

LISTA DE EXERCÍCIOS - ONDAS

1. Considere um pulso de onda dado por

$$y(x,t) = \frac{y_0}{\left[ \frac{(x-vt)/x_0}{x_0} \right]^2 + 1},$$

onde  $y_0 = 10,0 \text{ mm}$ ,  $x_0 = 1,00 \text{ m}$  e  $v = 2,00 \text{ m/s}$ . (a) Faça gráficos do pulso nos instantes  $t = 0,00 \text{ s}$ , e  $t = 2,50 \text{ s}$ . (b) O pulso é caracterizado por sua altura e sua largura. A altura  $h$  do pulso é o módulo do deslocamento máximo devido ao pulso, e a meia largura  $w$  é a distância entre dois pontos do pulso onde o módulo do deslocamento é a metade da altura do pulso. Determine  $h$  e  $w$ . Resp: b)  $h = y_0 = 10,0 \text{ mm}$  e  $w = 2x_0 = 2,00 \text{ m}$ .

2. Uma corda uniforme, de  $20 \text{ m}$  de comprimento e massa de  $2,0 \text{ kg}$ , está esticada sob uma tensão de  $10 \text{ N}$ . Faz-se oscilar, transversalmente, uma extremidade da corda, com amplitude de  $3,0 \text{ cm}$  e frequência de  $5,0$  oscilações por segundo. O deslocamento inicial da extremidade é de  $1,5 \text{ cm}$  para cima. (a) Ache a velocidade de propagação  $v$  e o comprimento de onda  $\lambda$  da onda progressiva gerada na corda. (b) Escreva, como função do tempo, o deslocamento transversal  $y$  de um ponto da corda situado à distância  $x$  da extremidade que se faz oscilar, após ser atingido pela onda e antes que ela chegue à outra extremidade. (c) Calcule a intensidade  $I$  da onda progressiva gerada.

Resp.: a)  $v=10\text{m/s}$ ; b)  $y(x,t)=0,03 \cos(\pi x-10\pi t+\pi/3) \text{ (m,s)}$ ; c)  $I=0,44\text{W}$

3. Duas ondas transversais de mesma frequência,  $f=100\text{Hz}$  são produzidas num fio de aço de  $1,00 \text{ mm}$  de diâmetro e densidade  $8,00 \text{ g/cm}^3$ , submetido a uma tensão  $T=500\text{N}$ . As ondas são dadas por  $y_1(x,t) = A \cos(kx - \omega t + \pi/6)$  e  $y_2(x,t) = 2A \sin(\omega t - kx)$ , onde  $A = 2,00 \text{ mm}$ . (a) Escreva a expressão da onda harmônica progressiva resultante da superposição dessas duas ondas. (b) Calcule a intensidade da onda resultante. (c) Se fizermos variar a diferença de fase entre as duas ondas, qual é a razão entre os valores máximo e mínimo possíveis da intensidade da resultante?

Resp.: a)  $y(x,t)=5,29 \times 10^{-3} \cos(2,23x - 628t + 1,24) \text{ (m,s)}$ ; b)  $I = 9,8\text{W}$ ; c)  $I_{\text{máx}}/I_{\text{mín}} = 9$

4. Duas ondas estão se propagando ao longo de um fio esticado, que coincide com o eixo X:  $y_1(x,t) = A \cos [k(x - vt)]$  e  $y_2(x,t) = A \cos [k(x + vt) + \theta_0]$ . Pergunta-se: (a) Qual o valor de  $\theta_0$  para que ocorra a interferência construtiva em  $x = 0$  e interferência destrutiva em  $x = \theta$ . (b) Para cada valor de  $\theta_0$  encontrado, escreva a função de onda total,  $y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$ . (c) Encontre os pontos do fio, que são sempre estacionários. Resp.: a) **máx:**  $\theta_0 = 2n\pi$ ; **mín:**  $\theta_0 = (2n+1)\pi$ ; ( $n=0,1,2,\dots$ ); b) **Construtiva:**  $y(x,t)=2A \cos(kx) \cos(\omega t)$ ; **Destrutiva:**  $y(x,t)=2A \sin(kx) \sin(\omega t)$ ; c) **Construtiva:**  $x_{no} = n\pi/k$ ,  $n$  natural; **Destrutiva:**  $x_{no} = (2n+1)\pi/2k$ ,  $n$  natural.

5. Uma corda de violino, de  $31,6 \text{ cm}$  e densidade linear  $0,65 \text{ g/m}$ , está colocada junto a um alto falante que é alimentado por um oscilador de áudio de frequência variável. Verifica-se que quando a frequência do oscilador varia continuamente na faixa de  $500$  a  $1500 \text{ Hz}$ , a corda oscila apenas nas frequências de  $880$  e  $1320 \text{ Hz}$ . Encontre a tensão na corda.

Resp.:  $T = 50,26 \text{ N}$

6. Pretendendo satisfazer sua curiosidade, um estudante fica entre dois alto-falantes, numa sala. Ele está a  $1,8 \text{ m}$  de um e a  $3,2 \text{ m}$  do outro. Os dois alto-falantes vibram em fase. Se a frequência mais baixa, na qual ele observa interferência destrutiva máxima, é  $122 \text{ Hz}$ , qual é a velocidade do som no ar? A seguir ele se desloca  $2,4 \text{ m}$ , perpendicularmente ao plano dos alto-falantes. Qual a frequência mais baixa para a interferência destrutiva máxima? Resp:  $342 \text{ m/s}$  e  $171 \text{ Hz}$ .

7. Suponha que na extremidade aberta de um tubo sonoro, a variação de pressão não cai descontinuamente para zero. Em consequência o nó da pressão fica um pouco fora da extremidade aberta. Assuma que o tamanho efetivo do tubo seja:  $L_{ef} = L(1+d/\lambda)$  onde  $L$  é o tamanho real do tubo e  $d$  o seu diâmetro. Sendo as duas primeiras frequências de ressonância  $54,6$  e  $159,8 \text{ Hz}$  e a velocidade do som  $342 \text{ m/s}$ , encontre as dimensões ( $L$  e  $d$ ) do tubo.

Resp.  $1,54 \text{ m}$  e  $8,3 \text{ cm}$

8. Encontre a intensidade de uma onda sonora se (a)  $\beta = 10 \text{ dB}$  e (b)  $\beta = 3 \text{ dB}$ . Encontre as amplitudes de pressão das ondas sonoras no ar, para cada uma destas intensidades. Assuma que a intensidade de referência vale  $10^{-12} \text{ W}$ , a densidade do ar  $1,29 \text{ kg/m}^3$  e a velocidade do som  $342 \text{ m/s}$ . Resp. (a)  $10^{-11} \text{ W/m}^2$ . (b)  $2 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$  (c)  $p_0 = 9,37 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$  (d)  $p_0 = 4,18 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

9. Uma onda sonora forte, típica, com a frequência de  $1 \text{ kHz}$ , tem a amplitude de pressão aproximadamente igual a  $10^{-4} \text{ atm}$ . (a) Em  $t=0$ , a pressão é máxima num certo ponto  $x_1$ . Qual o deslocamento neste ponto, no instante  $t = 0?$  (b) Qual

o máximo valor do deslocamento, para  $x$  e  $t$  qualquer? Densidade do ar :  $1,29 \text{ kg/m}^3$  ; velocidade do som:  $342 \text{ m/s}$   
**Resp.** (a) Zero (b)  $S_0=3,66 \mu\text{m}$ ;

10. Numa estrada de montanha, ao aproximar-se de um paredão vertical que a estrada irá contornar, um motorista vem buzinando. O eco vindo do paredão interfere com o som da buzina, produzindo 5 batimentos por segundo. Sabendo-se que a frequência da buzina é  $200 \text{ Hz}$  e a velocidade do som no ar é de  $340 \text{ m/s}$ , qual é a velocidade do carro (em km/h)?  
**Resp.:**  $15 \text{ km/h}$

11. Coloca-se um diapasão na extremidade aberta de um tubo cilíndrico de altura  $h_0=80\text{cm}$ , A frequência do diapasão vale  $f_0=500\text{Hz}$ . Começamos a introduzir água, lentamente, no interior do tubo. Determine os níveis da água para os quais ocorrerá ressonância. Considere a velocidade do som no ar  $335 \text{ m/s}$ . **Resp.**  $L_1=0,1675\text{m}$  e  $L_2=0,5025\text{m}$

12. O ouvido humano é sensível a sons com frequências entre  $20 \text{ Hz}$  e  $20000 \text{ Hz}$ . Calcule o intervalo de comprimento de onda correspondente a sons audíveis no ar. Considere  $v = 340\text{m/s}$ . **Resp.** de  $17\text{m}$  até  $1,7\text{cm}$

13. A função de uma onda transversal, num fio, é dado por  $y(x,t)=2\text{sen}[\pi(x-100t)+\pi/2]\text{m}$ , onde  $x$  e  $y$  estão em metros e  $t$  em segundos. a) Qual é a amplitude da onda?. b) Qual é o ângulo de fase  $\delta$ ? c) Determine a frequência de vibração do fio. d) Encontre a velocidade da onda. e) Quando  $t=1\text{s}$ , ache o deslocamento, a velocidade e a aceleração de um pequeno segmento do fio localizado em  $x=2\text{m}$ . **Resp.** a)  $y_0=2\text{m}$ , b)  $\delta=\pi/2$ , c)  $f=50\text{Hz}$ , d)  $v=100\text{m/s}$ , e)  $y(2,1)=2\text{m}$ ;  $v_y(2,1)=0$ ;  $a_y(2,1)=-1,97 \times 10^5 \text{ m/s}^2$

14. (a) Uma regra para encontrar a distância de um relâmpago é contar quantos segundos se passam, desde a visão do raio até ouvir o trovão e, então, dividir o número por cinco. O resultado é, por suposição, a distância em milhas. Explique o funcionamento dessa regra e determine percentagem de erro a  $20^\circ\text{C}$ . (b) Desenvolva uma regra semelhante, para obter a distância em quilômetros. **Resp:** a)  $6,6\%$  ; b)  $2,91\%$

15. Balançando um barco, um menino produz ondas na superfície de um lago até então quieto. Ele observa que o barco realiza 12 oscilações em 20 s, cada oscilação produzindo uma crista de onda 15 cm acima da superfície do lago. Observa ainda que uma determinada crista de onda chega à terra, a doze metros de distância, em 6,0 s. Encontre: a) o período; (b) a velocidade escalar; (c) o comprimento de onda; d) a amplitude desta onda? **Resp:** a)  $1,67 \text{ s}$ ; b)  $2 \text{ m/s}$ ; c)  $3,3 \text{ m}$ ; d)  $15 \text{ cm}$ .

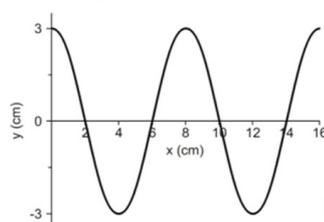
16. Um tubo de um órgão A, com as duas extremidades abertas, tem uma frequência fundamental de  $300 \text{ Hz}$ . O quinto harmônico de um outro órgão B, com uma extremidade aberta, tem a mesma frequência que o segundo harmônico do A. Qual o comprimento: a) do tubo do órgão A; b) do B? **Resp:** a)  $L = 0,567 \text{ m}$  ; b)  $L = 0,708 \text{ m}$

17. A equação de onda para uma onda é dada por:  $\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{25 \cdot 10^4} \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = 0$ . a) Qual a velocidade de propagação dessa onda? b) Escreva a função de onda para uma onda de frequência  $750 \text{ Hz}$  e amplitude de  $3,00 \text{ cm}$  que obedece a equação acima. **Resp:** a)  $v = 500 \text{ m/s}$  ; b)  $y(x,t)=0,03 \cos [9,425x-4712t]$  (em metros).

18. Uma onda senoidal contínua propaga-se numa corda com velocidade de  $50 \text{ cm/s}$ . Verifica-se que o deslocamento das partículas da corda no ponto  $x = 10 \text{ cm}$  varia com o tempo de acordo com a função  $y(t)=5,0\text{sen}(1,0-4,0t) \text{ cm}$ . A densidade linear da corda é  $4,0 \text{ g/cm}$ . a) Qual é a frequência da onda? b) Qual é comprimento de onda da onda? c) Escreva a função que dá o deslocamento transversal das partículas da corda em função da posição e do tempo. d) calcule a tensão na corda. **Resp.:** a)  $0,64 \text{ Hz}$ ; b)  $78,5 \text{ cm}$ ; c)  $y(x,t) = 5,0\text{sen}[0,08x(\text{cm})-4,0t(\text{s})+0,2(\text{rad})] \text{ cm}$ ; d)  $0,1 \text{ N}$

19. Prove que a inclinação de uma corda, em qualquer ponto, é numericamente igual à razão entre a velocidade transversal da partícula e a velocidade de propagação da onda naquele ponto.

20. Uma onda transversal harmônica simples propaga-se ao longo de uma corda viajando para a esquerda. A figura abaixo mostra o deslocamento em função da posição no tempo  $t = 0$ . A tensão na corda é de  $0,5 \text{ N}$  e a sua densidade linear é de  $5,0 \text{ g/m}$ . Calcule a) a amplitude, b) o comprimento de onda, c) a velocidade de propagação da onda, d) o período, e) a velocidade máxima de uma partícula da corda. f) Escreva uma função descrevendo a propagação da onda.



Resp.: a) 3,0 cm; b) 8,0 cm; c) 10 m/s; d) 0,008 s; e)  $y(x,t) = 3,0\text{sen}[78,4x(m)-785,4t(s)+\pi/2(\text{rad})]$  cm

21. Um tubo de  $1,0\text{ m}$  de comprimento é fechado em uma extremidade. Um arame esticado é colocado junto à extremidade aberta. O comprimento do arame é de  $0,30\text{ m}$  e sua massa é de  $0,010\text{ kg}$ . Está fixado por ambas as extremidades e vibra em seu modo fundamental. Ele faz com que a coluna de ar no tubo vibre na sua frequência fundamental, por ressonância. Ache a) a frequência de oscilação da coluna de ar, b) a tração no arame. **Resp. a) 83 Hz, b) 82 N.**

22. Uma sirena emite som de  $1000\text{ Hz}$  e move-se de você para um rochedo à velocidade de  $10\text{ m/s}$ . a) Qual a frequência do som que você ouve, proveniente diretamente da sirena? b) Qual a frequência do som que você ouve, proveniente do rochedo? c) Você pode ouvir a frequência do batimento? **Resp. a) 970 Hz, b) 1030 Hz e c) Não, é muito alta.**

23. Uma ambulância tocando sua sirene a  $1600\text{ Hz}$  ultrapassa um ciclista, que estava pedalando a  $6,0\text{ km/h}$ . Depois da ambulância ultrapassar o ciclista, ele escuta a sirene a  $1550\text{ Hz}$ . Considere  $v_{\text{som}} = 340\text{ m/s}$ . Qual a velocidade da ambulância? **Resp.: 45,7 km/h.**

24. Uma corda uniforme, de  $25\text{ m}$  de comprimento e massa de  $0,40\text{ kg}$ , está esticada sob uma tensão de  $10\text{ N}$ . Faz-se oscilar, transversalmente, uma extremidade da corda, com amplitude de  $5,0\text{ cm}$  e frequência de  $50$  oscilações por segundo. O deslocamento inicial da extremidade é de  $2,0\text{ cm}$  para cima. a) Ache a velocidade de propagação  $v$  e o comprimento de onda da onda progressiva gerada na corda. b) Escreva a função de onda do deslocamento transversal  $y(x,t)$ . c) Qual é a velocidade transversal máxima de um elemento da corda? d) Calcule a energia média que a onda transporta enquanto se propaga (intensidade). **Resp.: a) 25 m/s, 0,5 m; b)  $y(x,t) = 5,0\text{cos}[4\pi x(m)-100\pi t(s)+1,16(\text{rad})]$  cm; c)  $v_t = 5\pi\text{ m/s}$ ; d)  $I = 49,3\text{ J/s}$ .**

25. Um observador se encontra em repouso. Uma fonte emite ondas sonoras com frequência  $f_0$  e se aproxima do observador. a) Determine a frequência medida pelo observador, supondo que a velocidade de aproximação  $V$  seja paralela à reta que une o observador com a fonte. b) Calcule a frequência medida pelo observador, supondo que a velocidade de aproximação  $V$  faça um ângulo teta com a reta que une o observador com a fonte. **Resp.: a)  $f = f_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V}{v_{\text{som}}}}$**

; b)  $f = f_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V}{v_{\text{som}}} \cos(\theta)}$