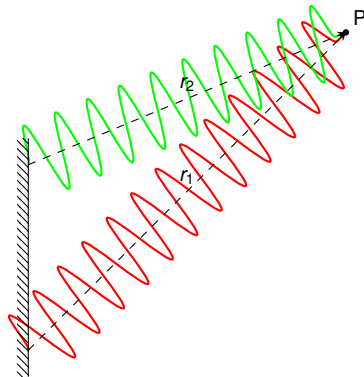


Experiência de Young da fenda dupla.

## Ondas com mesmo comprimento de onda saindo de dois alto-falantes



Superposição de duas ondas esféricas



Representação do caminho da onda



## Interferência construtiva

Teremos interferência construtiva no ponto P se a diferença dos caminhos percorridos pelas duas ondas forem números inteiros de comprimentos de onda, ou seja,

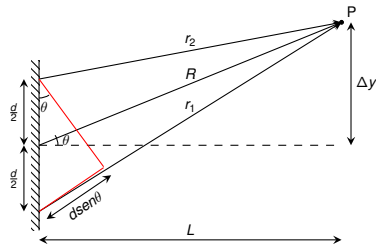
$$r_1 - r_2 = n\lambda, \quad n = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

mas  $r_1 - r_2 = d \sin \theta$ , portanto

$$d \sin \theta = n\lambda, \quad n = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Sabemos também que  $\tan \theta = \frac{\Delta y}{L}$ , se considerarmos  $\tan \theta \approx \sin \theta$  podemos dizer que

$$\Delta y = \frac{nL}{d} \lambda, \quad n = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$



Interferência construtiva no ponto P.

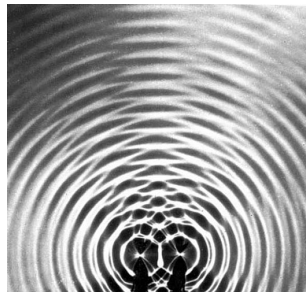
## Interferência destrutiva e a experiência de Young

Teremos interferência destrutiva se a diferença dos caminhos percorridos pelas duas ondas for um valor semi-inteiro do comprimento de onda, ou seja,

$$r_1 - r_2 = \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda, \quad n = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

### Corollary

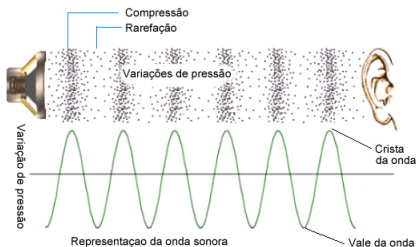
$$r_1 - r_2 = d \sin \theta = \begin{cases} n\lambda, & (\text{Construtiva}) \\ \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda, & (\text{Destrutiva}) \end{cases}$$
$$n = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots$$



Interferencia de ondas na água.

## O que é som

O som é uma onda mecânica longitudinal que se propaga ao longo do meio material (sólido, líquido ou gás), numa frequência entre 20 a 20000 Hz.



Som se propagando da fonte até o ouvido.

### Corollary

*Cada pulso se propaga através da variação de pressão entre as moléculas que compõem a matéria (as moléculas que estão atrás empurram as que estão justamente a frente, e assim a energia do pulso se propaga no meio).*

## Propriedades de uma onda sonora

### Qualidades usadas para distinguir o som

- ✓ **Intensidade**: Energia média transmitida por unidade de tempo e área (depende da amplitude da onda sonora).
- ✓ **Altura**: Sensação que permite distinguir entre sons graves e agudos (diretamente associado com a frequência da onda).
- ✓ **Timbre**: Capacidade de distinguir sons de mesma altura (frequência) e intensidade em instrumentos diferentes (coloração do som).

### Corollary

*A velocidade da onda sonora no ar é 340 m/s e aumenta com a temperatura, além do mais, já é conhecido que  $v_{\text{sólido}} > v_{\text{líquido}} > v_{\text{gás}}$ .*

## Altura

A característica física de uma onda sonora associada a altura é a frequência.

Notas musicais (Hz).

Nota	Dó	Ré	Mi	Fá	Sol	Lá	Si	Dó
Freq.	264	297	330	352	396	440	495	528

### Corollary

- ✓ *Um som grave possui baixa frequência (som baixo), enquanto que um som alto possui alta frequência (som alto);*
- ✓ *Infrassons são ondas sonoras cuja frequência estão abaixo de 20 Hz enquanto que ultrassons estão acima de 20000 Hz.*

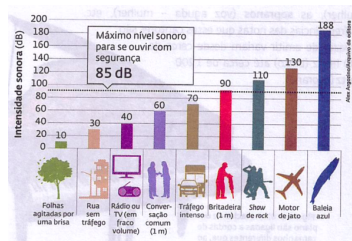
## Intensidade de uma onda sonora

A intensidade de uma onda é definida como

$$I = \frac{1}{A} \left( \frac{\Delta E}{\Delta t} \right).$$

No SI usa-se a unidade  $[I] = \frac{W}{m^2}$  mas na prática usa-se decibéis (dB),

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



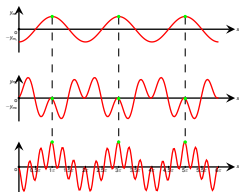
Intensidades sonoras de alguns objetos.

### Corollary

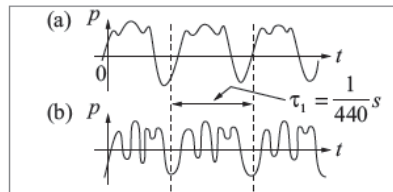
$I_0$  é a mínima intensidade perceptível por uma pessoa ( $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ ).

## Timbre

Embora com perfis diferentes, o ouvido humano pode perceber duas ondas sonoras periódicas de mesma frequência.



Três ondas com a mesma frequência.



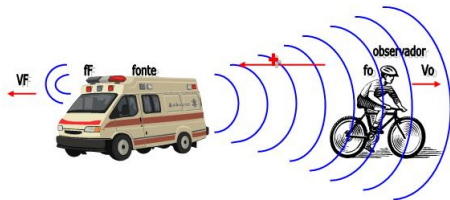
Nota Lá tocada por dois instrumentos.

### Corollary

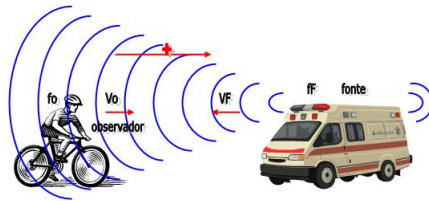
*A característica que distingue um som musical de um ruído é a periodicidade.*

## Efeito Doppler

A frequência do som que o observador poderá ouvir muda dependendo das velocidades da fonte e do observador.



Frequência grave ouvida pelo observador [5].



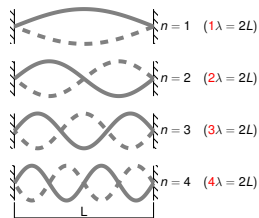
Frequência aguda ouvida pelo observador [5].



## Cordas vibrantes



Ondas na corda do violão.



Modos normais de vibração.

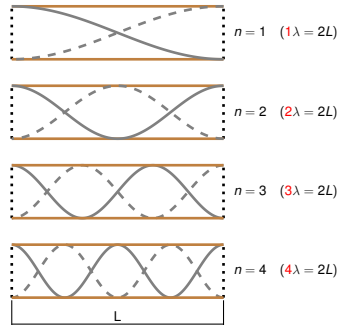
### Corollary

*À partir da tensão aplicada, densidade e o comprimento da corda, é possível gerar uma onda com frequência bem definida.*

## Tubo sonoro



Órgão musical [2].









Modos normais no tubo sonoro.

## Alfabeto grego

Alfa	$A$	$\alpha$	Ni	$N$	$\nu$
Beta	$B$	$\beta$	Csi	$\Xi$	$\xi$
Gama	$\Gamma$	$\gamma$	ômicon	$O$	$o$
Delta	$\Delta$	$\delta$	Pi	$\Pi$	$\pi$
Epsílon	$E$	$\epsilon, \varepsilon$	Rô	$P$	$\rho$
Zeta	$Z$	$\zeta$	Sigma	$\Sigma$	$\sigma$
Eta	$H$	$\eta$	Tau	$T$	$\tau$
Teta	$\Theta$	$\theta$	Ípsilon	$\Upsilon$	$v$
Iota	$I$	$\iota$	Fi	$\Phi$	$\phi, \varphi$
Capa	$K$	$\kappa$	Qui	$X$	$\chi$
Lambda	$\Lambda$	$\lambda$	Psi	$\Psi$	$\psi$
Mi	$M$	$\mu$	Ômega	$\Omega$	$\omega$

## Referências e observações<sup>1</sup>

-  A. Máximo, B. Alvarenga, C. Guimarães, Física. Contexto e aplicações, v.2, 2.ed., São Paulo, Scipione (2016)
-  [http://www.snpcultura.org/vol\\_festival\\_orgao\\_madeira\\_2010.html](http://www.snpcultura.org/vol_festival_orgao_madeira_2010.html)
-  <http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-das-ondas.html>
-  <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-difracao.htm>
-  <https://www.colegioweb.com.br/acustica/efeito-doppler-fizeau.html>
-  [https://fisicaevestibular.com.br/novo/wp-content/uploads/migracao/ondulatoria/young/o\\_df2a6c83e5aea870.html](https://fisicaevestibular.com.br/novo/wp-content/uploads/migracao/ondulatoria/young/o_df2a6c83e5aea870.html)

Esta apresentação está disponível para download no endereço  
<https://flavianowilliams.github.io/education>

---

<sup>1</sup> Este material está sujeito a modificações. Recomenda-se acompanhamento permanente.