P.421 Da definição de densidade linear (μ), vem:

$$\mu = \frac{m}{L} \Rightarrow \mu = \frac{600 \cdot 10^{-3}\ \text{kg}}{3\ \text{m}} \Rightarrow \mu = 200 \cdot 10^{-3}\ \text{kg/m} \Rightarrow \mu = 0{,}2\ \text{kg/m}$$

A velocidade de propagação do pulso na corda depende apenas da intensidade da força de tração (T) e da densidade linear (μ) da corda, sendo dada por:

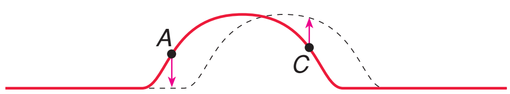
$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{500}{0{,}2}} \Rightarrow \boxed{v = 50\ \text{m/s}}$$

P.422 Dados: $d = 9\ \text{g/cm}^3 = 9 \cdot 10^3\ \text{kg/m}^3$; $A = 10\ \text{mm}^2 = 10 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2$; $v = 100\ \text{m/s}$

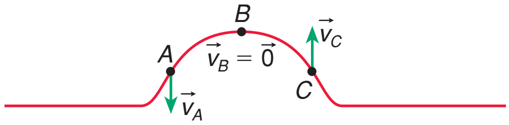
Do exercício **R.119**, temos: $v = \sqrt{\frac{T}{dA}}$. Assim, obtemos:

$$100 = \sqrt{\frac{T}{9 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}} \Rightarrow (100)^2 = \frac{T}{9 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{T = 900\ \text{N}}$$

P.423 Na figura abaixo, representamos o pulso no instante t_0 (linha cheia) e num instante imediatamente posterior (linha tracejada). A parte dianteira do pulso está se movendo para cima ($\vec{v}_C$ é vertical e para cima) e a traseira, para baixo ($\vec{v}_A$ é vertical e para baixo):

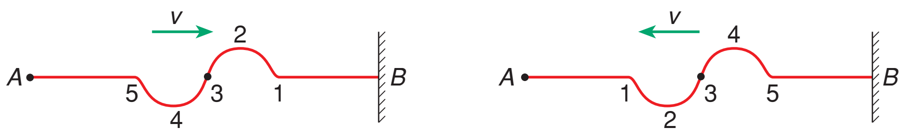


Assim, temos:



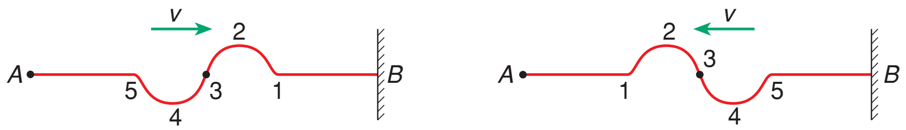
O ponto B, nesse instante, tem velocidade nula: $\vec{v}_B = \vec{0}$

P.424 a) Ao incidir na extremidade B, fixa, o pulso sofre reflexão com inversão de fase. Observe que o trecho 1-2-3, que incide primeiro, volta na frente. Assim, temos:



Pulso incidente   Pulso refletido

b) Sendo a extremidade B livre, o pulso reflete sem inversão de fase. Assim, temos:



Pulso incidente   Pulso refletido (o trecho 1-2-3 incide primeiro e volta na frente)

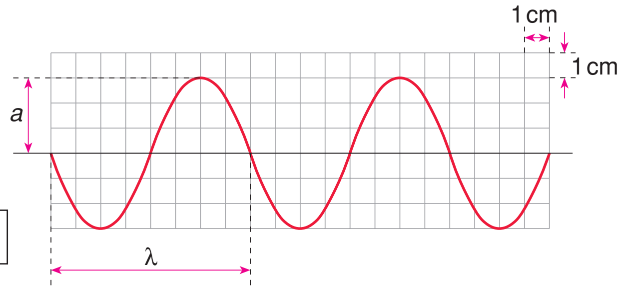
P.425 O pulso refratado não sofre inversão de fase. O pulso refletido também não sofre inversão de fase, pois o pulso incidente se propaga no sentido da corda de maior densidade linear para a corda de menor densidade linear. Assim, temos:

P.426 a) Na figura, temos:

$a = 3 \cdot 1 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{a = 3 \text{ cm}}$

$\lambda = 8 \cdot 1 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{\lambda = 8 \text{ cm}}$

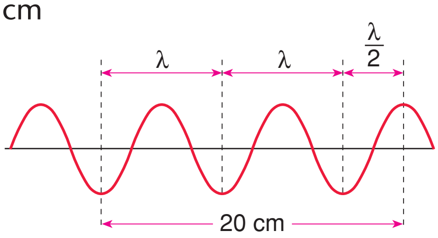
b) $v = \lambda f \Rightarrow 8 = 8 \cdot f \Rightarrow \boxed{f = 1 \text{ Hz}}$



P.427 Na figura, temos:

$$\lambda + \lambda + \frac{\lambda}{2} = 20 \text{ cm} \Rightarrow \frac{5\lambda}{2} = 20 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 8 \text{ cm}$$

Se cada ponto da corda executa uma vibração completa em 2 s, concluímos que o período da onda é $T = 2$ s.



Como $v = \lambda f$, vem: $v = \dfrac{\lambda}{T} \Rightarrow v = \dfrac{8}{2} \Rightarrow \boxed{v = 4 \text{ cm/s}}$

P.428 a) A partir da definição de velocidade, obtemos:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{250}{2} \Rightarrow \boxed{v = 125 \text{ cm/s}}$$

b) A distância entre duas cristas sucessivas é o comprimento de onda λ:

$$\boxed{\lambda = 25 \text{ cm}}$$

c) De $v = \lambda f$, vem: $125 = 25 \cdot f \Rightarrow \boxed{f = 5 \text{ Hz}}$

P.429 a) Pelo esquema são produzidas 2,5 ondas em 2 s. Assim, a frequência pode ser calculada por regra de três simples e direta:

$$\left.\begin{array}{l} 2 \text{ s} \text{ ——— } 2{,}5 \text{ ondas} \\ 1 \text{ s} \text{ ——— } f \end{array}\right\} \quad f = \frac{2{,}5}{2} \Rightarrow \boxed{f = 1{,}25 \text{ Hz}}$$

b) Sendo $v = 0{,}5$ m/s, temos:

$$v = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{0{,}5}{1{,}25} \Rightarrow \boxed{\lambda = 0{,}4 \text{ m}}$$

P.430 a) A frequência não se modifica quando a onda muda de corda: $f = \frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}$

Temos: $v_1 = 12$ m/s; $v_2 = 8$ m/s; $\lambda_1 = 1{,}5$ m; logo:

$$\frac{12}{1{,}5} = \frac{8}{\lambda_2} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{8 \cdot 1{,}5}{12} \Rightarrow \boxed{\lambda_2 = 1 \text{ m}}$$

b) $f = \frac{v_1}{\lambda_1} \Rightarrow f = \frac{12}{1{,}5} \Rightarrow \boxed{f = 8 \text{ Hz}}$

P.431 De $v = \lambda f$, vem: $3{,}0 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 100 \cdot 10^6 \Rightarrow \boxed{\lambda = 3{,}0 \text{ m}}$

P.432 Comparando $y = 3 \cdot \cos\,[2\pi \cdot (20t - 4x)]$ (x e y em cm e t em s) com

$y = a \cdot \cos\left[2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) + \varphi_0\right]$, obtemos:

a) $\boxed{a = 3 \text{ cm}}$

b) $\frac{1}{\lambda} = 4 \Rightarrow \boxed{\lambda = 0{,}25 \text{ cm}}$

c) $\dfrac{1}{T} = 20 \Rightarrow \boxed{T = 0{,}05\ \text{s}}$

d) $v = \lambda f \Rightarrow v = \dfrac{\lambda}{T} \Rightarrow v = \dfrac{0{,}25}{0{,}05} \Rightarrow \boxed{v = 5\ \text{cm/s}}$

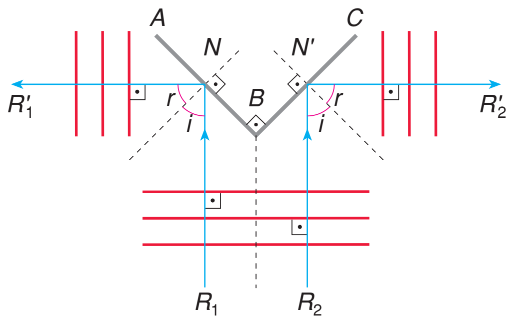
P.433 Comparando $y = 4 \cdot \cos\,[\pi \cdot (10t - 2x) + \pi]$ ou $y = 4 \cdot \cos\,[2\pi \cdot (5t - x) + \pi]$ (x e y em cm e t em s) com $y = a \cdot \cos\left[2\pi \cdot \left(\dfrac{t}{T} - \dfrac{x}{\lambda}\right) + \varphi_0\right]$, vem:

$f = \dfrac{1}{T} = 5 \Rightarrow f = 5\ \text{Hz}$

$\dfrac{1}{\lambda} = 1 \Rightarrow \lambda = 1\ \text{cm}$

De $v = \lambda f$, vem: $v = 1 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{v = 5\ \text{cm/s}}$

P.434 Desenhamos os raios incidentes (R_1 e R_2) e os correspondentes raios refletidos (R_1' e R_2'). As frentes de onda refletidas são perpendiculares aos raios refletidos.



P.435 Em 5 s a frente de onda percorre a distância:

$$d = v \cdot \Delta t \Rightarrow d = 10 \cdot 5 \Rightarrow d = 50\ \text{cm} = 0{,}5\ \text{m}$$

Na **figura a**, representamos a frente de onda, no instante 5 s, se não houvesse as paredes; na **figura b**, representamos os arcos refletidos:

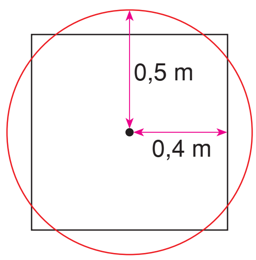


Figura a

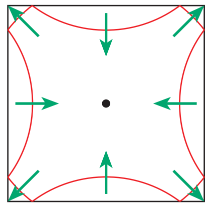
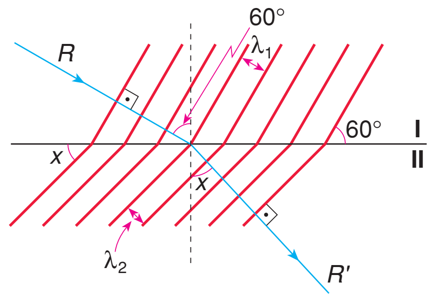


Figura b

P.436 a) $\dfrac{\text{sen } 60°}{\text{sen } x} = \dfrac{\lambda_1}{\lambda_2} \Rightarrow \dfrac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\text{sen } x} = \dfrac{4}{2} \Rightarrow \boxed{\text{sen } x = \dfrac{\sqrt{3}}{4}}$

b) $\dfrac{v_1}{v_2} = \dfrac{\lambda_1}{\lambda_2} \Rightarrow \dfrac{v_1}{v_2} = \dfrac{4}{2} \Rightarrow \boxed{\dfrac{v_1}{v_2} = 2}$



P.437 a) De $v_1 = \lambda_1 f$, vem: $10 = \lambda_1 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{\lambda_1 = 2 \text{ m}}$

b) A frequência não muda na refração: $\boxed{f = 5 \text{ Hz}}$

De $v_2 = \lambda_2 f$, vem: $5 = \lambda_2 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{\lambda_2 = 1 \text{ m}}$

P.438 a) De $v = \sqrt{\dfrac{T}{\mu}}$, vem: $v = \sqrt{\dfrac{10^{-2}}{9 \cdot 10^{-2}}} \Rightarrow \boxed{v = \dfrac{1}{3} \text{ m/s}}$

b) Como $v = \lambda f$, temos:

$$\frac{1}{3} = \lambda \cdot 2 \Rightarrow \boxed{\lambda = \frac{1}{6} \text{ m}}$$

c) Sabemos que $\varphi_0 = 0$; $a = 0,3$ m; $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{2}$ s; $\lambda = \dfrac{1}{6}$ m; logo:

$$y = a \cdot \cos\left[2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) + \varphi_0\right]$$

$$y = 0,3 \cdot \cos\left[2\pi \cdot \left(\frac{t}{\frac{1}{2}} - \frac{x}{\frac{1}{6}}\right) + 0\right]$$

$$y = 0,3 \cdot \cos\,[2\pi \cdot (2t - 6x)]$$

ou

$$\boxed{y = 0,3 \cdot \cos\,[4\pi \cdot (t - 3x)] \text{ (SI)}}$$

P.439 As duas cordas estão submetidas à mesma força tensora $\vec{T}$. As velocidades v_1 e v_2 dos pulsos nessas cordas serão expressas por:

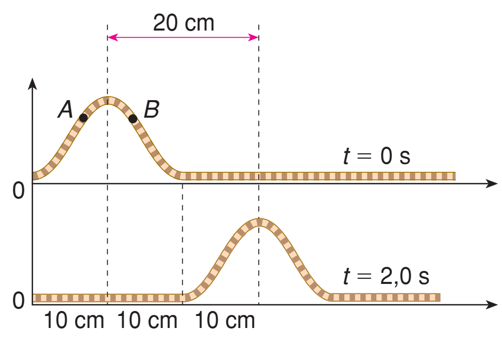
$$v_1 = \sqrt{\frac{T}{\mu_1}} \quad ① \qquad\qquad v_2 = \sqrt{\frac{T}{\mu_2}} \quad ②$$

Dividindo ① por ②, obtemos:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\frac{T}{\mu_1}}}{\sqrt{\frac{T}{\mu_2}}} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\frac{T}{\mu_1}}}{\sqrt{\frac{T}{\mu_2}}} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\mu_2}}{\sqrt{\mu_1}} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}}$$

Como $\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{1}{2}$, vem: $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{1}{2}} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \boxed{\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{2}}{2}}$

P.440 a) Na figura podemos observar que a crista da onda percorre 20 cm em 2,0 s.

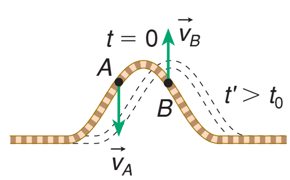


De $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, vem:

$v = \frac{20}{2,0}$

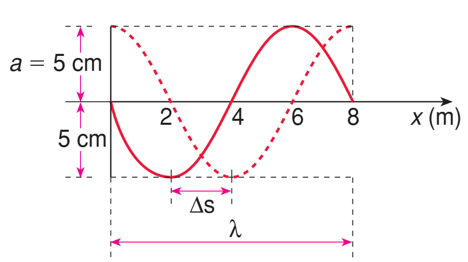
$\boxed{v = 10 \text{ cm/s}}$

b) Desenhando o pulso no instante $t = 0$ e num instante t' imediatamente posterior, obtemos a figura ao lado.



P.441 a) Na figura, temos:

$\boxed{a = 5 \text{ cm}}$



b) Também na figura é possível observar que:

$\boxed{\lambda = 8 \text{ m}}$

c) De $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, vem:

$$v = \frac{4 - 2}{0{,}5 - 0{,}3} \Rightarrow \boxed{v = 10 \text{ m/s}}$$

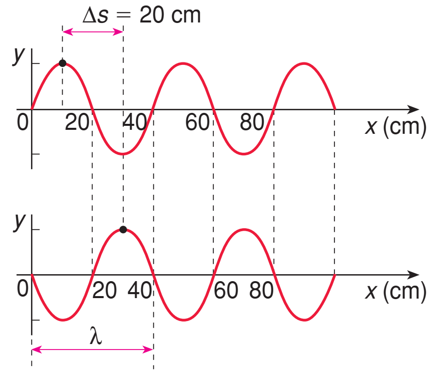
d) Como $v = \lambda f$, temos: $10 = 8 \cdot f \Rightarrow \boxed{f = 1{,}25 \text{ Hz}}$

P.442 No intervalo de tempo t_A o pulso se desloca $\Delta s_A = 20$ cm; no intervalo de tempo t_B, $\Delta s_B = 60$ cm.

$\Delta s_A = vt_A$ ① $\Delta s_B = vt_B$ ②

Dividindo ① por ②, obtemos: $\frac{t_A}{t_B} = \frac{\Delta s_A}{\Delta s_B} \Rightarrow \frac{t_A}{t_B} = \frac{20}{60} \Rightarrow \boxed{\frac{t_A}{t_B} = \frac{1}{3}}$

P.443 a) Na figura, temos: $\boxed{\lambda = 40 \text{ cm}}$



b) Observe que a onda avança $\Delta s = 20$ cm em $\Delta t = \frac{1}{10}$ s; logo:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{20}{\frac{1}{10}} \Rightarrow v = 200 \text{ cm/s ou } \boxed{v = 2{,}0 \text{ m/s}}$$

De $v = \lambda f$, vem:

$200 = 40 \cdot f \Rightarrow \boxed{f = 5{,}0 \text{ Hz}}$

P.444 a) Observando o gráfico, concluímos que o período da onda é $T = 2$ s.
Sendo $\lambda = 0{,}84$ m, vem:

$$v = \lambda f \Rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow v = \frac{0{,}84}{2} \Rightarrow \boxed{v = 0{,}42 \text{ m/s}}$$

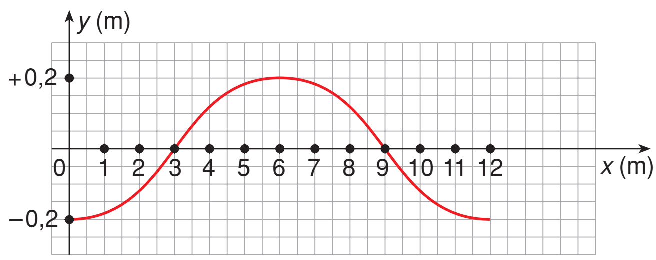
b) A velocidade da rolha é nula nos instantes em que há inversão no sentido do movimento. Isso ocorre nos instantes: 0,5 s; 1,5 s; 2,5 s etc.

P.445 a) Do instante $t = 0$ ao instante $t = 6$ s, a bola completa $\frac{3}{4}$ de sua trajetória circular. Sendo T o período, vem:

$$\frac{3}{4} \cdot T = 6 \Rightarrow \boxed{T = 8 \text{ s}}$$

b) De $v = \frac{\lambda}{T}$, sendo $v = 1{,}5$ m/s e $T = 8$ s, resulta: $1{,}5 = \frac{\lambda}{8} \Rightarrow \boxed{\lambda = 12 \text{ m}}$

c) Sendo o período $T = 8$ s, concluímos que a posição inicial da bola no instante $t = 14$ s é a mesma que no instante $t = 6$ s (14 s − 8 s = 6 s). Portanto, sendo $a = 0{,}2$ m a amplitude, para $x = 0$ resulta $y = -a = -0{,}2$ m. O comprimento de onda é de 12 m. Assim, temos o esquema do perfil da onda para $t = 14$ s:



P.446 a) De $v = \lambda f$, vem: $3{,}0 = 5{,}0 \cdot f \Rightarrow \boxed{f = 0{,}60 \text{ Hz}}$

b) Aumentando apenas a amplitude de vibração, a frequência, a velocidade de propagação e o comprimento de onda **não se alteram**. De fato, a frequência da onda é a frequência da fonte (vibrador) que lhe dá origem, e essa frequência não se altera. A velocidade de propagação depende apenas do meio em que a onda se propaga, e o meio continua sendo o mesmo. Assim, se a frequência e a velocidade não se alteram, o comprimento de onda também não se altera $\left(\lambda = \frac{v}{f}\right)$.

P.447 a) Quando ancorado: $v = 2$ m/s; $\lambda = 10$ m. Logo: $f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow f = \frac{2}{10} \Rightarrow f = 0{,}2$ Hz

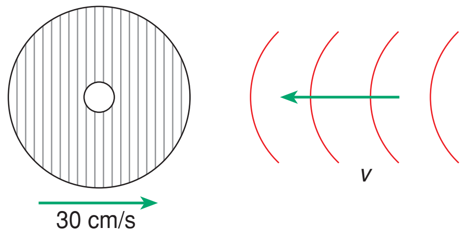
O período é dado por: $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0{,}2} \Rightarrow \boxed{T = 5 \text{ s}}$

b) Se o barco se movimenta com velocidade de 8 m/s, a velocidade relativa das ondas em relação ao barco é: $v' = 2 + 8 \Rightarrow v' = 10$ m/s

Sendo $\lambda = 10$ m, vem: $f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{10}{10} \Rightarrow f = 1$ Hz

O período é dado por: $T' = \frac{1}{f'} = \frac{1}{1} \Rightarrow \boxed{T' = 1 \text{ s}}$

P.448 Se as ondas chegam de 10 em 10 segundos a um ponto da margem, concluímos que o período é: $T = 10$ s



A velocidade da boia em relação à onda (ou da onda em relação à boia) é $30 + v$, sendo v a velocidade de propagação das ondas. Assim, se a bóia leva 5 s para ir de uma depressão a outra, transpondo 8 cristas, concluímos que a bóia se desloca 8λ.

Logo: $(30 + v) \cdot 5 = 8\lambda$

Sendo $v = \dfrac{\lambda}{T} \Rightarrow v = 0{,}1\lambda$, obtemos:

$(30 + 0{,}1\lambda) \cdot 5 = 8\lambda \Rightarrow \boxed{\lambda = 20 \text{ cm}}$

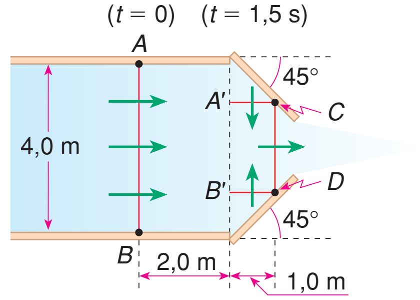
P.449 O período da onda é o período com que as gotas tocam a superfície da água e esse é igual ao tempo de queda das gotas:

$$s = \cancelto{0}{s_0} + \cancelto{0}{v_0}t + \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow s = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow 3{,}2 = 5t^2 \Rightarrow t = 0{,}8 \text{ s}$$

Logo: $\boxed{T = 0{,}8 \text{ s}}$

$$v = \lambda f \Rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow 15 = \frac{\lambda}{0{,}8} \Rightarrow \boxed{\lambda = 12 \text{ cm}}$$

P.450 Com velocidade 2,0 m/s, em 1,5 s a crista AB percorrerá 3,0 m. Como está a 2,0 m da região tracejada, parte da crista será refletida pelas comportas:



$AB = A'C + CD + DB'$

$4{,}0 = 1{,}0 + A'B' + 1{,}0 \Rightarrow \boxed{A'B' = 2{,}0 \text{ m}}$

P.451 a) Para o meio 1, temos: $v_1 = 200{,}0$ m/s; $\lambda_1 = 4{,}0$ cm $= 4{,}0 \cdot 10^{-2}$m

De $v_1 = \lambda_1 \cdot f_1$, vem: $200 = 4{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot f_1 \Rightarrow \boxed{f_1 = 5{,}0 \cdot 10^3 \text{ Hz}}$

A frequência não muda na refração.

Logo, para o meio 2, temos: $\boxed{f_2 = f_1 = 5{,}0 \cdot 10^3 \text{ Hz}}$

b) De $\dfrac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \dfrac{v_1}{v_2}$, sendo sen $\theta_1 = 0{,}8$, sen $\theta_2 = 0{,}5$ e $v_1 = 200{,}0$ m/s, vem:

$$\frac{0{,}8}{0{,}5} = \frac{200{,}0}{v_2} \Rightarrow \boxed{v_2 = 125{,}0 \text{ m/s}}$$

c) A distância *d* entre duas frentes de ondas consecutivas é o comprimento de onda λ_2.

De $v_2 = \lambda_2 \cdot f_2$, vem:

$125{,}0 = \lambda_2 \cdot 5{,}0 \cdot 10^3 \Rightarrow \boxed{\lambda_2 = 2{,}5 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 2{,}5 \text{ cm}}$

P.452 a) A frequência das ondas que se propagam do meio *B* é **igual** à das que se propagam no meio *A*, pois a frequência de uma onda é a da fonte que a emite – no caso, o vibrador.

b) Como $v_A = \lambda_A f$ ① e $v_B = \lambda_B f$ ②, dividindo ① por ②, obtemos:

$$\frac{v_A}{v_B} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B} \Rightarrow \frac{340}{v_B} = \frac{\lambda_A}{\frac{\lambda_A}{2}} \Rightarrow \boxed{v_B = 170 \text{ m/s}}$$

P.453 a) De $v_1 = \lambda_1 f$, vem: $2{,}0 = 0{,}40 \cdot f \Rightarrow \boxed{f = 5{,}0 \text{ Hz}}$

b) Na corda 2 a frequência da onda também é $f = 5{,}0$ Hz. A distância entre duas cristas consecutivas da corda 2 é o comprimento de onda λ_2. Sendo $v_2 = 1{,}0$ m/s, vem:

$$v_2 = \lambda_2 f \Rightarrow 1{,}0 = \lambda_2 \cdot 5{,}0 \Rightarrow \lambda_2 = 0{,}20 \text{ m} \Rightarrow \boxed{\lambda_2 = 20 \text{ cm}}$$

P.454 O som se difrata muito mais do que a luz, pois seu comprimento de onda é muito maior do que o da luz.