



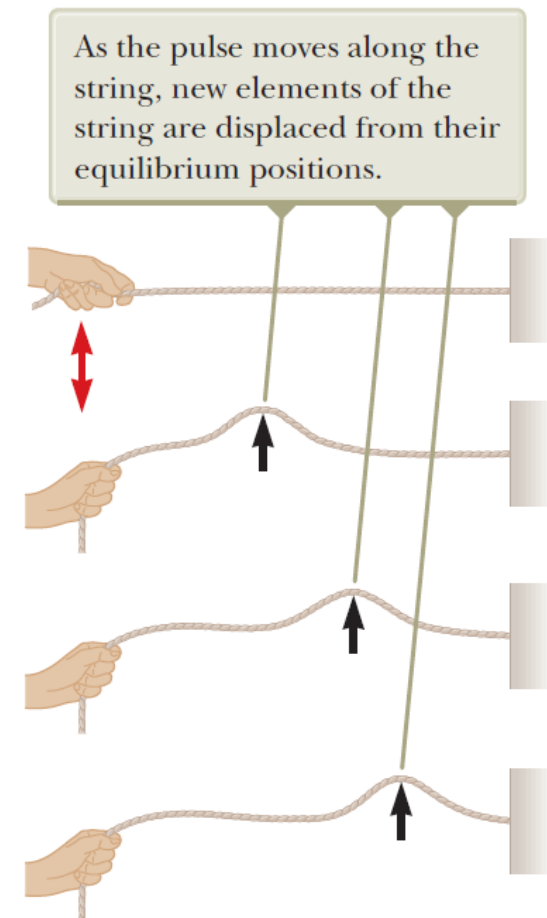
Experiência 6

# ONDAS SONORAS

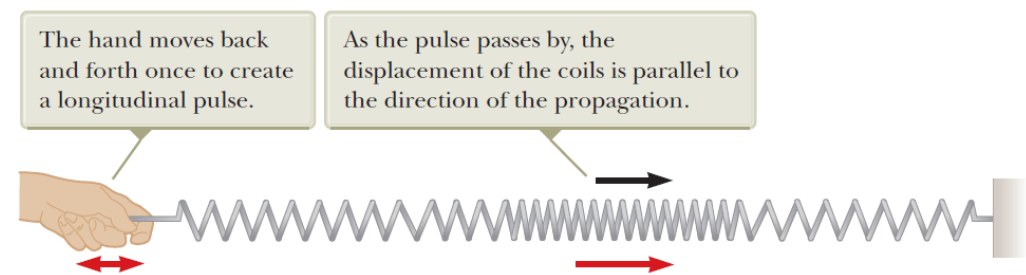
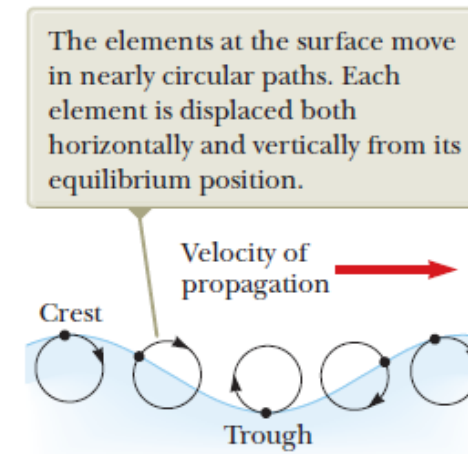


# Propagação de uma perturbação

- Fenómeno ondulatório: transferência de energia, sem transferência de matéria.
- Todas as ondas mecânicas requerem:
  - Uma perturbação inicial;
  - Um meio com elementos que possam ser perturbados;
  - Um mecanismo físico através do qual os elementos do meio possam influenciar-se uns aos outros.
- Se a perturbação for periódica, gera-se uma onda.



- São perturbações periódicas que se deslocam através de um meio.
- Podem ser:
  - Transversais: Os elementos do meio movem-se perpendicularmente à direção de propagação.
  - Longitudinais: Os elementos movem-se paralelamente à direção de propagação da onda.



- A amplitude de oscilação de um elemento do meio,  $y$ , varia com o tempo e com a posição no meio:  $y(x, t)$ .
- No instante de tempo inicial (o início da propagação da onda):

$$y(x, 0) = f(x)$$

- No instante de tempo arbitrário  $t$ :

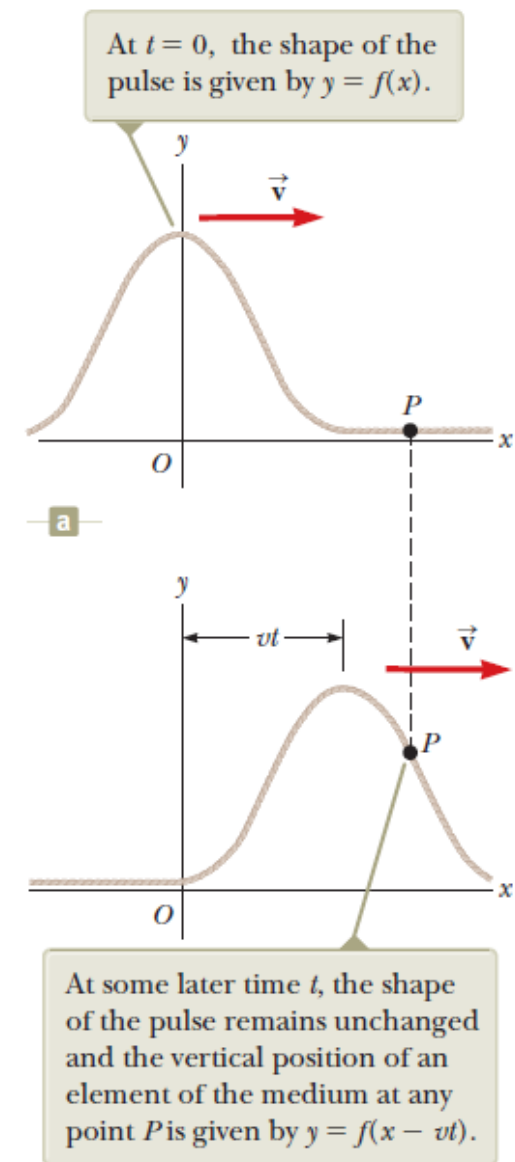
$$y(x, t) = f(x - vt)$$

Onde  $v$  é a velocidade de propagação da onda.

- Para uma onda que se propague para a esquerda:

$$y(x, t) = f(x + vt)$$

- A função  $y$  é a função de onda.



- Para uma onda sinusoidal:

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

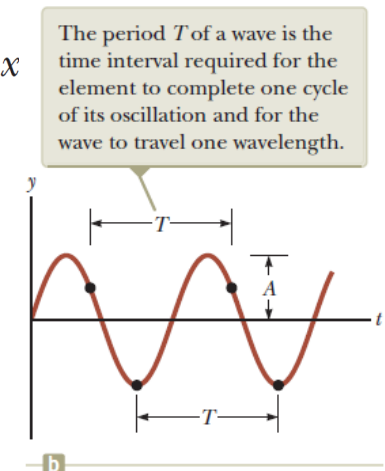
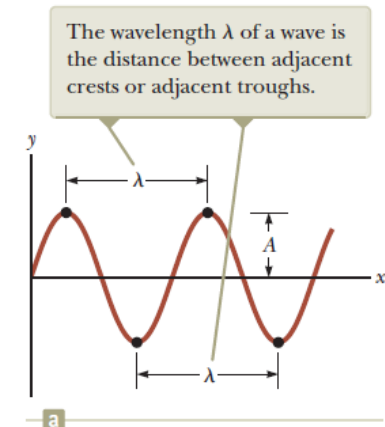
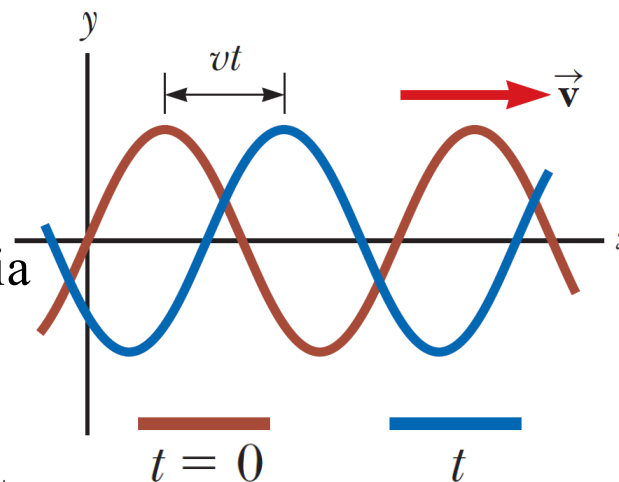
- Onde:  $k = 2\pi/\lambda$  é o número de onda ( $rad/m$ ),  $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$  é a frequência angular ( $rad/s$ ) e  $\varphi$  é a fase (determinada a partir das condições iniciais).

- Nas expressões anteriores usámos:

- Comprimento de onda ( $\lambda$ ): a distância entre dois máximos (ou mínimos) da onda.
- Período ( $T$ ): o intervalo de tempo entre dois máximos, ou mínimos da onda.

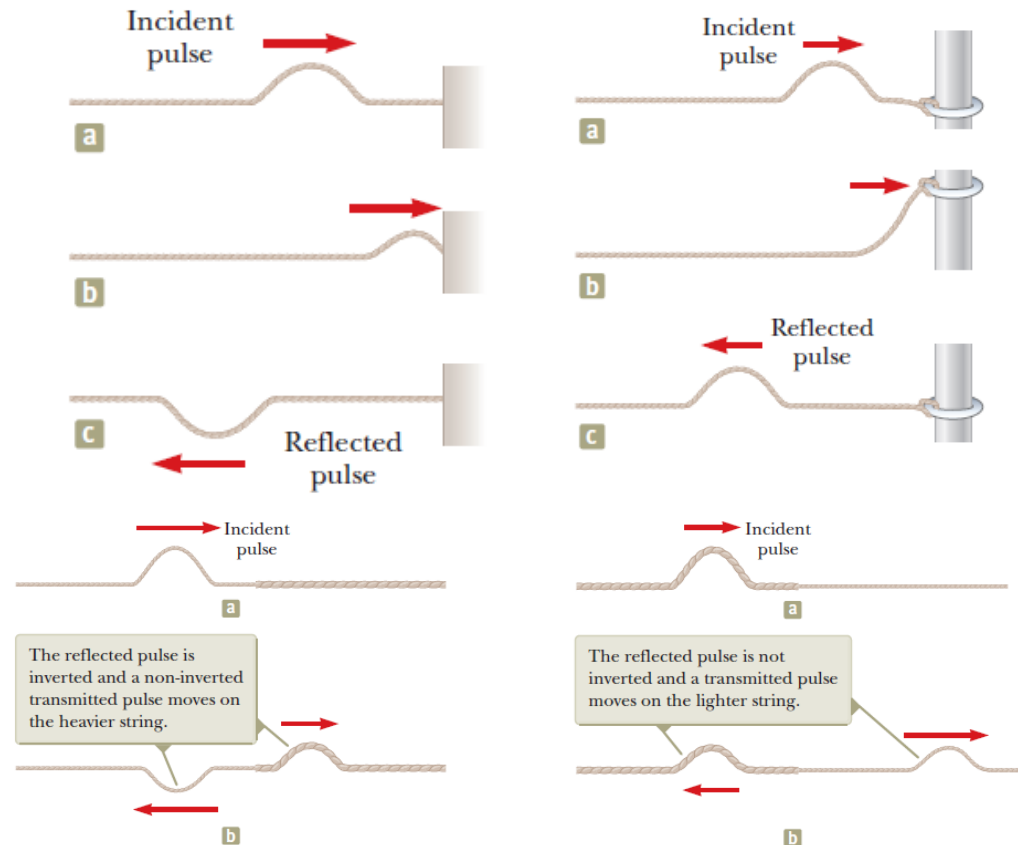
- A velocidade de propagação da onda,  $v$ , é dada por:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$



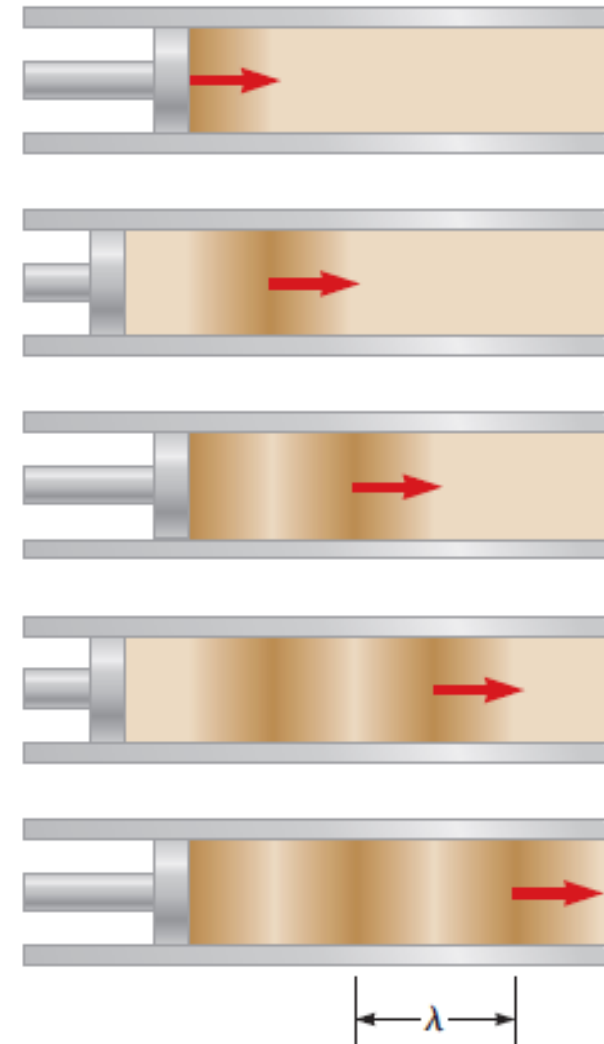
# Reflexão e transmissão de ondas

- Sempre que uma onda atinge um transição entre meios com propriedades físicas diferentes podem ocorrer os seguintes fenômenos:
- Reflexão: A onda é refletida e viaja na direção oposta no meio original.
- Transmissão: Parte da onda continua a propagar-se no novo meio (embora reflexão possa também ocorrer ao mesmo tempo).



- São ondas longitudinais, provocadas por uma perturbação original de partículas num dado meio.
- Numa onda sonora ocorrem alternadamente regiões de aumento da densidade de partículas (compressão), e de diminuição da mesma (rarefação).
- A variação da pressão durante uma onda sonora pode ser escrita como:

$$\Delta P(x, t) = \Delta P_{Max} \sin(kx - \omega t)$$



# Velocidade de propagação de ondas

- Pode-se mostrar que a velocidade de propagação de uma onda sonora é:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

- Onde  $\rho$  é a densidade de partículas no meio e  $B$  é o *bulk modulus* (módulo de volume):

$$\Delta P = -B \frac{\Delta V}{V_i}$$

- A uma temperatura de 20 °C a velocidade de propagação do som no ar é de cerca de 343 m/s.

Medium	$v$ (m/s)
<b>Gases</b>	
Hydrogen (0°C)	1 286
Helium (0°C)	972
Air (20°C)	343
Air (0°C)	331
Oxygen (0°C)	317

Medium	$v$ (m/s)
<b>Liquids at 25°C</b>	
Glycerol	1 904
Seawater	1 533
Water	1 493
Mercury	1 450
Kerosene	1 324
Methyl alcohol	1 143
Carbon tetrachloride	926

Medium	$v$ (m/s)
<b>Solids<sup>a</sup></b>	
Pyrex glass	5 640
Iron	5 950
Aluminum	6 420
Brass	4 700
Copper	5 010
Gold	3 240
Lucite	2 680
Lead	1 960
Rubber	1 600



# Intensidade de uma onda sonora

- A energia transferida por unidade de tempo e por unidade de área (perpendicular à direção de propagação) é a intensidade de uma onda ( $I$ ,  $W/m^2$ ).
- Para uma onda sonora periódica pode-se mostrar que a intensidade é proporcional ao quadrado da frequência angular e ao quadrado da amplitude máxima de deslocamento ( $s_{max}$ ) de uma partícula no meio:

$$I = \frac{1}{2} \rho v (\omega s_{max})^2$$

- Muitas vezes exprime-se a intensidade em decibéis

$$\beta = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

- Onde  $I$  é a intensidade limiar da audição a uma frequência de 1 kHz:  $1.00 \times 10^{-12} W/m^2$

