



# ITA 2023



## ONDULATÓRIA (I)

AULA 06

Fenômenos ondulatórios e acústica

Prof. Vinícius Fulconi





# Sumário

Apresentação do Professor	5
<b>1. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO</b>	<b>6</b>
1. DEFINIÇÃO DE ONDAS	6
2. ONDAS MECÂNICAS E ONDAS ELETROMAGNÉTICAS	6
<b>1.2.1. ONDAS MECÂNICAS</b>	<b>6</b>
<b>1.2.2. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS</b>	<b>7</b>
3. ONDAS TRANSVERSAIS E ONDAS LONGITUDINAIS	7
<b>1.3.1. ONDAS TRANSVERSAIS</b>	<b>7</b>
<b>1.3.2. ONDAS LONGITUDINAIS</b>	<b>8</b>
<b>1.3.3. ONDAS MISTAS</b>	<b>9</b>
4. FRENTE DE ONDA E RAIOS DE ONDA	9
<b>1.4.1. ONDAS UNIDIMENSIONAIS</b>	<b>9</b>
<b>1.4.2. ONDAS BIDIMENSIONAIS</b>	<b>9</b>
<b>1.4.3. ONDAS TRIDIMENSIONAIS.</b>	<b>10</b>
<b>2. EQUAÇÃO GERAL DE ONDA</b>	<b>11</b>
<b>3. ONDAS HARMÔNICAS PROGRESSIVAS</b>	<b>13</b>
7. NÚMERO DE ONDA	14
8. FREQUÊNCIA ANGULAR	14
9. VELOCIDADE DE OSCILAÇÃO	15
10. ACELERAÇÃO DE OSCILAÇÃO	15
<b>4. ONDA TRANSVERSAL NA CORDA</b>	<b>18</b>
<b>5. ENERGIA DA ONDA PROGRESSIVA</b>	<b>21</b>
13. DENSIDADE DE ENERGIA	21
14. POTÊNCIA	22
15. INTENSIDADE	22
16. INTENSIDADE E POTÊNCIA PARA FONTES PONTUAIS	23
<b>6. SUPERPOSIÇÃO DE ONDAS</b>	<b>24</b>
18. PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO	24
19. CARACTERÍSTICAS DA SUPERPOSIÇÃO	25
20. ABORDAGEM POR FASORES	26



<b>7. REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE ONDAS</b>	<b>28</b>
22. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO ( $v$ )	29
23. FREQUÊNCIA ( $f$ ), PERÍODO ( $T$ ) E FREQUÊNCIA ANGULAR ( $\omega$ )	29
24. COMPRIMENTO DE ONDA ( $\lambda$ )	29
25. AMPLITUDE ( $A$ ) E INTENSIDADE ( $I$ )	30
26. FASE ( $\varphi$ )	30
27. REFLEXÃO DE PULSOS NA MESMA CORDA	31
<b>7.6.1. EXTREMIDADE FIXA</b>	<b>31</b>
<b>7.6.2. EXTREMIDADE LIVRE</b>	<b>31</b>
<b>7.6.3. PROPRIEDADE DO PULSO REFLETIDO</b>	<b>32</b>
28. REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE PULSOS PARA CORDAS UNIDAS	33
<b>8. ONDAS ESTACIONÁRIAS</b>	<b>35</b>
30. NÓS	36
31. ANTI-NÓS	36
32. ENERGIA	36
33. MODOS NORMAIS DE VIBRAÇÃO	37
<b>9. INTRODUÇÃO PARA AS ONDAS SONORAS</b>	<b>40</b>
VELOCIDADE DAS ONDAS SONORAS	40
<b>SONS EM LÍQUIDOS</b>	<b>40</b>
<b>SONS EM SÓLIDOS</b>	<b>40</b>
<b>SONS EM GASES</b>	<b>40</b>
<b>EFEITO DA TEMPERATURA, PRESSÃO E HUMIDADE NA VELOCIDADE DO SOM NO AR</b>	<b>41</b>
INTENSIDADE DAS ONDAS SONORAS	42
INTERFERÊNCIA DE ONDAS SONORAS	44
<b>DIFERENÇA DE FASE</b>	<b>44</b>
<b>FONTES COERENTES</b>	<b>44</b>
<b>INTERFERÊNCIA</b>	<b>45</b>
ONDAS SONORAS EM TUBOS FECHADOS	46
ONDAS SONORAS EM TUBOS ABERTOS	47
BATIMENTOS	48
<b>CÁLCULO DA FREQUÊNCIA DE BATIMENTO</b>	<b>49</b>
<b>EQUAÇÃO GERAL DO BATIMENTO</b>	<b>49</b>
<b>10. EFEITO DOPPLER</b>	<b>51</b>
FONTE EM REPOUSO, OBSERVADOR SE MOVENDO	51
FONTE SE MOVENDO, OBSERVADOR EM REPOUSO	52
COMBINAÇÃO DOS RESULTADOS	53



Lista de questões	55
Nível 1	55
Nível 2	82
Nível 3	98
Resolução das questões	102
Nível 1	102
Nível 2	148
Nível 3	178
Considerações finais	192



## Apresentação do Professor

Querido aluno(a), seja bem-vindo(a) à nossa primeira aula!

Sou o professor Vinícius Fulconi, tenho vinte e seis anos e estou cursando Engenharia Aeroespacial no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Irei contar um pouco sobre minha trajetória pessoal, passando pelo mundo dos vestibulares com minhas principais aprovações, até fazer parte da equipe de física do Estratégia Militares.

No ensino médio, eu me comportava como um aluno mediano. No final do segundo ano do ensino médio, um professor me desafiou com a seguinte declaração: *Você nunca vai passar no ITA!* Essa fala do professor poderia ter sido internalizada como algo desestimulador e, assim como muitos, eu poderia ter me apegado apenas ao que negritei anteriormente. Muitos desistiram! Entretanto, eu preferi negritar e gravar “*Você vai passar no ITA!*”

Querido aluno(a), a primeira lição que desejo te mostrar não é nenhum conteúdo de física. Quero que transforme seu sonho em vontade de vencer. Transforme seus medos e incapacidades em desafios a serem vencidos. Haverá muitos que duvidarão de você. O mais importante é você acreditar! Nós do Estratégia Militares acreditamos no seu potencial e ajudaremos você a realizar seu sonho!



Após alguns anos estudando para o ITA, usando muitos livros estrangeiros, estudando sem planejamento e frequentando diversos cursinhos do segmento, realizei meu sonho e entrei em umas das melhores faculdades de engenharia do mundo. 😊 Além de passar no ITA, ao longo da minha preparação, fui aprovado no IME, UNICAMP, Medicina (pelo ENEM) e fui medalhista na Olimpíada Brasileira de Física.

Minha resiliência e grande experiência em física, que obtive estudando por diversas plataformas e livros, fez com que eu me tornasse professor de física do Estratégia Militares. Tenho muito orgulho em fazer parte da família Estratégia e hoje, se você está lendo esse texto, também já é parte dela. Como professor, irei te guiar por toda física, alertando sobre os erros que cometi na minha preparação, mostrando os pontos em que obtive êxito e, assim, conseguirei identificar quais são seus pontos fortes e fracos, maximizando seu rendimento e te guiando até à faculdade dos seus sonhos.

Você deve estar se perguntando: O que é necessário para começar esse curso?



### **ALERTA!**

Esse curso exige do candidato apenas **dedicação, perseverança e vontade de vencer.**



## 1. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

### 1. DEFINIÇÃO DE ONDAS

**Uma onda é qualquer perturbação de uma situação de equilíbrio, que se propaga sem transportar matéria. Em geral, uma onda transporta energia e momento.**

A perturbação criada por uma onda é representada por uma função  $y(x, t)$ . Essa função de duas variáveis fornece a posição num dado instante de tempo para uma partícula que está sofrendo a dada perturbação.

### 2. ONDAS MECÂNICAS E ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

#### 1.2.1. ONDAS MECÂNICAS

**São propagações de energia através de partículas de um meio material. Uma onda mecânica necessita de um meio para que ela se propague. As ondas mecânicas não se propagam no vácuo.**

As ondas na praia são ondas mecânicas. Em alto mar (profundidade da água extremamente elevada) essas ondas transportam apenas energia. Ao se aproximar da praia, devido à grande variação de profundidade, as ondas “quebram” e deixam de apresentar comportamento ondulatório.



*Figura 1: Ondas ao chegar à praia.*

As ondas produzidas por alto-falantes também são exemplos de ondas mecânicas. Neste caso, o meio de propagação é o ar e as ondas são chamadas de sonoras. Estudaremos de forma bem aprofundada as ondas sonoras no tópico de Acústica, que será a aula seguinte a esta.



### 1.2.2. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

As ondas eletromagnéticas são a união (indução entre campos) de um campo elétrico e de um magnético que, no vácuo, se propagam com a velocidade da luz. Nos meios materiais, a velocidade de propagação é menor que no vácuo.

As ondas eletromagnéticas não necessitam de meio material para se propagar. As ondas de rádio, os raios-X, os raios-gama e as micro-ondas são exemplos de ondas eletromagnéticas.

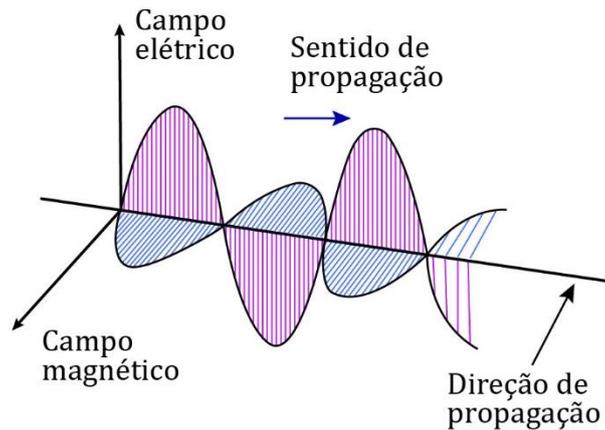


Figura 2: Propagação de uma onda eletromagnética

## 3. ONDAS TRANSVERSAIS E ONDAS LONGITUDINAIS

### 1.3.1. ONDAS TRANSVERSAIS

Ondas transversais são ondas em que sua oscilação ocorre perpendicularmente a direção de propagação da onda.

Em geral, as ondas transversais são ondas senoidais que apresentam cristas e vales. Uma crista é a região da onda que há um máximo de deslocamento no sentido positivo de um eixo adotado. Já o vale é a região da onda que há um mínimo de deslocamento no sentido negativo de um eixo adotado. Veja a figura abaixo.

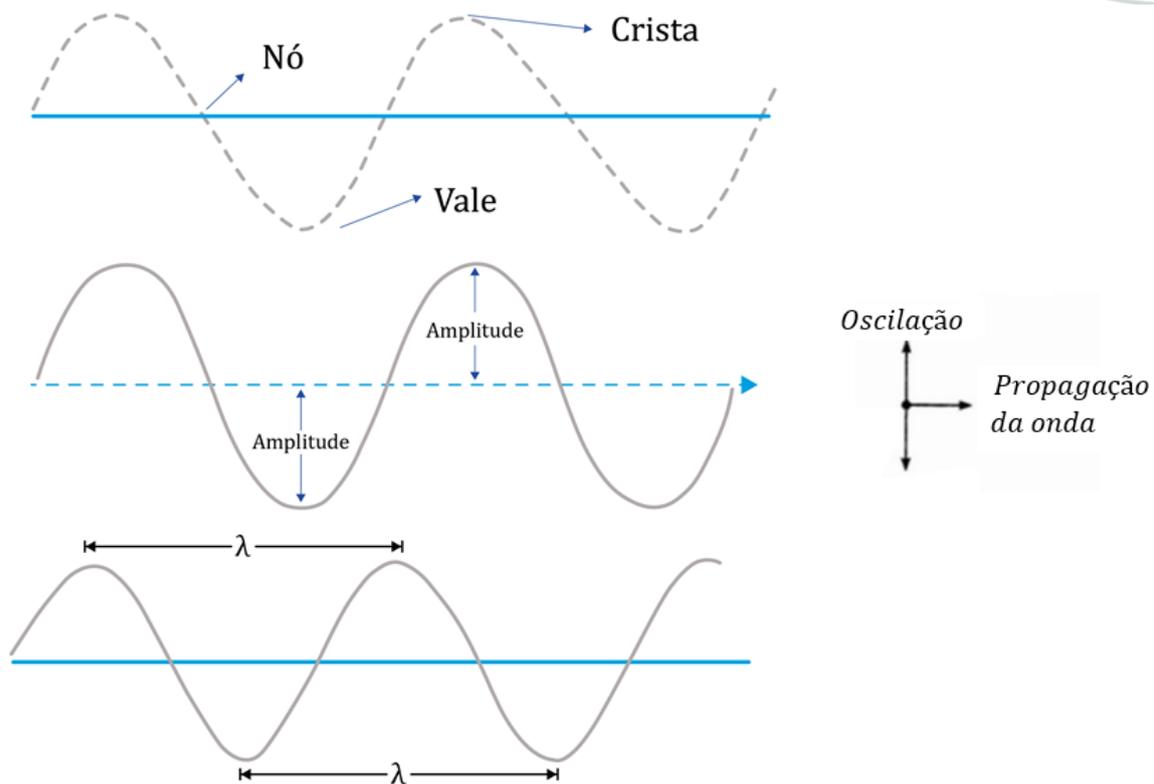


Figura 3: Oscilação versus direção de propagação. Além disso, alguns elementos de uma onda.

A distância entre duas cristas ou dois vales é chamado de comprimento de onda ( $\lambda$ ). Encontraremos uma relação entre o comprimento de onda e os outros parâmetros da onda nos tópicos seguintes.

As ondas eletromagnéticas são todas transversais. Isso porque, o campo elétrico e o campo magnético sempre serão perpendiculares à direção de propagação da onda.

### 1.3.2. ONDAS LONGITUDINAIS

**As ondas longitudinais são ondas que tem sua oscilação na mesma direção de propagação da onda.**

As ondas longitudinais formam regiões de compressão e rarefação. Veremos em acústica as zonas de pressão vinculadas a essas regiões. Entretanto, ainda nesta aula, podemos analisar de forma simplificada uma onda longitudinal pela figura abaixo.

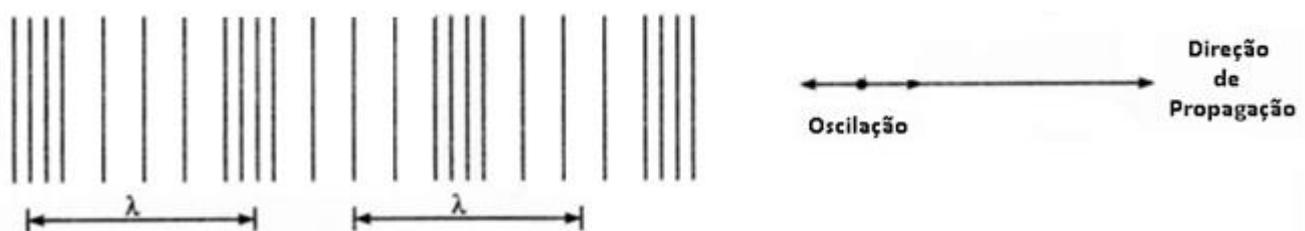


Figura 4: Perfil da onda longitudinal.



As regiões mais “concentradas”, em linhas verticais, são as chamadas regiões de compressão. As regiões mais “vazias”, em linhas verticais, são chamadas de regiões de rarefação.

### 1.3.3. ONDAS MISTAS

**Ondas mistas são ondas formadas pela combinação entre ondas longitudinais e ondas transversais.**

As ondas mistas têm suas oscilações em direções múltiplas. Como exemplo, podemos citar as ondas do mar e ondas sonoras quando se propagam em meios sólidos.

## 4. FRENTE DE ONDA E RAIOS DE ONDA

Podemos classificar uma onda quanto a sua direção de propagação. Temos ondas unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais.

### 1.4.1. ONDAS UNIDIMENSIONAIS

São ondas que se propagam em apenas uma dimensão. Como exemplo, podemos citar as ondas em uma corda.

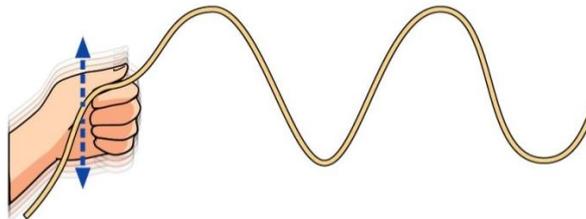


Figura 5: Onda em uma corda.

### 1.4.2. ONDAS BIDIMENSIONAIS

São ondas que se propagam em duas dimensões. Como exemplo, podemos citar as ondas na superfície de um líquido.



Figura 6: Onda na superfície de um líquido.



### 1.4.3. ONDAS TRIDIMENSIONAIS.

São ondas que se propagam em três dimensões. Como exemplo, podemos citar as ondas luminosas.

Para o estudo rigoroso das ondas bidimensionais e tridimensionais, devemos introduzir o conceito de raio e frente de onda.

**Frente de onda:** É a região de fronteira entre o espaço atingido e o espaço não atingido pela onda.

**Raio de onda:** É um segmento orientado com origem na fonte de onda que é perpendicular às frentes de onda. O sentido do raio de onda indica a direção de propagação daquela onda.

A figura abaixo representa as frentes e os raios de onda de uma perturbação na superfície de um líquido.

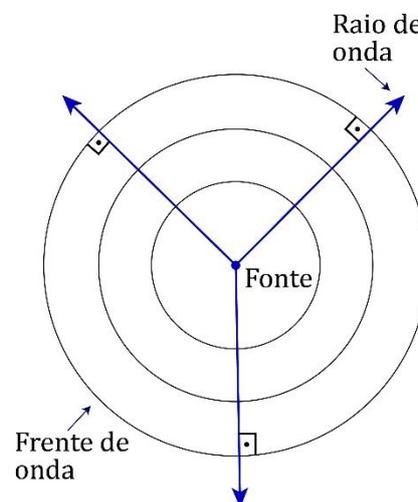
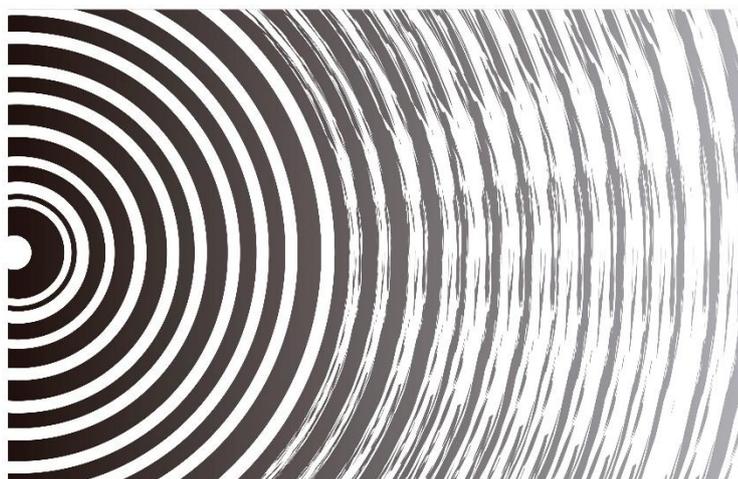


Figura 7: Frentes e raios de ondas



## 2. EQUAÇÃO GERAL DE ONDA

Podemos associar uma onda a uma função de duas variáveis  $y(x, t) = y$ . Entretanto, nem toda função que é dependente do espaço e do tempo é uma onda. Para que se tenha uma onda, a função deve respeitar a seguinte equação:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

A equação acima é chamada de equação geral da onda. Ela se baseia nas derivadas parciais de segunda ordem em relação à posição e ao tempo. O fator de proporcionalidade entre as derivadas parciais é a velocidade de propagação da onda ( $v$ ). Não se assuste com a equação de onda. Basta derivar  $y$  em relação ao tempo e depois derivar  $y$  em relação a  $x$ .

A solução geral dessa equação diferencial é da seguinte forma:

$$y(x, t) = f(a \cdot x \pm b \cdot t)$$

$$\begin{cases} f(a \cdot x + b \cdot t), \text{propagação na direção de } x - \text{negativo} \\ f(a \cdot x - b \cdot t), \text{propagação na direção de } x - \text{positivo} \end{cases}$$

Entretanto, há uma condição para que a função  $f$  satisfaça a equação da onda: A função deve ser finita para qualquer posição em todos os instantes de tempo. Se esta condição for satisfeita, a velocidade de propagação da onda é dada por:

$$v = \frac{\text{coeficiente de "t"}}{\text{coeficiente de "x"}} = \frac{b}{a}$$

ATENÇÃO  
DECORE!



### Exemplo:

Mostre que a equação  $y = A \cdot \text{sen}(\omega t - kx)$  é uma onda. Após isso, encontre sua velocidade de propagação.

### Comentário:

Veja que:

$$y(x, t) = f(\omega t - kx), \text{ onde } f(x) = A \sin(x)$$

Como a função seno é limitada, temos que  $y$  é uma onda, e como o sinal é negativo, a onda se propaga na direção de  $x+$ . Além disso a velocidade vale:

$$v = \frac{\omega}{k}$$

### Exemplo:

$y(x, t) = \frac{0,8}{5+(4x+5t)^2}$  representa a equação de um pulso de onda em que  $x$  e  $y$  estão metros e  $t$  está em segundos. Qual é a direção de propagação do pulso?

**Comentário:**

O aluno deve ver que:

$$y(x, y) = f(4x + 5t), \text{ onde } f(x) = \frac{0,8}{5+x^2}$$

Que é uma função limitada pois o denominador nunca chega a zero.

Como temos o sinal positivo, do exposto anteriormente, temos que a propagação é na direção negativa do eixo  $x$ .



### 3. ONDAS HARMÔNICAS PROGRESSIVAS

Considere a função  $y = f(x)$  e os deslocamentos  $y = f(x + x_0)$  e  $y = f(x - x_0)$ , mostrados na figura abaixo.

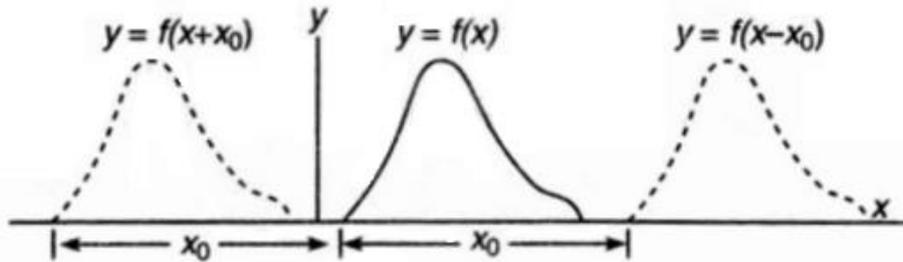


Figura 8: Deslocamentos da função  $y$

Claramente, após realizar os deslocamentos, o perfil da onda não é alterado. Ao deslocar a função, tanto para  $x$  positivo quanto para  $x$  negativo, os valores da imagem apenas trocam seus representantes no domínio da função.

Se fizermos uma transformação de variável do tipo  $x_0 = v \cdot t$ , temos uma função “progredindo no espaço ao longo do tempo”  $y = f(x - v \cdot t)$ . A transformação feita representa um pulso de onda se movendo para a direita com velocidade  $v$ , chamada velocidade de propagação ou velocidade de fase. Se fizermos a transformação oposta  $y = f(x + v \cdot t)$ , temos um pulso que se propaga para a esquerda. Veja as duas representações abaixo.

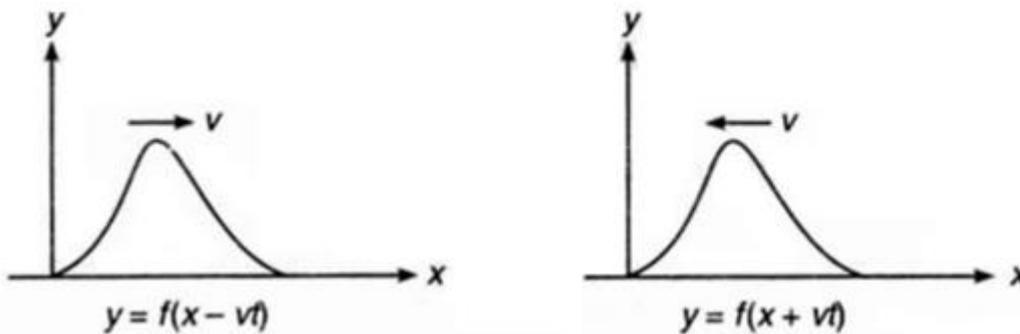


Figura 9: Pulsos se propagando

Deste modo, concluímos que a função de um pulso, representando uma onda harmônica, é da seguinte forma:

$$y = f(x \pm v \cdot t)$$

Quando  $y(x, t)$  é um seno ou cosseno, temos:

$$y(x, t) = A \cdot \text{sen}[k(x - v \cdot t)]$$

$$y(x, t) = A \cdot \text{cos}[k(x - v \cdot t)]$$

Essas equações representam ondas harmônicas progressivas.



## 7. NÚMERO DE ONDA

As ondas harmônicas representadas por seno ou cosseno são ondas periódicas. Para a periodicidade em  $x$  da função seno, temos:

$$y(x, t) = y\left(x + \frac{2\pi}{k}, t\right)$$

$$A \cdot \text{sen}[k(x - v \cdot t)] = A \cdot \text{sen}\left[k\left(x + \frac{2\pi}{k} - v \cdot t\right)\right]$$

$$A \cdot \text{sen}[k(x - v \cdot t)] = A \cdot \text{sen}[k(x - v \cdot t) + 2\pi]$$

Desta maneira, vemos que o fato  $\frac{2\pi}{k}$  representa o período da função periódica. Fisicamente, a variável de comprimento que marca a repetição de uma onda é o comprimento de onda ( $\lambda$ ). Assim, temos:

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} \Rightarrow \boxed{k = \frac{2\pi}{\lambda}}$$

A constante  $k$  é chamada de número de onda.

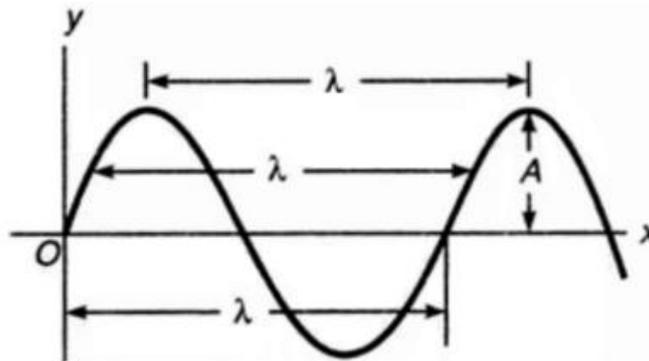


Figura 10: Comprimento de onda e amplitude da onda harmônica progressiva

## 8. FREQUÊNCIA ANGULAR

Definimos a frequência angular  $\omega$  como o produto entre o número de onda e a velocidade de propagação.

$$\omega = k \cdot v \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot v \quad (I)$$

Da frequência angular e seus aspectos cinemáticos, temos:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (II)$$

Relacionando as equações (1) e (2), temos:

$$2\pi f = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot v \Rightarrow \boxed{v = \lambda \cdot f}$$

A equação acima é a chamada de equação fundamental da ondulatória. Ela relaciona a velocidade de propagação com o comprimento de onda e a frequência de oscilação.



## 9. VELOCIDADE DE OSCILAÇÃO

As partículas do meio onde a onda está propagando oscilam em movimento harmônico simples na direção perpendicular à de propagação.

Considere a onda de equação  $y(x, t) = A \cdot \text{sen}(kx - \omega t)$ :

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = -A \cdot \omega \cdot \cos(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial x} = A \cdot k \cdot \cos(kx - \omega t)$$

Podemos reescrever da seguinte maneira:

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = \left(\frac{\omega}{k}\right) \cdot \frac{\partial y(x, t)}{\partial x}$$

$$v = \frac{\omega}{k} = \textit{velocidade de propagação da onda}$$

$$V_p = \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = \textit{Velocidade de oscilação da partícula}$$

$$m = \frac{\partial y(x, t)}{\partial x} = \textit{Inclinação da reta tangente à função}$$

Assim, podemos escrever:

$$\boxed{V_p = -v \cdot m}$$

## 10. ACELERAÇÃO DE OSCILAÇÃO

Para a aceleração da partícula, fazemos as próximas derivadas parciais.

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = -A \cdot \omega^2 \cdot \cos(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = -\omega^2 \cdot y(x, t)$$

Assim, definimos aceleração da seguinte maneira:

$$a_p = \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = \textit{aceleração de oscilação da partícula}$$

∴

$$\boxed{a_p = -\omega^2 \cdot y(x, t)}$$

Utilizando a figura abaixo, podemos agora analisar as velocidades em cada ponto da onda progressiva.

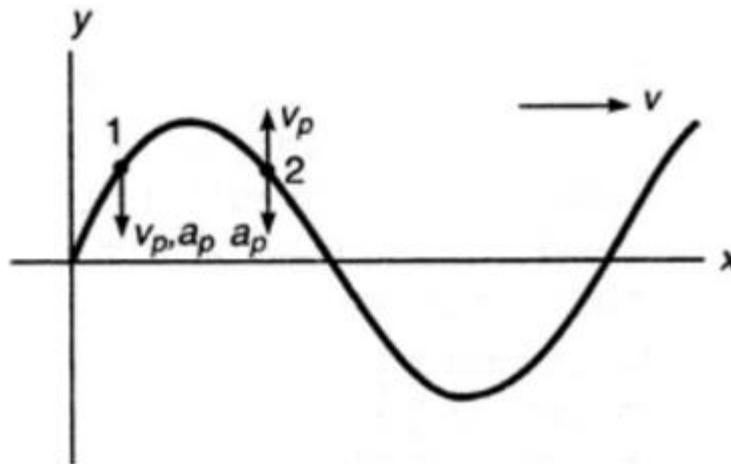


Figura 11: Análise da velocidade e aceleração de oscilação

Para os pontos (1) e (2) a velocidade de propagação é positiva ( $v > 0$ ).

Para o ponto (1), a inclinação da reta tangente é positiva ( $m > 0$ ). Dessa forma, da equação  $V_p = -v \cdot m$  tiramos que a velocidade de oscilação é negativa. Da mesma maneira, a posição de oscilação é positiva ( $y(x, t) > 0$ ) e, portanto, pela equação  $a_p = -\omega^2 \cdot y(x, t)$  a aceleração é negativa.

Para o ponto (2), a inclinação da reta tangente é negativa ( $m < 0$ ). Dessa forma, da equação  $V_p = -v \cdot m$  tiramos que a velocidade de oscilação é positiva. Entretanto, a posição de oscilação é positiva ( $y(x, t) > 0$ ) e, portanto, pela equação  $a_p = -\omega^2 \cdot y(x, t)$  a aceleração também é negativa.

ATENÇÃO  
DECORE!



**Exemplo:**

Considere a seguinte equação de onda:

$$y(x, t) = 0,05 \cdot \text{sen} \left[ \frac{\pi}{2} (10x - 40t) - \frac{\pi}{4} \right]$$

- a) Encontre o comprimento de onda, a frequência e a velocidade de propagação.
- b) Encontre a velocidade de oscilação em  $x = 0,5 \text{ m}$  e  $t = 0,05 \text{ s}$ .

**Comentário:**

a)

A equação pode ser escrita da seguinte forma:

$$y(x, t) = 0,05 \cdot \text{sen} \left[ 5\pi x - 20\pi t - \frac{\pi}{4} \right]$$

Comparando com a equação de onda progressiva  $y(x, t) = A \cdot \text{sen}(kx - \omega t + \varphi_0)$ , temos:

$$k = 5\pi = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \boxed{\lambda = 0,4 \text{ m}}$$

A frequência angular é dada por:

$$\omega = 20\pi = 2\pi f$$



$$f = 10 \text{ Hz}$$

Da equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = 4 \text{ m/s}$$

b)

A velocidade de oscilação é dada por:

$$V_p = -v \frac{\partial y}{\partial x} = -4 \cdot 0,05 \cdot (5\pi) \cdot \cos\left(5\pi \cdot 0,5 - 20\pi \cdot 0,05 - \frac{\pi}{4}\right)$$
$$\Rightarrow V_p \cong 2,21 \text{ m/s}$$



## 4. ONDA TRANSVERSAL NA CORDA

Considere um pulso de onda que está se propagando em uma corda de densidade linear de massa  $\mu$  que está tensionada por uma força  $T$ .

Considere um trecho infinitesimal  $dx$  da corda. Esse trecho corresponde ao segmento de corda entre os pontos A e B.

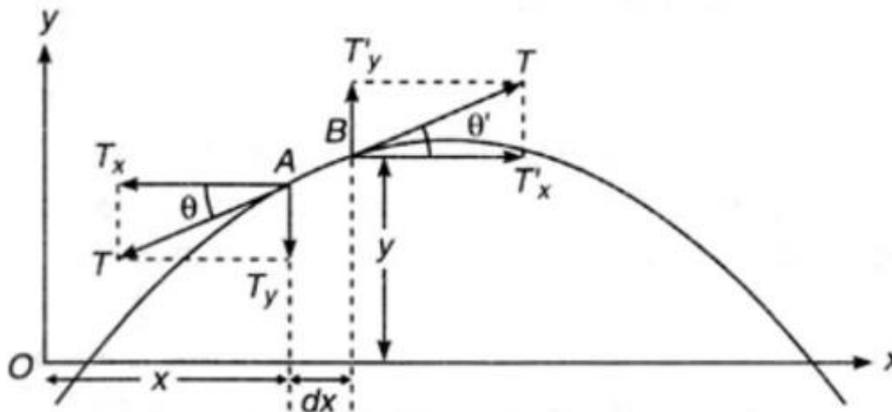


Figura 12: Trecho de corda com a onda propagando-se

Devido a curvatura da corda, as forças  $T$  e  $T'$  não são opostas. A resultante vertical no trecho AB é dada por:

$$F_Y = T'_Y - T_Y$$

$$F_Y = T \cdot (\text{sen}\theta - \text{sen}\theta')$$

Como os ângulos  $\theta$  e  $\theta'$  são próximos e pequenos:

$$d(\text{sen}\theta) \cong \text{sen}\theta - \text{sen}\theta' \approx \theta - \theta' = d\theta \cong d(\text{tg}\theta)$$

$$F_Y = T \cdot d\theta = T \cdot d(\text{tg}\theta)$$

$$F_Y = T \cdot d\theta = T \cdot \frac{d}{dx}(\text{tg}\theta) \cdot dx$$

Sabemos da geometria analítica que  $\text{tg}\theta$  é inclinação da reta tangente à curva.

$$\text{tg}\theta = \frac{dy}{dx}$$

$$F_Y = T \cdot \frac{d}{dx} \left( \frac{dy}{dx} \right) \cdot dx$$

$$F_Y = T \cdot \left( \frac{d^2y}{dx^2} \right) \cdot dx$$

A componente vertical das diferenças de tração  $F_Y$  é a resultante de forças no trecho AB.

$$F_Y = m_{AB} \cdot a$$

$$F_Y = (\mu \cdot dx) \cdot \frac{d^2y}{dt^2} = T \cdot \left( \frac{d^2y}{dx^2} \right) \cdot dx$$



$$\frac{dy^2}{dt^2} = \frac{T}{\mu} \cdot \left( \frac{d^2y}{dx^2} \right) \quad (I)$$

Sabemos da equação da onda que:

$$\frac{dy^2}{dt^2} = v^2 \cdot \left( \frac{d^2y}{dx^2} \right)$$

Comparando as duas equações, temos:

$$v^2 = \frac{T}{\mu}$$

Então:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Encontramos que a velocidade de propagação de uma onda em uma corda depende da tração que esta corda está submetida e de sua densidade linear de massa.

Podemos reescrever essa equação em termos da densidade da corda ( $\rho$ ) e de sua área de seção ( $A$ ):

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{m \cdot A}{L \cdot A} = \rho \cdot A \Rightarrow v = \sqrt{\frac{T}{\rho \cdot A}}$$

Além disso, se quisermos utilizar o conceito de tensão ao invés de tração, podemos manipular da seguinte maneira:

$$\text{Tensão} = \frac{T}{A} = Y$$

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

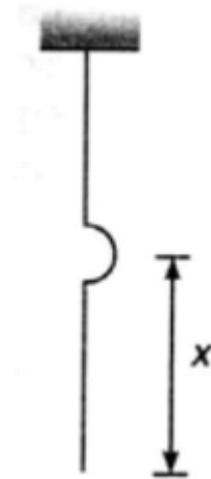
ATENÇÃO  
DECORE!



**Exemplo:**

(IME – 2017) Considere uma corda pendurada no teto de uma sala de aula. Calcule o intervalo de tempo para um pulso ondulatório percorrer toda a corda. O comprimento da corda é  $L$ , sua densidade linear é  $\mu$  e a gravidade local vale  $g$ .

**Comentário:**



Considere o pulso a uma dada distância  $x$ . A massa do comprimento  $x$  de corda é dado por:

$$m = \frac{M}{L} x$$

A tração é:

$$T = mg = \frac{M}{L} xg = \mu xg$$

Da velocidade de uma onda na corda:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{\mu xg}{\mu}} = \sqrt{xg}$$

$$v^2 = xg$$

Podemos associar a equação acima à equação de Torricelli  $v^2 = v_0^2 \pm 2ax$ . Percebemos que o pulso tem aceleração constante que vale:

$$a = \frac{g}{2}$$

Desta maneira, o tempo gasto para percorrer toda a corda é dado por:

$$L = \frac{g t^2}{2} \Rightarrow t = 2 \sqrt{\frac{L}{g}}$$



ACORDE!



## 5. ENERGIA DA ONDA PROGRESSIVA

Para produzir uma oscilação nas partículas do meio onde a onda se propaga, um gasto de energia deve ser realizado. Associamos essa energia gasta à energia da onda. Como a onda se propaga, cada porção do meio exerce uma força e realiza um trabalho sobre a porção adjacente.

### 13. DENSIDADE DE ENERGIA

Por densidade de energia da onda progressiva plana, entendemos a energia mecânica total (cinética + potencial) por unidade de volume do meio pelo qual a onda está passando.

Primeiramente, iremos calcular a energia cinética por volume do meio. Considere uma onda de equação  $y(x, t) = A \cdot \text{sen}(kx - \omega t)$  que se propaga em uma corda de densidade  $\rho$  e área de seção  $S$ . A velocidade da onda é dada por  $dy/dx$ .

$$\frac{K}{\Delta V} = \Delta K = \textit{energia cinética por volume}$$

$$\Delta K = \frac{\frac{1}{2}(\Delta m) \cdot \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}{\Delta V}$$

$$\Delta K = \frac{1}{2}(\rho) \cdot \left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

Da equação da onda, temos a velocidade (A=amplitude):

$$\frac{dy}{dt} = -A\omega \cdot \cos(kx - \omega t)$$

Substituindo na equação da energia cinética por unidade de volume, vem:

$$\Delta K = \frac{1}{2}(\rho) \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2(kx - \omega t) \quad (I)$$

Para calcular a energia potencial por volume, devemos relacionar a inclinação da reta tangente e a tração na corda.

$$\frac{U}{\Delta V} = \Delta U = \textit{energia potencial por volume}$$

$$\Delta U = \frac{1}{2}(\rho)v^2 \cdot \left(\frac{dy}{dx}\right)^2$$



Da inclinação:

$$\frac{dy}{dx} = A \cdot k \cdot \cos(kx - \omega t)$$

Substituindo na equação da energia potencial por unidade de volume, vem:

$$\Delta U = \frac{1}{2}(\rho) \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2(kx - \omega t) \quad (II)$$

Para saber a densidade de energia total por volume ( $u$ ), devemos somar a contribuição da cinética e da potencial. Usando as equações (I) e (II), temos:

$$u = \Delta K + \Delta U$$

$$u = (\rho) \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2(kx - \omega t)$$

O valor médio de  $\cos^2(kx - \omega t)$  no tempo é  $1/2$ . Portanto:

$$u = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2$$

## 14. POTÊNCIA

A potência de uma onda é a taxa instantânea com a qual a energia é transferida ao longo da corda (se considerarmos uma onda progressiva em uma corda).

Em uma unidade de tempo, a onda progrediu uma distância ( $v \cdot 1$ ). Se a área de seção da corda é  $S$ , então o volume de comprimento percorrido foi  $v \cdot 1 \cdot S$ . Dessa maneira, a energia transmitida por unidade de tempo é dada por:

$$P = (\text{densidade volumétrica de energia}) \cdot \left(\frac{\text{volume}}{\text{tempo}}\right)$$

$$P = u \cdot (v \cdot S)$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot v \cdot S$$

## 15. INTENSIDADE

A intensidade de uma onda é a medida de quanta energia atravessa uma dada seção. Para uma onda progressiva na corda, dividiremos a potência pela seção da corda.

$$I = \frac{P}{S}$$

$$I = \frac{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot v \cdot S}{S} \Rightarrow I = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot v$$



## 16. INTENSIDADE E POTÊNCIA PARA FONTES PONTUAIS

Embora as relações deduzidas para potência e intensidade terem sido baseadas na onda transversal progressiva em cordas, podemos adaptá-las para outras situações.

Para fontes pontuais a emissão de ondas é uniforme em todas as direções. A energia a uma distância  $r$  da fonte é distribuída uniformemente por uma superfície esférica de raio  $r$  e área  $4\pi r^2$ .

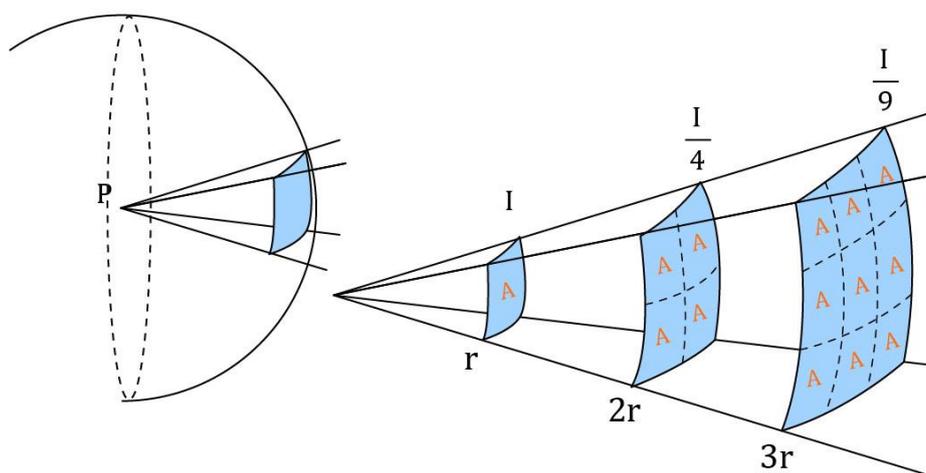


Figura 13: Fonte pontual  $P$  e superfícies esféricas.

Dessa maneira, para uma fonte pontual de potência  $P$ , podemos dizer que a intensidade é dada por:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Assim, percebe-se que a intensidade é inversamente proporcional ao quadrado distância até a fonte.

$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

Como a amplitude  $A \propto \sqrt{I}$ , uma onda esférica harmônica emitida de uma fonte pontual pode ser escrita como:

$$y(r, t) = \frac{A}{r} \text{sen}(kr - \omega t)$$

Escrevendo da maneira acima enunciada, podemos utilizar todas as relações já deduzidas anteriormente. Nenhuma alteração precisará ser feita.



ACORDE!



## 6. SUPERPOSIÇÃO DE ONDAS

### 18. PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO

Duas ou mais ondas podem se propagar simultaneamente em um meio sem afetar o movimento umas das outras. Entretanto, o deslocamento resultante de cada partícula do meio em qualquer instante é a soma vetorial dos deslocamentos produzidas por cada onda separadamente. Matematicamente, podemos enunciar o princípio da superposição da seguinte maneira:

$$y(x, t) = \sum_{i=1}^n y_i(x, t)$$

O princípio da superposição garante que duas ondas diferentes podem se propagar no mesmo meio sem “atrapalharem” umas às outras.

Como exemplo, considere uma longa corda AB. De suas extremidades foram lançados dois pulsos com velocidades opostas. Veja a figura abaixo:

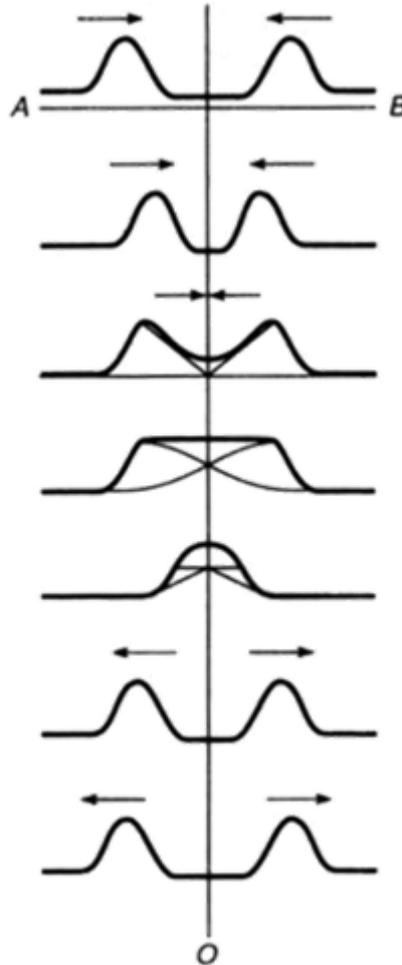


Figura 14: Superposição de dois pulsos

Note que ao se cruzar os pulsos se interferem e geram um novo pulso resultante. Porém, após a interferência, seguem sua propagação normalmente. Não há perda de nenhuma propriedade individual de cada pulso.

## 19. CARACTERÍSTICAS DA SUPERPOSIÇÃO

Considere a superposição de duas ondas senoidais com mesma frequência em um ponto. Iremos assumir que as ondas estão viajando para a mesma direção e com a mesma velocidade. Dessa maneira, a equação das duas ondas são:

$$y_1 = A_1 \cdot \text{sen}(kx - \omega t)$$

$$y_2 = A_2 \cdot \text{sen}(kx - \omega t + \varphi)$$

Para efetuar a superposição das ondas, basta somá-las:

$$y = y_1 + y_2$$

$$y = A_1 \cdot \text{sen}(kx - \omega t) + A_2 \cdot \text{sen}(kx - \omega t + \varphi)$$

$$y = A_1 \cdot \text{sen}(kx - \omega t) + A_2 \cdot \text{sen}(kx - \omega t) \cos\varphi + A_2 \cdot \cos(kx - \omega t) \text{sen}\varphi$$

$$y = (A_1 + A_2 \cos\varphi) \cdot \text{sen}(kx - \omega t) + (A_2 \cdot \text{sen}\varphi) \cdot \cos(kx - \omega t)$$

Podemos realizar a seguinte troca:



$$(A_1 + A_2 \cos \phi) = A \cos \theta$$

$$(A_2 \cdot \sin \phi) = A \sin \theta$$

Daí, temos:

$$y = A \cos \theta \cdot \sin(kx - \omega t) + A \sin \theta \cdot \cos(kx - \omega t)$$

$$y = A \sin(kx - \omega t + \theta)$$

A amplitude resultante  $A$ , pode ser determinada da seguinte maneira:

$$(A_1 + A_2 \cos \phi)^2 = A^2 \cos^2 \theta$$

$$(A_2 \cdot \sin \phi)^2 = A^2 \sin^2 \theta$$

Somando as duas equações, vem:

$$A^2 = (A_1 + A_2 \cos \phi)^2 + (A_2 \cdot \sin \phi)^2$$

$$A = \sqrt{(A_1 + A_2 \cos \phi)^2 + (A_2 \cdot \sin \phi)^2}$$

Já o ângulo theta pode ser determinado dividindo-se as duas equações:

$$\tan \theta = \frac{A_2 \sin \phi}{A_1 + A_2 \cos \phi}$$

## 20. ABORDAGEM POR FASORES

Podemos abordar a superposição de ondas utilizando fasores. Na física um vetor de fase ou fasor, é uma representação de uma função senoidal cuja amplitude ( $A$ ), frequência angular ( $\omega$ ) e fase ( $\theta$ ) são invariantes no tempo.

As duas ondas acima podem ser representadas pelos seguintes fasores:

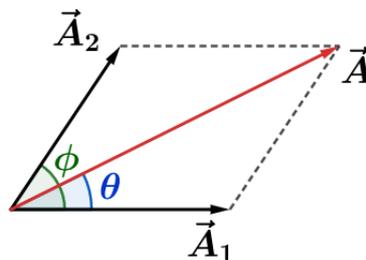


Figura 15: Representação por fasores

A notação de fasores é interessante para determinar de forma rápida e prática a amplitude e a fase resultante da superposição de ondas com mesma frequência angular.

Note que pela representação ser feita por vetores, podemos utilizar a geometria para determinar as grandezas que desejamos obter. Faremos um exemplo abaixo para elucidar a ideia de fasor.



ATENÇÃO  
DECORE!



**Exemplo:**

Duas ondas harmônicas são representadas no SI, por:

$$\begin{cases} y_1 = 0,2\text{sen}(x - 3t) \\ y_2 = 0,2\text{sen}\left(x - 3t + \frac{\pi}{2}\right) \end{cases}$$

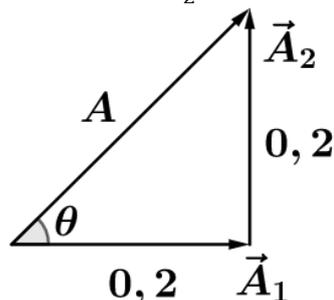
Determine a equação da onda gerada pela superposição das duas ondas acima.

**Comentário:**

Fazendo a superposição temos:

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 \\ y &= 0,2\text{sen}(x - 3t) + 0,2\text{sen}\left(x - 3t + \frac{\pi}{2}\right) \\ y &= A\text{sen}(x - 3t + \theta) \end{aligned}$$

Para determinar a amplitude e a fase, iremos usar o conceito de fasor. Como temos a diferença de fase entre as duas ondas como  $\frac{\pi}{2}$ , temos um triângulo retângulo:



Assim, tiramos que a amplitude é de  $0,2\sqrt{2} \text{ m}$  e a fase é dada por  $\theta = 45^\circ$ .

ACORDE!





## 7. REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE ONDAS

Antes de começar a refletir e refratar uma onda, a partir de uma fronteira onde dois meios de comunicação se separam, vamos falar de meios densos e meios rarefeitos. Diz-se que um meio é mais denso (em relação ao outro) se a velocidade da onda nesse meio for menor que a velocidade da onda no outro meio. Assim, é a velocidade da onda que decide se o meio é mais denso ou mais rarefeito para aquela onda específica.

Para uma mesma onda, a velocidade no meio denso é menor que a velocidade no meio rarefeito.

$$v_{denso} < v_{rarefeito}$$

Dessa maneira, iremos analisar as variações nas grandezas físicas ondulatórias que envolvem a reflexão e a refração das ondas.

Para a reflexão das ondas, respeitaremos o princípio básico da reflexão:

$$\textit{Angulo de incidencia} = \textit{Angulo de reflexão}$$

Para a refração das ondas, respeitaremos o princípio da lei de Snell:

$$\frac{\text{sen}(\theta_1)}{v_{rarefeito}} = \frac{\text{sen}(\theta_2)}{v_{denso}}$$

Considere a situação onde a onda está propagando de um meio mais denso e para um mais rarefeito.

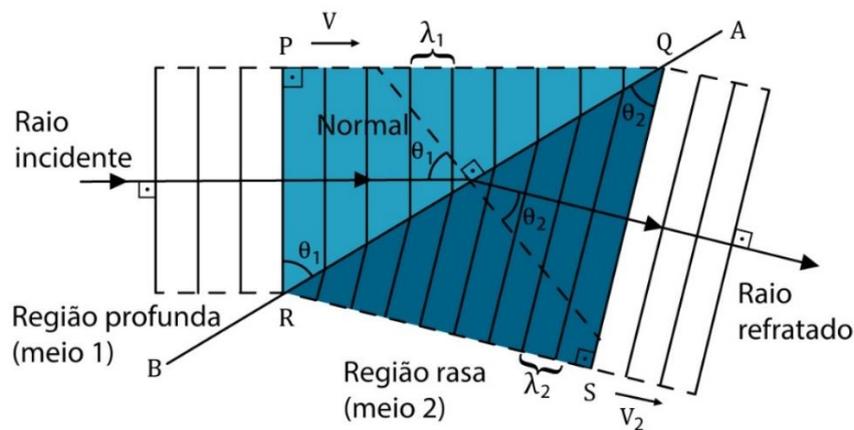


Figura 16: Onda sofrendo refração.

De imediato, como a onda vem de um meio mais rarefeito e refrata para um meio mais denso, a sua velocidade de propagação diminui. Assim, pela lei de Snell:

$$v_{denso} < v_{rarefeito} \Rightarrow \theta_2 < \theta_1$$

Veremos agora, o que ocorre com cada grandeza física quando a onda reflete e refrata na fronteira entre dois meios.



## 22. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO ( $v$ )

A velocidade de propagação de uma onda depende das características do meio.

Reflexão	Para a reflexão o meio não muda e, portanto, não há mudança na velocidade de propagação
Refração	<p><b>Para a refração há mudança de meio. A mudança de velocidade pode ser determinada pela lei de Snell:</b></p> $\frac{\text{sen}(\theta_1)}{v_{\text{rarefeito}}} = \frac{\text{sen}(\theta_2)}{v_{\text{denso}}}$

## 23. FREQUÊNCIA ( $f$ ), PERÍODO ( $T$ ) E FREQUÊNCIA ANGULAR ( $\omega$ )

Essas três grandezas se relacionam da seguinte maneira:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

A frequência de uma onda só depende da fonte que a origina. A frequência é a medida de oscilações e, portanto, não depende do meio.

Reflexão	Não há mudança na frequência
Refração	<b>Não há mudança na frequência</b>

## 24. COMPRIMENTO DE ONDA ( $\lambda$ )

O comprimento de onda se relaciona com a velocidade de propagação e a frequência da onda pela equação fundamental da ondulatória:

$$v = \lambda \cdot f$$

Assim, como a frequência é um valor constante, o comprimento de onda muda proporcionalmente à velocidade.

Reflexão	Para a reflexão o meio não muda e, portanto, não há mudança no comprimento de onda.
----------	---



Refração	<p>Para a refração há mudança de meio. A mudança de comprimento de onda pode ser determinada pela lei de Snell:</p> $\frac{\text{sen}(\theta_1)}{\lambda_{\text{rarefeito}}} = \frac{\text{sen}(\theta_2)}{\lambda_{\text{denso}}}$
----------	---

## 25. AMPLITUDE ( $A$ ) E INTENSIDADE ( $I$ )

A expressão para a intensidade de uma onda é:

$$I = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot v$$

$$I \propto A^2$$

Quando a onda incide na fronteira entre dois meios parte da onda é refletida e a outra parte é refratada. Dessa maneira, a amplitude e conseqüentemente a intensidade são alteradas.

Reflexão	Há mudança.
Refração	<b>Há mudança.</b>

## 26. FASE ( $\varphi$ )

A fase de uma onda só é alterada na reflexão.

Reflexão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se a onda vai do meio mais denso para o meio menos denso <math>\Delta\varphi = 0</math></li> <li>• Se a onda vai do meio menos denso para o meio mais denso <math>\Delta\varphi = \pi</math></li> </ul>
Refração	<b>Há mudança de fase.</b>



## 27. REFLEXÃO DE PULSOS NA MESMA CORDA

### 7.6.1. EXTREMIDADE FIXA

Quando um pulso que viaja ao longo de uma corda chega até sua extremidade, ele é refletido. Se a extremidade for fixa como na figura (15), o pulso retornará invertido. Isso ocorre porque, quando a borda principal atinge a parede, a corda puxa a parede. De acordo com a terceira lei de Newton, a parede exercerá uma força igual e oposta à da corda. Essa força é, portanto, dirigida primeiro para baixo e depois para cima. Produz um pulso que é invertido, mas idêntico ao original.

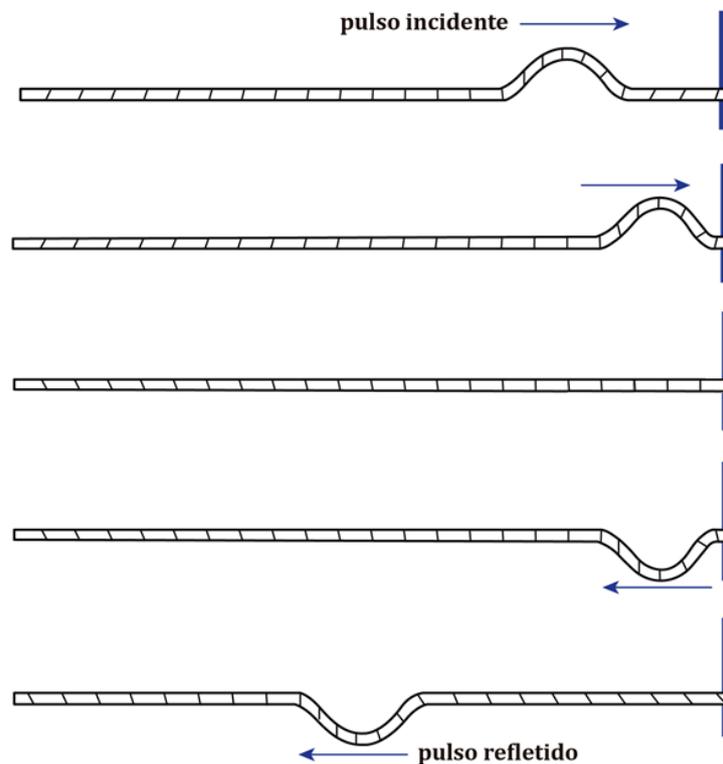


Figura 17: Corda com extremidade fixa.

### 7.6.2. EXTREMIDADE LIVRE

Quando uma onda chega a essa extremidade livre, o anel desliza ao longo da haste. O anel atinge um deslocamento máximo. Nesta posição, o anel e a corda param momentaneamente, como no segundo desenho da figura (18).

Entretanto, a corda é esticada nessa posição, aumentando a tensão, de modo que a extremidade livre da corda é puxada para baixo e, novamente, um pulso refletido é produzido, mas agora a direção do deslocamento é a mesma do pulso inicial.

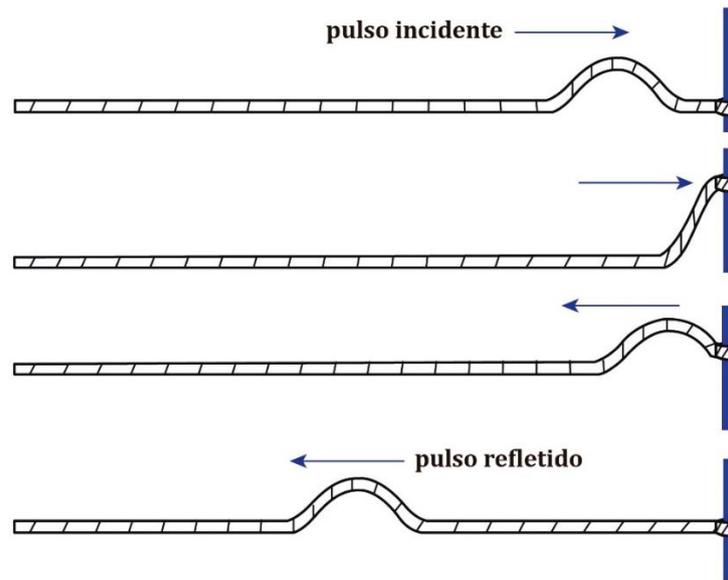


Figura 18: Corda com extremidade livre.

### 7.6.3. PROPRIEDADE DO PULSO REFLETIDO

A formação do pulso refletido é similar a superposição de dois pulsos viajando em direções opostas. O deslocamento líquido em cada ponto é dado pelo princípio da superposição. Veja o esquema da figura abaixo.

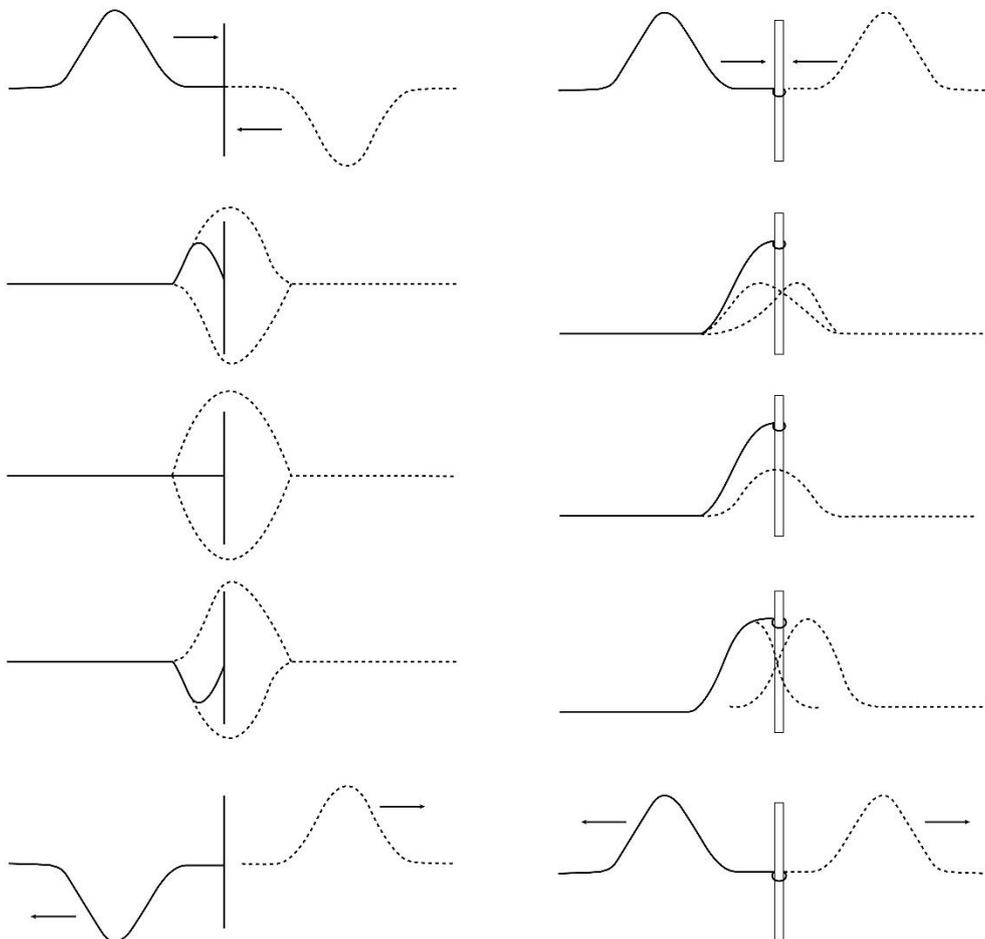


Figura 19: Princípio da superposição dos pulsos



## 28. REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE PULSOS PARA CORDAS UNIDAS

Como caso geral, um pulso pode encontrar a fronteira entre uma corda leve e uma corda pesada. Isso resulta em reflexão parcial e transmissão parcial. Como as tensões são as mesmas, as magnitudes relativas das velocidades das ondas são determinadas pelas densidades de massa.

Na figura (20), o pulso se aproxima da corda leve. A corda pesada se comporta como uma parede, mas pode se mover e, portanto, parte do pulso original é transmitida à corda pesada.

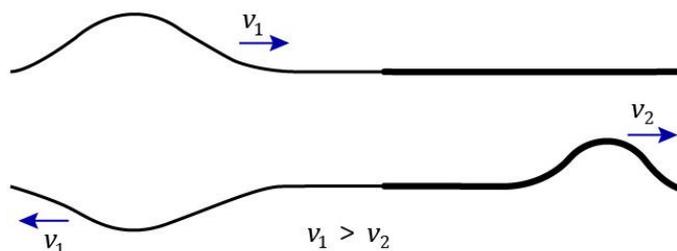


Figura 20: Pulso se propagando da corda menos densa para a mais densa

Na figura (19) o pulso se aproxima de uma corda pesada. A corda leve oferece pouca resistência e agora se aproxima de uma extremidade livre. Consequentemente, o pulso refletido não é invertido.

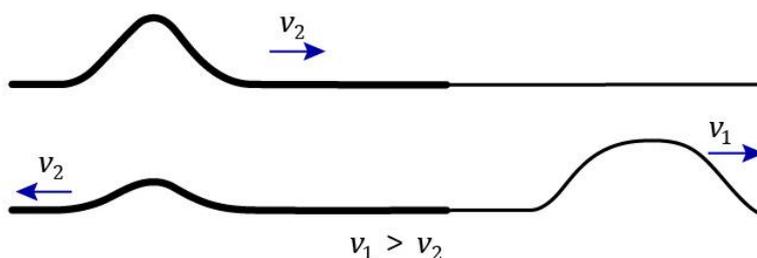


Figura 21: Pulso se propagando da corda mais densa para a menos densa

Agora, considere duas cordas unidas submetidas a mesma tração. Uma das cordas tem densidade linear de massa  $\mu_1$  e a outra  $\mu_2$ . Considere que as equações das ondas incidentes, refletida e transmitida são, respectivamente:

$$y_i = A_i \cdot \text{sen}(k_1 x - \omega t)$$

$$y_r = A_r \cdot \text{sen}(k_1 x + \omega t)$$

$$y_t = A_t \cdot \text{sen}(k_2 x - \omega t)$$

As amplitudes das refletida e transmitida são:

- Em termos das densidades lineares:

$$A_r = \frac{\sqrt{\mu_1} - \sqrt{\mu_2}}{\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2}} \cdot A_i \quad \text{e} \quad A_t = \frac{2\sqrt{\mu_1}}{\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2}} \cdot A_i$$

- Em termos das velocidades:

$$A_r = \frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1} \cdot A_i \quad \text{e} \quad A_t = \frac{2v_2}{v_2 + v_1} \cdot A_i$$

A figura abaixo exemplifica os casos possíveis para a reflexão e transmissão de um pulso.

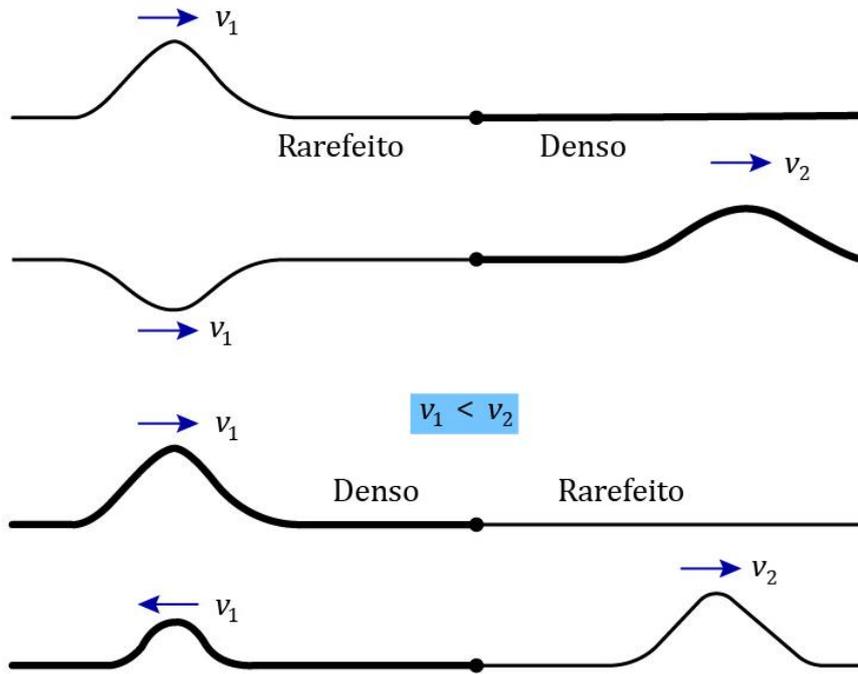


Figura 22: Casos possíveis para reflexão e transmissão



ACORDE!



## 8. ONDAS ESTACIONÁRIAS

Estudaremos o que acontece quando duas ondas harmônicas de mesma frequência e mesma amplitude se propagam através do mesmo meio (corda) em sentidos opostos. Suponha que as equações de onda são:

$$y_1 = A \cdot \text{sen}(kx - \omega t)$$

$$y_2 = A \cdot \text{sen}(kx + \omega t)$$

Pelo princípio da superposição das ondas:

$$y = y_1 + y_2$$

$$y = A \cdot [\text{sen}(kx - \omega t) + \text{sen}(kx + \omega t)]$$

$$y = 2A \cdot \text{sen}(kx) \cdot \cos(\omega t)$$

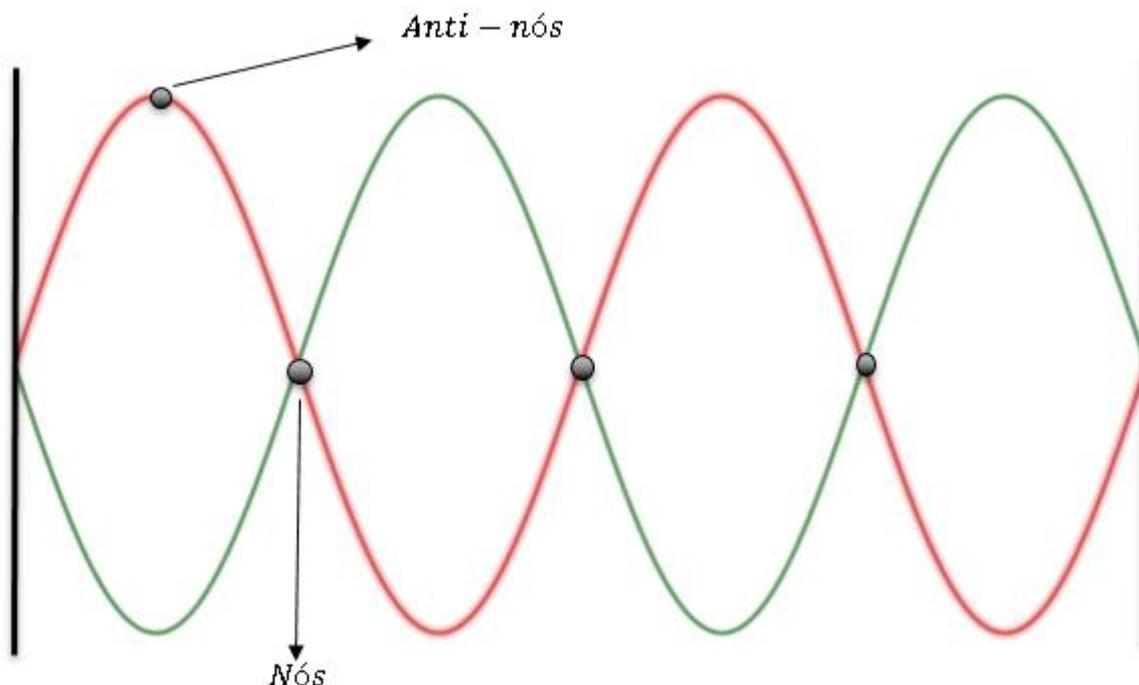


Figura 23: Onda estacionária

A equação acima é chamada de equação da onda estacionária. A expressão é diferente da representação de onda que vimos até agora. Essa expressão não possui a propriedade  $f(x \pm vt)$  e, portanto, não descreve uma onda progressiva.

A equação da onda estacionária pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$y = A(x) \cdot \cos(\omega t)$$

$$A(x) = 2A \cdot \text{sen}(kx)$$



A equação da onda estacionária é uma equação de movimento harmônico simples, em que a amplitude é uma função da posição.

### 30. NÓS

São pontos da onda estacionária em que não deslocamento da posição de equilíbrio. Podemos encontrar as posições dos nós fazendo  $A(x) = 0$ .

$$2A \cdot \text{sen}(kx) = 0$$

$$kx = 2m\pi, m \in \mathbb{Z}$$

$$x = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, \dots, \frac{n\lambda}{2}$$

A distância entre dois nós consecutivos sempre vale  $\frac{\lambda}{2}$ .

### 31. ANTI-NÓS

São pontos da onda estacionária em que deslocamento da posição de equilíbrio é máximo. Podemos encontrar as posições dos anti-nós fazendo  $\text{sen}(kx) = \pm 1$ .

$$kx = \frac{\pi}{2} + 2m\pi, m \in \mathbb{Z}$$

$$x = 0, \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \dots, \frac{(2n-1)\lambda}{4}$$

A distância entre dois anti-nós consecutivos sempre vale  $\frac{\lambda}{2}$ .

### 32. ENERGIA

A energia em uma onda estacionária não se propaga entre nós. A energia fica confinada entre os nós da onda estacionária. Podemos encontrar a energia confinada entre dois nós da onda estacionária. Já deduzimos anteriormente o valor da densidade de energia:

$$u = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2$$

A onda estacionária é formada por duas ondas de mesma amplitude  $A$  e mesma frequência angular  $\omega$ . A corda em que as ondas se propagam tem seção  $S$ . Podemos associar uma energia para cada uma das ondas que forma a estacionária.

$$E_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot (\text{Volume de corda entre nós consecutivos})$$

$$E_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot (\text{Volume de corda entre nós consecutivos})$$

Note que  $E_1 = E_2 = E$ .



$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot \left( S \cdot \frac{\lambda}{2} \right)$$

Como  $\lambda = \frac{2\pi}{k}$ :

$$E = \frac{\pi}{2k} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot S$$

### 33. MODOS NORMAIS DE VIBRAÇÃO

Em um meio contínuo e ilimitado, não há restrição nas frequências ou comprimentos de onda das ondas estacionárias. No entanto, se as ondas estiverem confinadas no espaço - por exemplo, quando uma corda é amarrada em ambas as extremidades, as ondas podem ser configuradas para um conjunto discreto de frequências ou comprimentos de onda. Considere uma corda de comprimento fixo  $L$ , rigidamente presa nas duas extremidades. Quando montamos uma onda senoidal na corda, ela é refletida pelas extremidades fixas. Pela superposição de duas ondas idênticas viajando em direções opostas, ondas estacionárias são estabelecidas na corda.

O único requisito que precisamos satisfazer é que os pontos nas extremidades fixas sejam nós, pois esses pontos não podem oscilar. Eles estão permanentemente em repouso. Pode haver qualquer número de nós entre eles ou nenhum, de modo que a comprimento de onda associada às ondas estacionárias possa assumir valores muito diferentes.

Como distância entre dois nós adjacentes é de  $\frac{\lambda}{2}$  e se a corda tem comprimento  $L$ , temos que:

$$N \cdot \frac{\lambda}{2} = L \Rightarrow \lambda = \frac{2L}{N}$$

Da equação fundamental da ondulatória:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{\sqrt{\frac{T}{\mu}}}{f} \Rightarrow f = \frac{N}{2L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad N = 1, 2, 3, \dots$$

A imagem abaixo representa os quatro primeiros harmônicos de um modo de vibração.

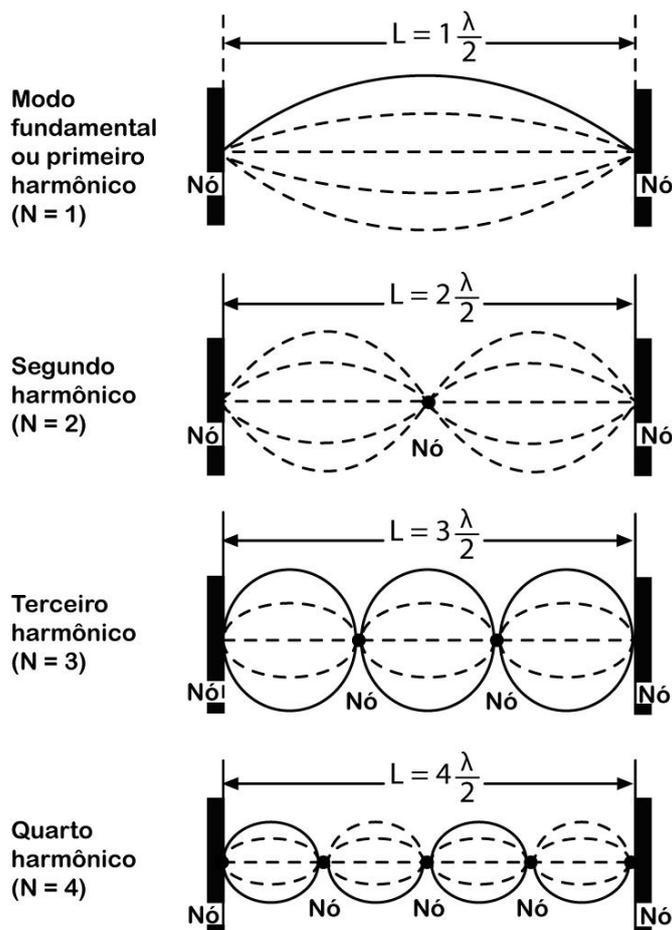


Figura 24: Modos normais de vibração na corda com extremidades fixas

O primeiro modo de vibração ( $n = 1$ ) é chamado de fundamental. Os demais são chamados de segundo harmônico (primeiro sobretom), terceiro harmônico (segundo sobretom) e assim por diante.

A nomenclatura modo normal é devido ao movimento das partículas. Toda vez que as partículas oscilarem em um movimento senoidal, todas com a mesma frequência, teremos um modo normal.

ATENÇÃO  
DECORE!

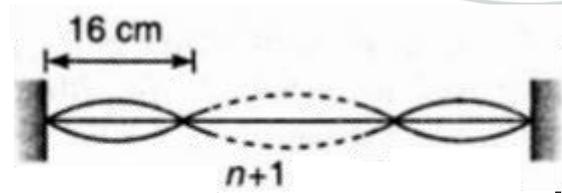
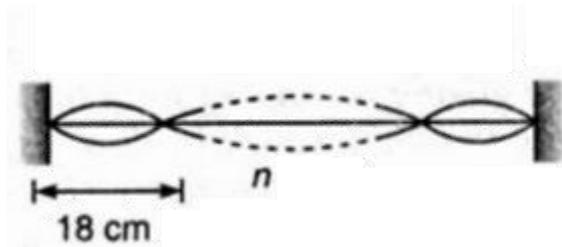


**Exemplo:**

Uma corda que tem as extremidades fixas tem modos normais de vibração consecutivos para distância entre nós consecutivos de 18 cm e 16 cm, respectivamente.

- Qual é o menor comprimento possível para a corda?
- Se a tração na corda é de 10 N e a sua densidade linear é de  $4 \text{ g/m}$ , qual é a sua frequência fundamental?

**Comentário:**



a) Pela figura, podemos escrever:

$$18n = L$$

$$16(n + 1) = L$$

Assim, temos:

$$\boxed{L = 144 \text{ cm}}$$

b) Para a frequência fundamental:

$$f = \frac{1}{2L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot 1,44} \cdot \sqrt{\frac{10}{0,004}}$$

$$\boxed{f = 17,36 \text{ Hz}}$$



## 9. INTRODUÇÃO PARA AS ONDAS SONORAS

De todas as ondas mecânicas que ocorrem na natureza, as mais importantes em nossa vida cotidiana são as ondas longitudinais chamadas ondas sonoras. A razão é que o ouvido humano é tremendamente sensível e pode detectar ondas sonoras mesmo com intensidade muito baixa.

O ouvido humano é sensível a ondas na faixa de frequências de cerca de 20 a 20000 Hz, chamada de faixa audível.

Usamos o termo som para ondas com frequências acima (ultrassônica) e abaixo (infra-sonora) do alcance da audição humana. Nossa principal preocupação neste capítulo é com as ondas sonoras no ar, mas o som pode viajar através de qualquer gás, líquido ou sólido.

### VELOCIDADE DAS ONDAS SONORAS

O som pode se propagar através de qualquer meio. Para cada meio é possível determinar a velocidade do som.

#### SONS EM LÍQUIDOS

A velocidade do som em líquidos é guiada pelo módulo de compressibilidade  $B$ . O módulo de compressibilidade é a propriedade que a matéria apresenta quando sofre a ação de forças uniformemente distribuídas, produzindo uma diminuição de volume.

A velocidade do som em um líquido de densidade  $\rho$  e módulo de compressibilidade  $B$  é dada por:

$$v_{\text{líquido}} = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Essa fórmula também é válida para os gases. Entretanto, para sistemas gasosos iremos refinar ainda mais a expressão.

#### SONS EM SÓLIDOS

Ao contrário dos fluidos, a velocidade do som nos sólidos é guiada pelo módulo de Young ( $Y$ ) do material.

Considere uma barra de densidade  $\rho$  e módulo de Young  $Y$ , a velocidade do som nessa barra é dada por:

$$v_{\text{sólido}} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

#### SONS EM GASES

Como visto no tópico (9.1.1) a velocidade do som em gases é a mesma que nos líquidos.



$$v_{gases} = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Para sistemas gasosos, cabe uma importante pergunta: Quando uma onda viaja através de um gás, as compressões e expansões são adiabáticas ou há condução de calor suficiente entre as camadas adjacentes de gás para manter uma temperatura quase constante durante todo o processo?

Como as condutividades térmicas dos gases são muito pequenas, verifica-se que, para frequências de som comuns (20 Hz a 20000 Hz), a propagação do som é quase adiabática. Assim, na equação acima, usamos o módulo adiabático  $B_s$ , que é dado por:

$$B_s = \gamma \cdot P$$

Em que  $\gamma$  é o coeficiente de Poisson do gás e  $P$  é a pressão do gás. Então, temos:

$$v_{gases} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho}}$$

A densidade de um gás pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\rho = \frac{PM}{RT} \Rightarrow v_{gases} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

### EFEITO DA TEMPERATURA, PRESSÃO E HUMIDADE NA VELOCIDADE DO SOM NO AR

(A) Efeito da temperatura:

Para a equação da velocidade

$$v_{gases} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Temos:

$$v_{gases} \propto \sqrt{T}$$

Portanto:

$$\frac{v_{gases,T1}}{v_{gases,T2}} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

Considere agora a CNTP, temperatura de 0°C ou 273 K e pressão de 1 bar. Se a velocidade do som a 273 K é  $v_0$ , encontraremos a velocidade do som a  $T$  °C.

$$\frac{v_0}{v_T} = \sqrt{\frac{273}{273 + T}}$$

$$v_T = v_0 \left(1 + \frac{T}{273}\right)^{1/2}$$



Para as condições encontradas no planeta Terra, a temperatura  $T$ , que está em graus Celsius, oscila entre  $-60^{\circ}\text{C}$  e  $+60^{\circ}\text{C}$ . Assim, é uma boa aproximação fazer:

$$\left(1 + \frac{T}{273}\right)^{1/2} \approx \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{T}{273}\right)$$

Portanto, considerando que a velocidade do som no ar a  $0^{\circ}\text{C}$  é de aproximadamente  $332\text{ m/s}$ , temos:

$$v_T = 332 \left(1 + \frac{T}{546}\right) \text{ m/s}$$

(B) Efeito da pressão:

Considerando a fórmula:

$$v_{gases} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho}}$$

Podemos inferir que  $v_{gases} \propto \sqrt{P}$ . Entretanto, isso não ocorre. Isso porque, temos:

$$\frac{P}{\rho} = \frac{RT}{M} = \text{Constante para uma temperatura}$$

Dessa maneira, para uma temperatura constante se  $P$  muda de valor a densidade do gás também muda, de tal forma que a razão fique constante. Assim, se a temperatura for constante, a pressão não exerce nenhuma influência sobre a velocidade do som no gás.

(C) Efeito da umidade:

A densidade do ar úmido é menor que a densidade do ar seco. Isso ocorre porque as partículas de poeira pesada do ar úmido se acalmam devido à condensação. Portanto, a densidade do ar diminui, aumentando a velocidade do som. Portanto, assumindo o valor de  $\gamma$  para o ar úmido igual ao do ar seco, resulta da fórmula  $v_{gases} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho}}$  que a velocidade do som no ar úmido é ligeiramente maior que no ar seco.

## INTENSIDADE DAS ONDAS SONORAS

A sensação fisiológica do som está intimamente relacionada à intensidade da onda que produz o som. Com uma frequência de  $1\text{ kHz}$ , as pessoas são capazes de detectar sons com intensidades tão baixas quanto  $10^{-12}\text{ W/m}^2$ .

Por outro lado, uma intensidade de  $1\text{ W/m}^2$  pode causar dor e a exposição prolongada ao som nesse nível danificará os ouvidos de uma pessoa. Como o intervalo de intensidade sobre o qual as pessoas ouvem é tão grande, é conveniente usar uma escala logarítmica para especificar intensidades. Essa escala é definida da seguinte maneira.



Se a intensidade do som for  $I$ , o nível de intensidade  $\beta$  em decibéis (dB) é dada por:

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

Em que a  $I_0 = \text{Limiar da dor} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ .

Podemos montar uma tabela para as algumas intensidades encontradas em nosso cotidiano.

Som	Nível de intensidade (dB)
Sussurrar	20
Sala silenciosa	30
Fala normal	65
Barulho dos carros nas ruas	80
Ferramenta de rebite	100
Trovão	110
Show de Rock	120

ATENÇÃO  
DECORE!



**Exemplo:**

Uma fonte pontual emite uma potência constante. Em quantos decibéis cairá a intensidade sonora se caminharmos no ponto P1 para o ponto P2? A distância de P2 até a fonte é o dobro da distância de P1 até a fonte.

**Comentário:**

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \cdot \left( \log \left( \frac{I_2}{I_0} \right) - \log \left( \frac{I_1}{I_0} \right) \right)$$

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \cdot \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right)$$

Para fontes pontuais:

$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(2R)^2}{R^2} = 4$$

Substituindo na primeira expressão:

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{4} \right)$$

$$\beta_2 - \beta_1 = -6 \text{ dB}$$



## INTERFERÊNCIA DE ONDAS SONORAS

O princípio da superposição também é válido para as ondas sonoras. Quando duas ou mais ondas se encontram em algum momento em um meio, a perturbação resultante é igual à soma das perturbações produzidas por ondas individuais. Dependendo da diferença de fase, as ondas podem interferir construtivamente, levando a um aumento ou diminuição correspondente na intensidade resultante.

Antes de estudar a interferência das ondas sonoras, vamos primeiro discutir os dois termos:

- Diferença de fase.
- Fontes coerentes.

### DIFERENÇA DE FASE

A diferença de fase entre dois pontos diferentes  $P_1$  e  $P_2$ , que tem  $\Delta x$  como diferença de caminho ou diferenças de tempo  $\Delta t = t_2 - t_1$ , é:

$$\frac{\Phi}{2\pi} = \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{\Delta t}{T}$$

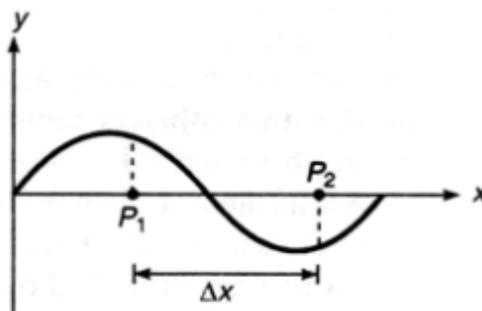


Figura 25: Diferença de caminho.

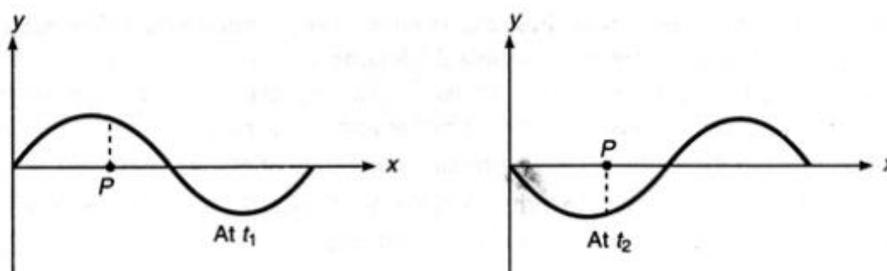


Figura 26: Diferença de tempo.

### FONTES COERENTES

Duas fontes que estão em fase ou têm uma diferença de fase constante são chamadas fontes coerentes. Para que as duas fontes sejam coerentes, suas frequências devem ser as mesmas. Mas o inverso nem sempre é verdadeiro, ou seja, duas fontes diferentes com a mesma frequência nem sempre são coerentes.



Se a diferença de fase das fontes muda aleatoriamente com o tempo, mesmo que tenham a mesma frequência, como as fontes são compostas por um grande número de átomos, não há como ser coerente. Como existem muitos átomos envolvidos em cada fonte e eles não oscilam na fase, elas são incoerentes. Assim, duas fontes de luz diferentes não podem ser coerentes.

### INTERFERÊNCIA

Considere duas fontes coerentes  $S_1$  e  $S_2$  que oscilam em fase com mesma frequência angular  $\omega$ . Um ponto P está situado a uma distância  $x$  de  $S_1$  e  $x + \Delta x$  de  $S_2$ , de tal maneira que a diferença de caminho é  $\Delta x$ .

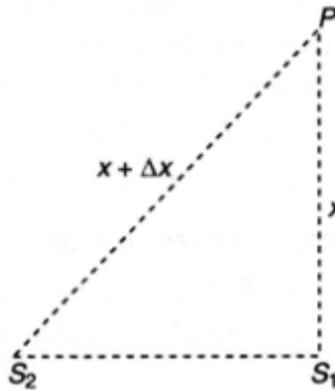


Figura 27: Fontes  $S_1$  e  $S_2$

Podemos modelar as equações de onda da seguinte maneira:

$$y_1 = A_1 \cdot \text{sen}(kx - \omega t)$$

$$y_2 = A_2 \cdot \text{sen}(kx - \omega t + \Phi)$$

Com:

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$$

Desta maneira, a onda resultante no ponto P é dada por:

$$y = A \cdot \text{sen}(kx - \omega t + \theta)$$

Em que a amplitude é dada pela soma fasorial, vista nos tópicos anteriores:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos\Phi$$

Como  $I \propto A^2$ , temos a que a intensidade resultante em P é dada por:

$$I_{P,coerente} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\Phi$$

A partir da expressão acima, podemos montar a seguinte tabela:

	Diferença de fase	Diferença de caminho	Intensidade
Interferência construtiva	$\Phi = 2k\pi, k \in \mathbb{Z}$	$\Delta x = k\lambda, k \in \mathbb{Z}$	$I = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2$



Interferência destrutiva	$\Phi = (2k + 1)\pi, k \in \mathbb{Z}$	$\Delta x = (k + 1)\lambda, k \in \mathbb{Z}$	$I = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2})^2$
--------------------------	--	---	-----------------------------------

Se as fontes são incoerentes, a diferença de fase entre as fontes muda continuamente. Em qualquer ponto P, algumas vezes há interferências construtivas e outras vezes há destrutivas. Se a intensidade devida a cada fonte for  $I$ , a intensidade resultante varia rápida e aleatoriamente entre  $4I$  e zero, de modo que a intensidade média observável é  $2I$ . Se as intensidades devidas a fontes individuais são  $I_1$  e  $I_2$ , a intensidade resultante é:

$$I_{P,incoerente} = I_1 + I_2$$

Portanto, nenhum efeito de interferência é observado. Para a interferência ser observável, as fontes devem ser coerentes. Uma maneira de obter um par de fontes coerentes é obter duas ondas sonoras da mesma fonte, dividindo a onda original por dois caminhos diferentes e combinando-as. As duas ondas diferem na fase apenas por causa dos diferentes caminhos percorridos.

### ONDAS SONORAS EM TUBOS FECHADOS

Para ressonar em um tubo de órgão fechado, as ondas sonoras são enviadas por uma fonte (normalmente um garfo de afinação) perto da extremidade aberta. A ressonância corresponde a um antinó de pressão na extremidade fechada e um nó de pressão na extremidade aberta.

Desta maneira, sempre deverá existir um múltiplo ímpar de  $\lambda/4$  confinado no interior do tubo. Se o tubo tem comprimento  $L$ , temos:

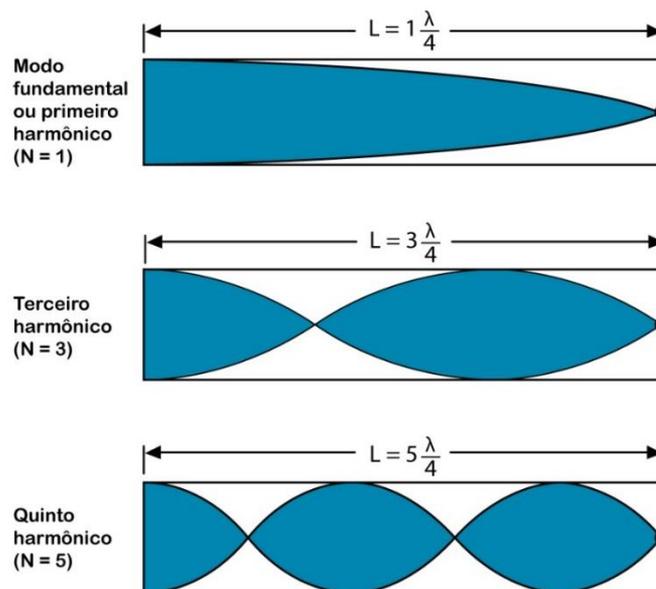


Figura 28: Tubo fechado em uma das extremidades

$$L = N \cdot \frac{\lambda}{4}, N \in \{1, 3, 5, 7, \dots, 2k + 1\}$$



$$L = N \cdot \frac{v}{4 \cdot f}, \quad N \in \{1, 3, 5, 7, \dots, 2k + 1\}$$

$$f = \frac{N \cdot v}{4 \cdot L}, \quad N \in \{1, 3, 5, 7, \dots, 2k + 1\}$$

Em que  $v$  é a velocidade do som no interior do tubo.

- $f_1 = \frac{v}{4 \cdot L} = \text{Frequência fundamental do primeiro harmônico}$
- $f_3 = \frac{3v}{4 \cdot L} = \text{Primeiro sobretom ou terceiro harmônico}$
- $f_5 = \frac{5v}{4 \cdot L} = \text{segundo sobretom ou quinto harmônico}$

Assim, essa sequência se expande indefinidamente.

## ONDAS SONORAS EM TUBOS ABERTOS

Como as duas extremidades do tubo estão abertas, existem nós de pressão nas duas extremidades.

Considere um tubo que tenha comprimento  $L$ . Uma vez que a distância entre os nós de pressão é  $\lambda/4$ , a condição de ressonância é:

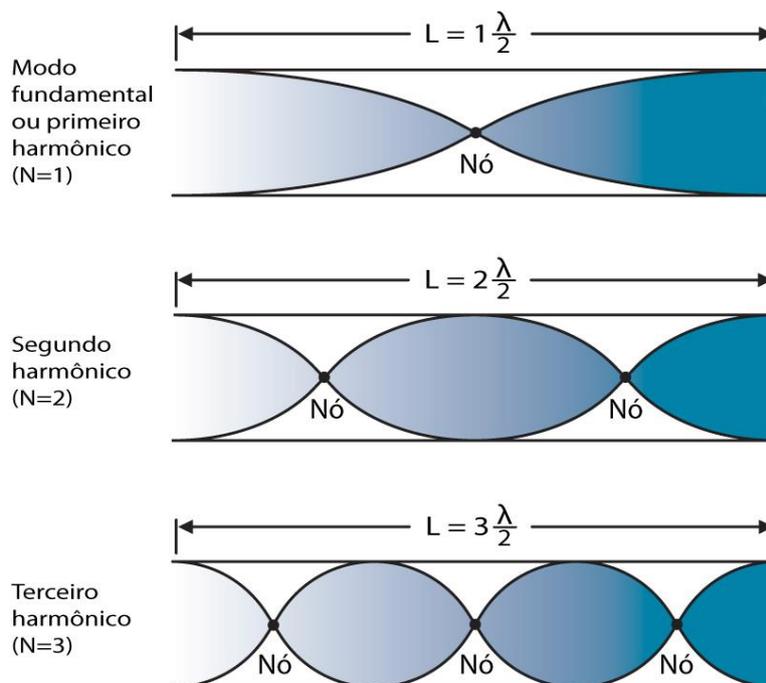


Figura 29: Tubo com duas extremidades abertas.

$$L = N \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad N \in \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$$

$$L = N \cdot \frac{v}{2 \cdot f}, \quad N \in \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$$



$$f = \frac{N \cdot v}{2 \cdot L}, \quad N \in \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$$

Em que  $v$  é a velocidade do som no interior do tubo.

➤  $f_1 = \frac{v}{2 \cdot L} = \text{Frequência fundamental do primeiro harmônico}$

➤  $f_2 = \frac{v}{L} = \text{Primeiro sobretom ou segundo harmônico}$

➤  $f_3 = \frac{3v}{2 \cdot L} = \text{segundo sobretom ou terceiro harmônico}$

Assim, essa sequência se expande indefinidamente.

## BATIMENTOS

Quando duas de onda da mesma frequência viajam ao longo da mesma linha em direções opostas, ondas estacionárias são formadas de acordo com o princípio da superposição. Nas ondas estacionárias, a amplitude é uma função da distância. Isso ilustra um tipo de interferência que podemos chamar de interferência no espaço.

O mesmo princípio de superposição nos leva a outro tipo de interferência, que podemos chamar de interferência no tempo. Ocorre quando duas ondas de frequências ligeiramente diferentes viajam pela mesma região. Se as ondas estiverem em fase em algum momento, a interferência será construtiva e a amplitude resultante nesse momento será  $A_1 + A_2$ , em que  $A_1$  e  $A_2$  são as amplitudes de onda individuais.

Porém, em algum momento posterior ( $t = t_0$ ), como as frequências são diferentes, as ondas ficarão fora de fase ou a interferência será destrutiva e a amplitude resultante será  $A_1 - A_2$ .

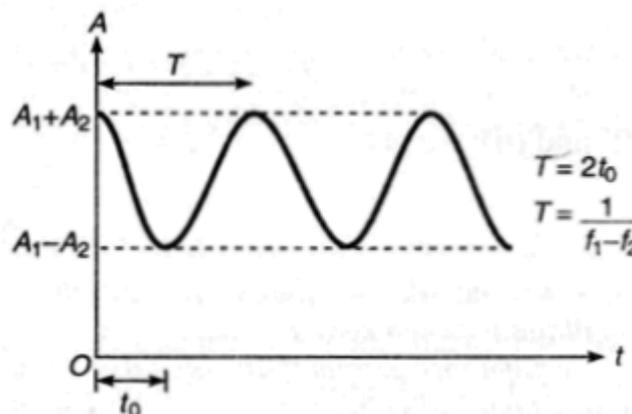


Figura 30: Variação de amplitude e batimento.

Deste modo, a amplitude resultante oscila entre  $A_1 + A_2$  e  $A_1 - A_2$  com um período:

$$T = 2t_0 = \frac{1}{f_1 - f_2}$$

Ou com frequência:



$$f = f_1 - f_2$$

A frequência encontrada acima é chamada de frequência de batimento.

$$\boxed{f_{\text{batimento}} = f_1 - f_2}$$

### CÁLCULO DA FREQUÊNCIA DE BATIMENTO

Considere duas ondas de frequências  $f_1$  e  $f_2$  se encontrando em um mesmo ponto do espaço. Os períodos correspondentes são  $T_1$  e  $T_2$ . Se as duas ondas estão em fase em  $t = 0$ , elas estarão novamente em fase quando a primeira tiver executado exatamente um ciclo a mais que a segunda. Isso ocorre no tempo  $t = T$ , que é o período de batimento.

$$T = n \cdot T_1 \rightarrow f_1 = \frac{n}{T}$$

$$T = (n - 1) \cdot T_2 \rightarrow f_2 = \frac{n - 1}{T}$$

Subtraindo a primeira da segunda, temos:

$$f_1 - f_2 = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f_1 - f_2}$$

$$\boxed{f = \frac{1}{T} = f_1 - f_2}$$

### EQUAÇÃO GERAL DO BATIMENTO

Considere duas ondas com frequências  $f_1$  e  $f_2$ :

$$y_1 = A \sin(kx - 2\pi f_1 t)$$

$$y_2 = A \sin(kx - 2\pi f_2 t)$$

$$y_{\text{res}} = y_1 + y_2 = A(\sin(kx - 2\pi f_1 t) + A \sin(kx - 2\pi f_2 t))$$

Usando prostaferese:

$$y_{\text{res}} = 2A \sin\left(kx - 2\pi \left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right) t\right) \cos\left(2\pi \left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right) t\right)$$

$$y_{\text{res}} = 2A \sin(kx - 2\pi f_{\text{méd}} t) \cos\left(2\pi \left(\frac{f_{\text{bat}}}{2}\right) t\right)$$

No qual:

$$f_{\text{méd}} = \frac{f_2 + f_1}{2}$$



E:

$$f_{bat} = f_2 - f_1$$

Podemos notar que a frequência do cosseno da direita (envelope) é metade da frequência que nós definimos como frequência de batimento. E isso é verdade pois a frequência real dessa onda é  $\frac{f_{bat}}{2}$ , entretanto, como nossos ouvidos não conseguem diferenciar um y negativo de um positivo, somente sua magnitude, a frequência audível se torna  $f_{bat}$ . Ou seja, a frequência da onda que está dentro do cosseno da direita é  $\frac{f_2 - f_1}{2}$ , entretanto a frequência audível é  $f_{bat} = f_2 - f_1$ . Se o exercício te pergunta a frequência de batimento, você usará a audível!

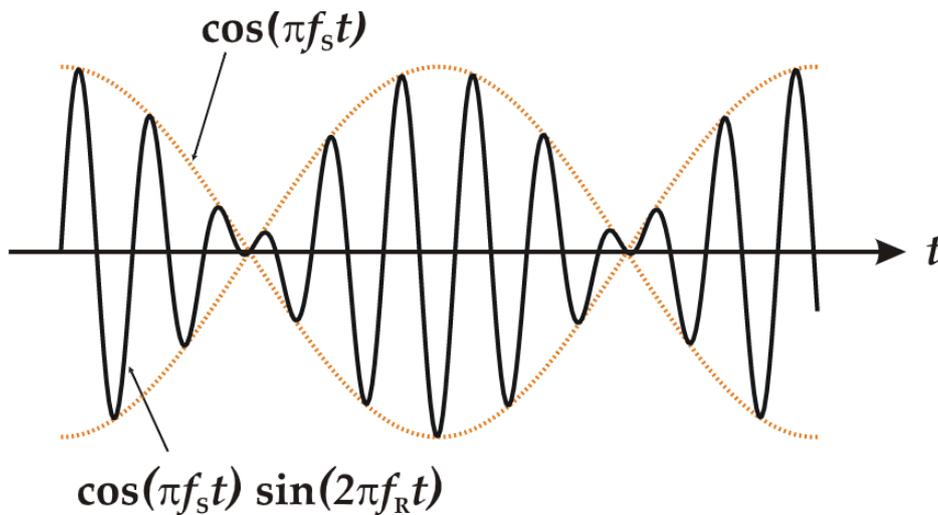


Figura. 31. Representação de um batimento de onda

Por que o batimento é algo importante?

Em primeiro lugar devemos notar que os seres humanos conseguem ouvir sons de 20Hz a 20000 Hz. Lembre-se que essa frequência nada mais é do que a frequência de oscilação das partículas do meio, pois o som nada mais é do que uma perturbação gerada por uma onda de pressão. Agora pense comigo. Um som de 1000 Hz nós conseguimos ouvir. Ele gera um máximo e um mínimo 2000 vezes por segundo. Nós conseguimos identificar os máximos (pontos em que o som tem um volume máximo) e os mínimos (pontos em que o som tem um volume nulo)? Certamente que não! Não conseguimos individualizar algo que se repete 2000 vezes em um segundo, é muito rápido.

Entretanto, se misturarmos dois sons, por exemplo, um de 400 Hz e um de 401 Hz, iremos obter uma onda resultante que terá um batimento de 1 Hz, e esse batimento nós conseguimos notar, pois ele só se repete 1 vez por segundo.

Professor, mas você não acabou de dizer que escutamos sons de 20 Hz para cima somente. Não confunda, não conseguimos escutar frequências fundamentais menores que 20 Hz, mas a frequência de batimento é composta de duas frequências fundamentais audíveis, e o envelope não é um som em si, somente uma modulação de dois sons. Essa modulação aumenta e diminui o volume das frequências fundamentais em si, e isso nós conseguimos ouvir.



Veja abaixo dois links que ilustram esse fenômeno:

<https://en.wikipedia.org/wiki/File:WaveInterference.gif>

Aqui você está vendo as ondas se interferirem e formarem o envelope.

<https://www.youtube.com/watch?v=rmvDu6EY2IE>

Aqui você verá que uma onda de 400 Hz (onde não conseguimos distinguir os altos e baixos) interfere com uma onda de 401 Hz (onde não conseguimos distinguir os altos e baixos) e gera uma onda de batimento de 1 Hz (onde conseguimos distinguir os altos e baixos).

ACORDE!



## 10. EFEITO DOPPLER

Se a fonte de onda e um receptor estiverem se movendo um em relação ao outro, a frequência observada pelo receptor ( $f'$ ) será diferente da frequência real da fonte ( $f$ ). Esse fenômeno é chamado efeito Doppler.

Consideramos o caso especial em que a fonte e o observador se movem ao longo da linha que os une. Usaremos os seguintes símbolos:

$v$  = velocidade do som

$v_s$  = velocidade da fonte

$v_0$  = velocidade do observador

### FONTE EM REPOUSO, OBSERVADOR SE MOVENDO

Considere um observador O se aproximando da fonte S com uma velocidade  $v_0$ . A velocidade do som relativa à O é dada por:

$$v_r = v + v_0$$

Entretanto, o comprimento de onda tem seu valor normal  $\lambda = v/f$ . Então, a frequência ouvida pelo observador é:

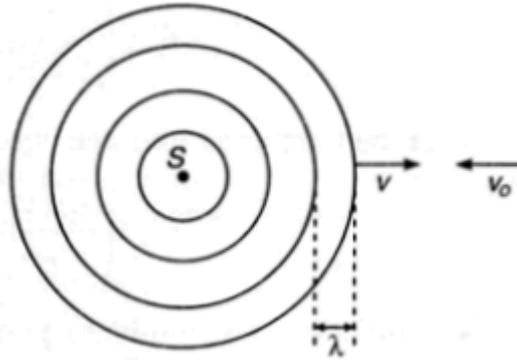


Figura 31: Observador se aproximando da fonte

$$f' = \frac{v_r}{\lambda}$$

$$f' = \frac{v + v_0}{v/f}$$

$$f' = \frac{v + v_0}{v} \cdot f$$

Se o observador está se afastando da fonte, temos:

$$f' = \frac{v - v_0}{v} \cdot f$$

Combinando as duas expressões, temos:

$$f' = \frac{v \pm v_0}{v} \cdot f$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (+) \leftrightarrow \text{Aproximando da fonte} \\ (-) \leftrightarrow \text{Afastando da fonte} \end{array} \right.$$

### FONTE SE MOVENDO, OBSERVADOR EM REPOUSO

Suponha que a fonte S está se movendo em direção à O, como mostra a figura (32). Se S estivesse em repouso, a distância entre dois consecutivos pulsos de onda e teria sido  $\lambda = \frac{v}{f} = vT$ . Entretanto, em um período, a fonte moveu-se uma distância  $v_s T$  antes de emitir o próximo pulso. O resultado desse deslocamento é a mudança no comprimento de onda.

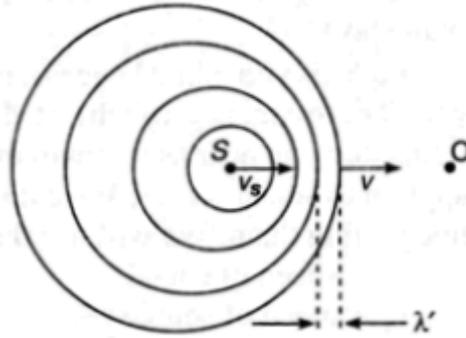


Figura 32: Fonte se movendo

$$\lambda' = vT - v_s T$$

$$\lambda' = \frac{v - v_s}{f}$$

A velocidade do som relativa à O é simplesmente  $v$ . Deste modo, a frequência observada é dada por:

$$f' = \frac{v}{v - v_s} \cdot f$$

Se a fonte estivesse se afastando do observador, teríamos:

$$f' = \frac{v}{v + v_s} \cdot f$$

Combinando as duas expressões, temos:

$$f' = \frac{v}{v \pm v_s} \cdot f$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (-) \leftrightarrow \text{Aproximando da fonte} \\ (+) \leftrightarrow \text{Afastando da fonte} \end{array} \right.$$

### COMBINAÇÃO DOS RESULTADOS

Se a fonte e observador estão se movendo, podemos unir as duas expressões acima.

$$\frac{f}{v \pm v_s} = \frac{f'}{v \pm v_0}$$

A convenção de sinal é feita seguindo os seguintes passos:

1° - Faça um segmento orientado do observador até a fonte. O observador é a origem do segmento e a fonte é a extremidade.

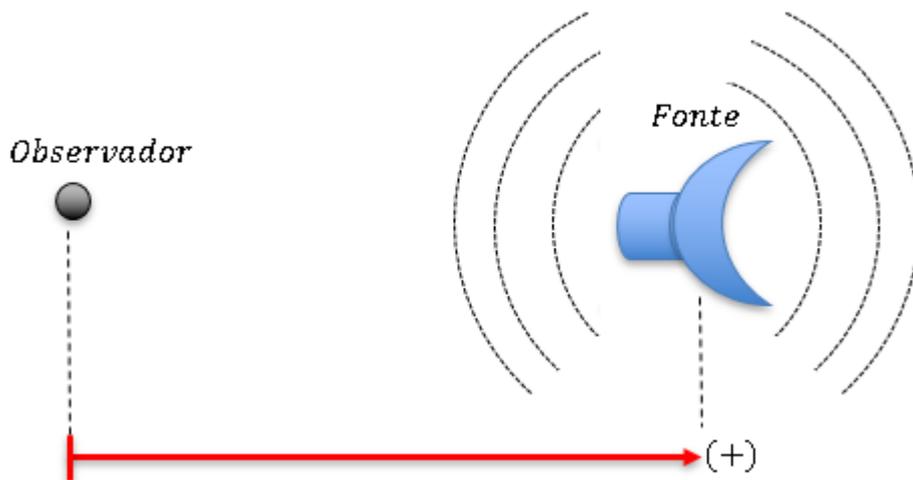


Figura 33: Segmento orientado do observador para a fonte

2° - As velocidades que possuírem o mesmo sentido que o segmento orientado usamos o sinal positivo. As velocidades com sentido contrário recebem sinal negativo.

Como exemplo, se no caso da figura (33) o observador estiver aproximando da fonte e a fonte estiver se aproximando do observador, usamos:

$$\frac{f}{v - v_s} = \frac{f'}{v + v_0}$$

Entretanto, se no caso da figura (33) o observador estiver se aproximando da fonte e a fonte estiver se afastando do observador, usa-se:

$$\frac{f}{v + v_s} = \frac{f'}{v + v_0}$$



## Lista de questões

### Nível 1

#### Questão 1.

(EEAR 2019) Um instrumento musical produz uma onda sonora a qual propaga-se no ar com velocidade  $V_1=340\text{m/s}$  e passa a propagar-se na água com velocidade  $V_2=1428\text{ m/s}$ .

Sabendo-se que essa onda sonora apresenta no ar um comprimento de onda de  $0,5\text{m}$ , qual a frequência, em Hz, dessa onda ao propagar-se na água?

- a) 170
- b) 680
- c) 714
- d) 2856

#### Questão 2.

(EEAR 2019) Uma onda com frequência de  $50\text{ kHz}$  está na faixa do:

- a) Infrassom
- b) Ultrassom
- c) Som audível grave
- d) Som audível agudo

#### Questão 3.

(EEAR 2020) Assinale a alternativa que completa corretamente a frase:

Durante o fenômeno da refração, uma onda eletromagnética ao passar de um meio de propagação para outro com velocidade menor, a onda refratada

- \_\_\_\_\_.
- a) inverte a fase e diminui o comprimento de onda
  - b) inverte a fase e aumenta o comprimento de onda
  - c) não inverte a fase e diminui o comprimento de onda
  - d) não inverte a fase e aumenta o comprimento de onda

#### Questão 4.

(EEAR 2020) Assinale a alternativa que completa corretamente a frase:



No estudo da ondulatória, de acordo com o princípio de Huygens, cada ponto de uma frente de onda pode ser considerado como uma nova fonte de ondas secundárias. Portanto, pode-se afirmar corretamente que as novas fontes secundárias possibilitam que a onda formada

- \_\_\_\_\_.
- a) tenha seu comprimento de onda alterado
  - b) contorne obstáculos no fenômeno da difração
  - c) tenha a frequência diferente daquela gerada pela fonte
  - d) tenha uma nova velocidade de propagação no mesmo meio

### Questão 5.

(EEAR 2020) Os radares primários de controle de tráfego aéreo funcionam com base no princípio de reflexão das ondas eletromagnéticas. De acordo com esse princípio, uma onda é emitida por uma antena próxima ao local de pouso e essa onda se propaga até o avião, reflete e volta à antena. Supondo o módulo da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar, igual ao módulo da velocidade de propagação da luz no vácuo ( $v = 300.000 \text{ km/s}$ ), se o intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção da onda refletida foi de 1ms (um milissegundo), conclui-se que o avião está a uma distância de \_\_\_\_\_ km da antena.

- a) 15
- b) 30
- c) 150
- d) 300

### Questão 6.

(EEAR 2020) Uma sirene produz um som na frequência de 850Hz que se propaga no ar com velocidade igual a 340m/s. Nesse caso, o comprimento de onda desse som é de \_\_\_\_\_ centímetros.

- a) 0,4
- b) 2,5
- c) 25
- d) 40

### Questão 7.

(EAM 2019) Uma corda de comprimento 16 m apoiada no chão extremamente liso é esticada pelas suas extremidades. Em uma de suas extremidades gera-se uma sequência de pulsos (onda) que se propaga pela corda. Sabendo que o comprimento de onda é de 2 m e que a frequência da fonte que faz oscilar a corda é de 4 Hz, assinale a opção que fornece o intervalo de tempo, em segundos, necessário para que um pulso se propague de uma extremidade a outra.



- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 5

**Questão 8.**

(EEAR 2019) Um raio de luz monocromático propagando-se no ar, meio definido com índice de refração igual a 1, incide, com ângulo de incidência igual a  $60^\circ$ , na superfície de um líquido. Ao refratar, esse raio de luz adquire uma velocidade, no líquido, de  $\sqrt{2} \cdot 10^8$  m/s . Considerando a velocidade da luz no ar igual a  $3 \cdot 10^8$  m/s, qual deve ser o seno do ângulo de refração formado entre o raio de luz refratado e a normal?

- a)  $1/2$
- b)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$
- c)  $\frac{\sqrt{3}}{2}$
- d)  $\frac{\sqrt{6}}{6}$

**Questão 9.**

(EEAR 2019) Analise as seguintes afirmações:

I - Ondas mecânicas se propagam no vácuo, portanto não necessitam de um meio material para se propagarem.

II - Ondas longitudinais são aquelas cujas vibrações coincidem com a direção de propagação.

III - Ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagarem.

IV - As ondas sonoras são transversais e não se propagam no vácuo.

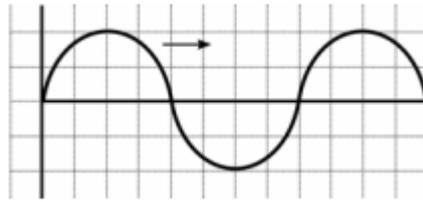
Assinale a alternativa que contém todas as afirmações verdadeiras.

- a) I e II
- b) I e III
- c) II e III
- d) II e IV

**Questão 10.**



(EEAR 2019) Um garoto mexendo nos pertences de seu pai, que é um professor de física, encontra um papel quadriculado como a figura a seguir.



Suponha que a figura faça referência a uma onda periódica, propagando-se da esquerda para a direita. Considerando que no eixo das abscissas esteja representado o tempo (em segundos), que no eixo das ordenadas esteja representada a amplitude da onda (em metros), que o comprimento de onda seja de 8m e que cada quadradinho da escala da figura tenha uma área numericamente igual a 1, a sua velocidade de propagação (em metros por segundo) será de:

- a) 0,25
- b) 1
- c) 8
- d) 16

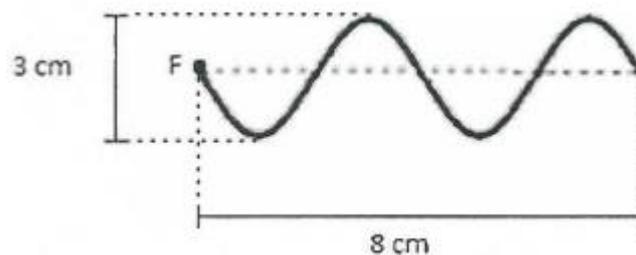
**Questão 11.**

(EEAR 2019) Um adolescente de 12 anos, percebendo alterações em sua voz, comunicou à sua mãe a situação observada com certa regularidade. Em determinados momentos apresentava tom de voz fina em outros momentos tom de voz grossa. A questão relatada pelo adolescente refere-se a uma qualidade do som denominada:

- a) altura
- b) timbre
- c) velocidade
- d) intensidade

**Questão 12.**

(EAM2018)





A figura representa ondas propagando-se numa corda tensa 4 s após o início das oscilações da fonte F que as produz. O comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a frequência ( $f$ ) da onda produzida pela fonte F valem, respectivamente:

- a) 3 cm e 0,80 Hz
- b) 4 cm e 0,25 Hz
- c) 4 cm e 0,50 Hz
- d) 8 cm e 0,25 Hz
- e) 8 cm e 0,50 Hz

**Questão 13.**

(EEAR 2018) Uma onda propagando-se em um meio material passa a propagar-se em outro meio cuja velocidade de propagação é maior do que a do meio anterior. Nesse caso, a onda, no novo meio tem

- a) sua fase invertida.
- b) sua frequência aumentada.
- c) comprimento de onda maior.
- d) comprimento de onda menor.

**Questão 14.**

(EEAR 2018) No estudo de ondulatória, um dos fenômenos mais abordados é a reflexão de um pulso numa corda. Quando um pulso transversal se propagando em uma corda devidamente tensionada encontra uma extremidade fixa, o pulso retorna à mesma corda, em sentido contrário e com:

- a) inversão de fase
- b) alteração no valor da frequência.
- c) alteração no valor do comprimento de onda.
- d) alteração no valor da velocidade de propagação.

**Questão 15.**

(EEAR 2018) Um professor de música esbraveja com seu discípulo: “Você não é capaz de distinguir a mesma nota musical emitida por uma viola e por um violino!”. A qualidade do som que permite essa distinção à que se refere o professor é a (o)

- a) altura
- b) timbre
- c) intensidade
- d) velocidade de propagação

**Questão 16.**

(EEAR 2018) Dentre os recentes desenvolvimentos tecnológicos encontram-se os aparelhos eletrodomésticos que, pela praticidade e economia de tempo, facilitam a realização das tarefas diárias, como o forno de microondas utilizado para o preparo ou o aquecimento dos alimentos quase que de modo instantâneo. Dentro do forno de microondas, o magnétron é o dispositivo que transforma ou converte a energia elétrica em microondas, ondas eletromagnéticas de alta frequência, as quais não aquecem o forno porque:

- a) são completamente absorvidas pelas paredes do forno e pelos alimentos.
- b) são refratadas pelas paredes do forno e absorvidas pelos alimentos.
- c) não produzem calor diretamente e são absorvidas pelas paredes do forno e pelos alimentos.
- d) não produzem calor diretamente, são refletidas pelas paredes do forno e absorvidas pelos alimentos.

**Questão 17.**

(EEAR 2018) Ao caminhar por uma calçada, um pedestre ouve o som da buzina de um ônibus, que passa na via ao lado e se afasta rapidamente. O pedestre observou nitidamente que quando o ônibus se afastou houve uma brusca variação na altura do som. Este efeito está relacionado ao fato de que houve variação:

- a) no timbre das ondas
- b) na amplitude das ondas
- c) na frequência do som
- d) na intensidade do som

**Questão 18.**

(EEAR 2018) O universo é um grande laboratório onde transformações estão ocorrendo a todo instante, como as explosões que permitem o surgimento (nascimento) e/ou a morte de estrelas e outros corpos celestes. Em uma noite de céu límpido, é possível observar a luz, proveniente de diferentes estrelas, muitas das quais possivelmente já não mais existem. Sabendo que as ondas eletromagnéticas correspondentes ao brilho destas estrelas percorrem o espaço interestelar com a velocidade máxima de 300.000 km/s, podemos afirmar que não ouvimos o barulho destas explosões porque:

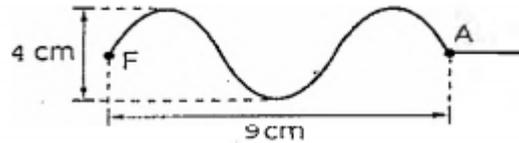
- a) a velocidade de propagação das ondas sonoras é muito menor do que a das ondas de luz e, por isso, elas ainda estão caminhando pelo espaço.
- b) devido a interferência das ondas sonoras de diferentes estrelas, estas se cancelam (anulam) mutuamente e com o campo magnético da Terra.
- c) as ondas sonoras não possuem energia suficiente para caminhar pelo espaço interestelar.



d) as ondas sonoras são ondas mecânicas e precisam da existência de um meio material para se propagar.

**Questão 19.**

(EAM 2017) Observe a figura abaixo.



Considerando que os pontos F e A estão na mesma altura em relação a um referencial comum e sabendo que o ponto A da corda foi atingido 12s após o início das oscilações da fonte, o período e a velocidade de propagação das ondas ao longo da corda valem, respectivamente:

- a) 4s e 0,25 cm/s
- b) 8s e 0,75 cm/s
- c) 9s e 1,25 cm/s
- d) 12s e 2,25 cm/s
- e) 15s e 2,50 cm/s

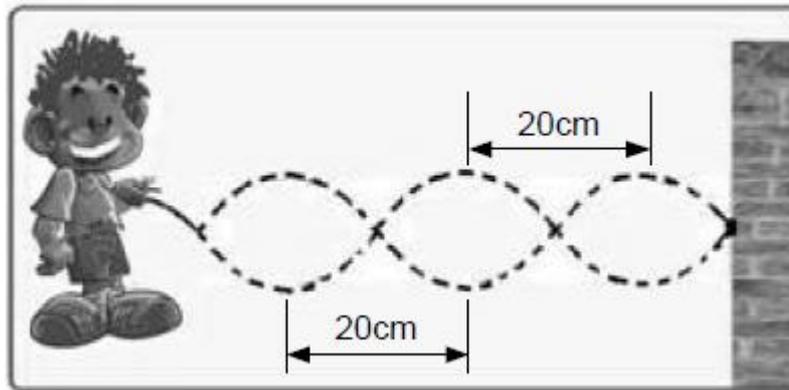
**Questão 20.**

(EAM 2017) A classificação quanto à natureza e quanto à direção de propagação das ondas causadas pelo vento na superfície de um lago, vistas por um observador que passeia à beira desse lago, é, respectivamente:

- a) mecânicas e unidimensionais.
- b) eletromagnéticas e tridimensionais.
- c) eletromagnéticas e bidimensionais.
- d) mecânicas e bidimensionais.
- e) mecânicas e tridimensionais.

**Questão 21.**

(EEAR 2017) Um garoto amarra uma das extremidades de uma corda em uma coluna fixada ao chão e resolve brincar com ela executando um movimento vertical de sobe e desce na extremidade livre da corda, em intervalos de tempos iguais, produzindo uma onda de pulsos periódicos, conforme mostrado na figura. Sabendo que a frequência da onda formada na corda é de 5,0 Hz, determine a velocidade dessa onda, em m/s.



- a) 1
- b) 2
- c) 50
- d) 100

**Questão 22.**

(EEAR 2017) Em uma apresentação musical, uma criança viu três instrumentos semelhantes em formato, porém de tamanhos diferentes: o violoncelo, a viola e o violino. Detectou que o violino tinha o som mais agudo e que o violoncelo tinha o som mais grave. Segundo o texto acima, a qualidade sonora detectada pela criança foi:

- a) Intensidade
- b) Altura
- c) Timbre
- d) volume

**Questão 23.**

(EEAR 2017) A velocidade do som no ar é de aproximadamente 340 m/s. Se o ser humano é capaz de ouvir sons de 20 a 20000 Hz, qual o maior comprimento de onda, em metros, audível para uma pessoa com audição perfeita?

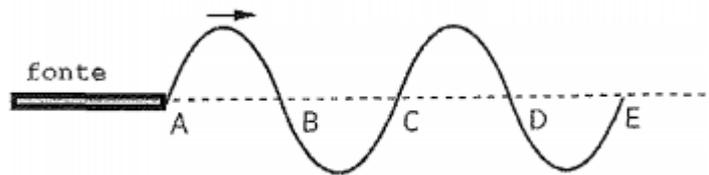
- a) 1,7
- b) 17
- c) 170
- d) 1700

**Questão 24.**

(EAM 2016)



Observe a figura abaixo.



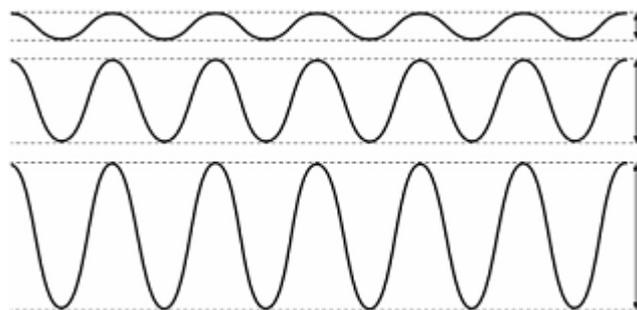
O esquema acima representa ondas periódicas propagando-se ao longo de uma corda tensa. Nesse esquema, os pontos A e E distam 60cm um do outro e o instante mostrado foi obtido 5s após o início da vibração da fonte.

Considerando essa situação, pode-se dizer que o comprimento de onda ( $\lambda$ ), a frequência ( $f$ ) e a velocidade ( $v$ ) dessa onda valem, respectivamente:

- a) 60cm, 1,0 Hz e 12 cm/s
- b) 60cm, 4,0 Hz e 10 cm/s
- c) 30cm, 0,4 Hz e 12 cm/s
- d) 30cm, 0,4 Hz e 10 cm/s
- e) 30cm, 0,6 Hz e 10 cm/s

**Questão 25.**

(EEAR 2017) Analisando a figura do gráfico que representa três ondas sonoras produzidas pela mesma fonte, assinale a alternativa correta para os três casos representados.



- a) As frequências e as intensidades são iguais.
- b) As frequências e as intensidades são diferentes.
- c) As frequências são iguais, mas as intensidades são diferentes.
- d) As frequências são diferentes, mas as intensidades são iguais.

**Questão 26.**

(EEAR 2007) A figura representa uma onda estacionária numa corda fixa nas extremidades A e B. O comprimento  $\ell$ , em metros, vale



- a) 1,0.
- b) 1,5.
- c) 2,0.
- d) 3,0.

**Questão 27.**

(EEAR 2007) Ondas eletromagnéticas são aquelas que se propagam

- a) somente no vácuo.
- b) somente em meios materiais.
- c) somente em condutores elétricos.
- d) tanto em meios materiais quanto no vácuo.

**Questão 28.**

(EEAR 2008) Assinale a alternativa correta:

- a) Ondas sonoras podem propagar-se no vácuo.
- b) A faixa de frequências audíveis vai de 20 kHz a 20 MHz.
- c) Ondas eletromagnéticas não podem propagar-se no vácuo.
- d) A velocidade de propagação do som na água é maior que no ar.

**Questão 29.**

(EEAR 2010) Uma onda passa de um meio material para outro, no qual apresenta diferente velocidade de propagação. Neste caso, no novo meio, a onda apresenta

- a) frequência maior que a anterior.
- b) frequência menor que a anterior.
- c) a mesma frequência que no meio anterior.
- d) o mesmo comprimento de onda que no meio anterior.

**Questão 30.**

(EEAR 2010) Uma emissora de rádio AM transmite ondas eletromagnéticas na frequência de 30 MHz, ou seja, dentro da faixa de ondas curtas. Supondo a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar a mesma que no vácuo, ou seja,  $3 \cdot 10^8$  m/s, qual o comprimento de onda relativo a essa frequência?

- a) 1 mm
- b) 1 cm



- c) 1 m
- d) 10 m

**Questão 31.**

(EEAR 2012) Um nadador ao executar o movimento das pernas e braços dentro da água produz pequenas ondas. Ao incidirem em certas bordas de piscina, essas ondas retornam e incidem sobre o nadador acarretando a diminuição do módulo da velocidade do mesmo. Para evitar isso, as piscinas mais atuais utilizam bordas cuja altura em relação ao nível da água é praticamente nula e assim evitam a (o) \_\_\_\_\_ das ondas.

- a) reflexão
- b) ressonância
- c) polarização
- d) efeito doppler

**Questão 32.**

(EEAR 2012) Uma onda sonora propaga-se no ar com um comprimento de onda igual a 1,1 m a uma velocidade de 330 m/s. A frequência, em Hz, dessa onda sonora é

- a) 155.
- b) 150.
- c) 330.
- d) 300.

**Questão 33.**

(EEAR 2013) No funcionamento de um equipamento de comunicação há uma onda quadrada com período de 0,04 segundos. Em outras palavras, a frequência dessa onda é de \_\_\_\_\_ Hz.

- a) 4
- b) 25
- c) 40
- d) 100

**Questão 34.**

(EEAR 2013) Em relação às qualidades do som, a unidade decibel (dB) refere-se à (ao) \_\_\_\_\_ da onda sonora.

- a) intensidade
- b) período



- c) timbre
- d) altura

**Questão 35.**

(EEAR 2013) Um transmissor de Radar emite no ar ondas eletromagnéticas na faixa de micro-ondas. Sabendo-se que a frequência do transmissor é de 2,0 GHz, qual o comprimento de onda, em cm, das ondas transmitidas?

Considere:

- 1 – O meio homogêneo,
- 2 – a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar igual a 300.000 km/s e
- 3 – o prefixo G =  $10^9$ .

- a) 0,6
- b) 1,5
- c) 6,0
- d) 15,0

**Questão 36.**

(EEAR 2006) Certa onda, propagando-se no ar, possui um comprimento de onda igual a 100 cm e velocidade de propagação de 340 m/s. Qual será o comprimento de onda, em centímetros, desta onda ao passar para um meio onde a velocidade de propagação é de 1,36 m/s?

- a) 0,04
- b) 0,4
- c) 2,5
- d) 2500

**Questão 37.**

(EEAR 2007) O ouvido humano normal é capaz de detectar a estreita faixa de frequência compreendida entre 20 Hz e 20 kHz. Admitindo a velocidade do som no ar igual a 340 m/s. O som mais grave e o mais agudo que o ouvido humano é capaz de captar têm comprimentos de onda, respectivamente, iguais a:

- a) 1,7 m e 0,017 m
- b)  $1,7 \cdot 10^3$  cm e  $1,7 \cdot 10^{-2}$  m
- c) 1,7 cm e 1,7 m
- d)  $1,7 \cdot 10^{-3}$  m e  $1,7 \cdot 10^2$  cm



**Questão 38.**

(EEAR 2007) Qual o comprimento de onda, em metros, de uma onda sonora de 1,7 kHz propagando-se no ar?

Dado: velocidade do som no ar é igual a 340 m/s.

- a) 0,2
- b) 5,0
- c) 20
- d) 50

**Questão 39.**

(EEAR 2007) O fenômeno ondulatório no qual uma onda consegue contornar um obstáculo é chamado de

- a) reflexão.
- b) refração.
- c) difração.
- d) polarização.

**Questão 40.**

(EEAR 2008) Uma mesma nota musical produz “sensações” diferentes quando emitidas por um violino ou por um piano. A qualidade do som que permite diferenciar dois sons de mesma frequência e mesmo “volume”, emitidos por fontes distintas é a (o) \_\_\_\_\_.

- a) altura
- b) timbre
- c) fidelidade
- d) intensidade

**Questão 41.**

(EEAR 2008) Admitindo que as estações de rádio, de uma determinada região, emitam ondas eletromagnéticas basicamente em duas faixas: AM e FM e que a velocidade das ondas eletromagnéticas vale  $3 \times 10^8$  m/s, duas estações de rádio que emitam ondas de comprimento de onda igual a 300 m e 200 m estão operando, respectivamente, em \_\_\_\_\_.

Dados:

AM de 535 a 1650 kHz

FM de 88 a 108 MHz

- a) AM e AM



- b) AM e FM
- c) FM e AM
- d) FM e FM

**Questão 42.**

(EEAR 2008) A palavra LASER vem da sigla Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Um laser que emite ondas eletromagnéticas, no ar, com velocidade de  $3 \cdot 10^8$  m/s, com frequência de  $5,0 \cdot 10^{14}$  Hz, terá comprimento de onda, em metros, igual a \_\_\_\_\_.

- a)  $1,5 \cdot 10^{-8}$
- b)  $6,0 \cdot 10^{-8}$
- c)  $1,5 \cdot 10^{-7}$
- d)  $6,0 \cdot 10^{-7}$

**Questão 43.**

(EEAR 2009) Em um determinado meio de propagação, o comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a frequência ( $f$ ) de uma dada onda, são grandezas

- a) diretamente proporcionais.
- b) inversamente proporcionais.
- c) que só podem ser aplicadas no estudo do som.
- d) que não apresentam nenhuma proporcionalidade.

**Questão 44.**

(EEAR 2009) Uma onda se propaga de um meio para outro, constituindo o fenômeno da refração ondulatória. Pela experiência concluímos que neste fenômeno se mantém sem alteração o (a)

- a) frequência.
- b) comprimento de onda.
- c) velocidade de propagação.
- d) produto da frequência pelo comprimento de onda.

**Questão 45.**

(EEAR 2009) Durante os cercos realizados aos castelos da Idade Média costumava-se colocar barris com água do lado interno das muralhas. O objetivo era detectar por meio das ondulações da superfície da água a escavação de túneis para entrar no castelo. Dentre as alternativas a seguir, pode-se afirmar, corretamente, que a frequência observada nas ondulações formadas na superfície da água é a mesma da escavação.



a frequência observada nas ondulações formadas na superfície da água não é a mesma da escavação.

a diminuição da amplitude nas ondulações formadas na superfície da água indicava, com certeza, a maior proximidade da escavação.

o aumento da amplitude nas ondulações formadas na superfície da água não indicava a maior proximidade da escavação ou maior intensidade da escavação.

**Questão 46.**

(EEAR 2009) Na superfície de um lago observa-se a formação de ondas periódicas. Sabendo-se que a distância entre duas cristas consecutivas da onda é de 10 cm e que sua velocidade de propagação é de 2 m/s, qual o período, em s, desta propagação?

- a) 0,05
- b) 0,10
- c) 10,0
- d) 20,0

**Questão 47.**

(EEAR 2009) Dentre as frases a seguir, a respeito de Ondulatória e Acústica, são corretas:

a voz masculina apresenta, geralmente, menor frequência que a voz feminina;

o timbre depende da forma das vibrações, isto é, da forma da onda sonora;

as ondas infrassônicas e ultrassônicas são ondas eletromagnéticas e, por este motivo, inaudíveis para o ser humano;

a altura é a qualidade do som que depende da amplitude da onda sonora.

- a) I e II
- b) todas
- c) III e IV
- d) I, II e III

**Questão 48.**

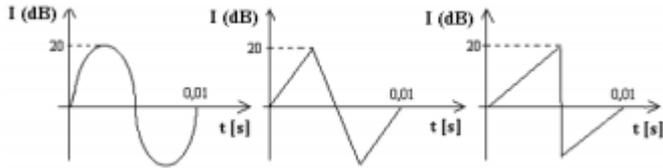
(EEAR 2010) Um pulso ao propagar-se em uma corda encontra um extremo fixo e sofre reflexão. Ao retornar, o pulso refletido terá

- a) mesma fase e comprimento de onda menor.
- b) mesma fase e mesmo comprimento de onda.
- c) fase invertida e comprimento de onda maior.
- d) fase invertida e mesmo comprimento de onda.



**Questão 49.**

(EEAR 2010) As figuras abaixo representam ondas sonoras emitidas por 3 dispositivos diferentes.



A qualidade do som que permite ao ouvinte identificar a diferença entre os sons gerados pelos dispositivos é

- a) a altura.
- b) o timbre.
- c) a intensidade.
- d) o comprimento de onda.

**Questão 50.**

(EEAR 2011) O valor mínimo da escala de intensidade sonora corresponde a  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ .

Assinale a alternativa que indica corretamente o valor, em decibéis, para uma intensidade de  $1,0 \text{ W/m}^2$ .

- a) 1 dB.
- b) 10 dB.
- c) 12 dB.
- d) 120 dB.

**Questão 51.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma onda de rádio viaja a uma velocidade de  $2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$  com uma frequência de  $2 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ . Qual é o comprimento de onda dessa onda?

- a) **1000 km**
- b) **1000 mm**
- c) **1000 m**
- d) **1000 cm**

**Questão 52.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um tubo com as duas extremidades abertas tem comprimento  $L = 2 \text{ m}$ . Qual é o comprimento de onda para o quinto harmônico?



- a) 0,8 m
- b) 0,16 m
- c) 1,6 m
- d) 8 m

**Questão 53.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um tubo com as duas extremidades fechadas tem comprimento  $L = 2 \text{ m}$ . Qual é o comprimento de onda para o terceiro harmônico?

- a) 0,8 m
- b) 0,16 m
- c) 1,6 m
- d) 8 m

**Questão 54.**

(Prof. Vinícius Fulconi) A intensidade de uma fonte sonora a 2 metros de distância dela é  $1 \text{ W/m}^2$ . Qual é a intensidade dessa mesma fonte a 4 metros de distância?

- a)  $4 \text{ W/m}^2$
- b)  $2 \text{ W/m}^2$
- c)  $0,5 \text{ W/m}^2$
- d)  $0,25 \text{ W/m}^2$

**Questão 55.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Considere um gás inicialmente a  $300 \text{ K}$ . A velocidade do som nesse gás a  $300 \text{ K}$  é de  $350 \text{ m/s}$ . Se o gás for aquecido até atingir a temperatura de  $1200 \text{ K}$ , qual será a velocidade do som nessa temperatura?

- a)  $1400 \text{ m/s}$
- b)  $700 \text{ m/s}$
- c)  $350 \text{ m/s}$
- d)  $800 \text{ m/s}$

**Questão 56.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um observador em repouso observa uma fonte sonora se aproximando com frequência  $x$ . O mesmo observador observa a fonte se afastando com frequência  $y$ . Considerando que a velocidade da fonte se manteve constante durante todo o problema, assinale a alternativa correta.



- a)  $x = y \neq 0$
- b)  $x > y$
- c)  $x < y$
- d)  $x = y = 0$

**Questão 57.**

(Prof. Vinícius Fulconi) O fenômeno do reforço:

- a) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o do som refletido é superior a 0,1 s.
- b) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o refletivo é praticamente nulo.
- c) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e refletido é pouco inferior a 0,1 s. Neste caso a sensação de audição é prolongada.
- d) ocorre quando há movimentação relativa entre a fonte sonora e o observador.

**Questão 58.**

(Prof. Vinícius Fulconi) O fenômeno da reverberação:

- a) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o do som refletido é superior a 0,1 s.
- b) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o refletivo é praticamente nulo.
- c) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e refletido é pouco inferior a 0,1 s. Neste caso a sensação de audição é prolongada.
- d) ocorre quando há movimentação relativa entre a fonte sonora e o observador.

**Questão 59.**

(Prof. Vinícius Fulconi) O fenômeno do eco:

- a) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o do som refletido é superior a 0,1 s.
- b) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o refletivo é praticamente nulo.
- c) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e refletido é pouco inferior a 0,1 s. Neste caso a sensação de audição é prolongada.
- d) ocorre quando há movimentação relativa entre a fonte sonora e o observador.



**Questão 60.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Em relação as propriedades das ondas sonoras, assinale a alternativa correta. O som agudo tem:

- a) alta frequência.
- b) baixa frequência.
- c) alta intensidade.
- d) baixa intensidade.

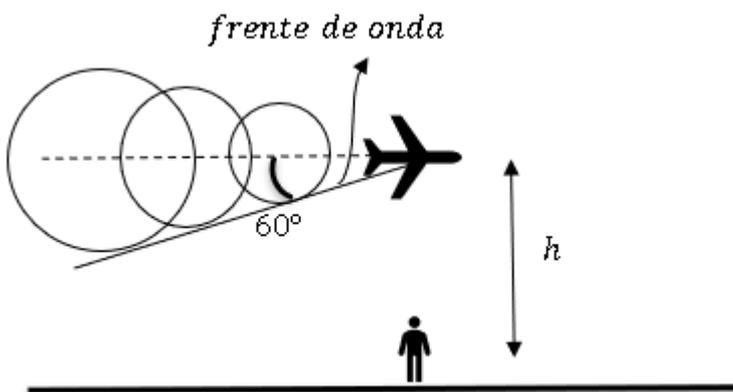
**Questão 61.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Qual é a qualidade fisiológica do som que permite distinguir dois instrumentos musicais com a mesma frequência?

- a) Potência.
- b) Altura.
- c) Timbre.
- d) Intensidade.

**Questão 62.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um avião está viajando na mesma horizontal a uma velocidade maior que a do som. Um observador que está no solo está observando o movimento do avião. Quando o avião passa exatamente sobre sua cabeça, o observador percebe que o som do avião chega após 3 segundos aos seus ouvidos. Sabendo que a abertura da onda sonora é de  $30^\circ$ , qual é a altura do avião? A velocidade do som no meio é de 340 m/s.



- a) 610 m
- b) 1020 m
- c) 2040 m
- d) 340 m



**Questão 63.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Para um tubo três ressonâncias sucessivas são observadas para 425 Hz, 595 Hz e 765 Hz. Se a velocidade do som é de 340 m/s, assinale a alternativa correta.

- a) O tubo é fechado e tem comprimento 1 m.
- b) O tubo é aberto e tem comprimento 1 m.
- c) O tubo é aberto e tem comprimento 2 m.
- d) O tubo é fechado e tem comprimento 2 m.

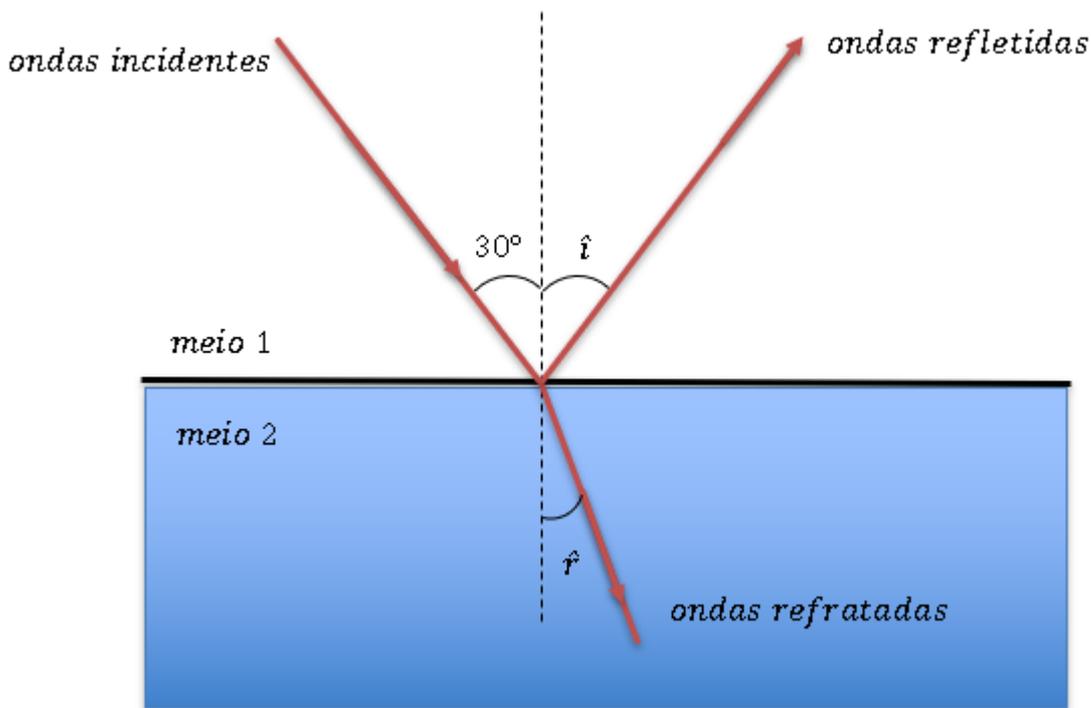
**Questão 64.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma onda está se propagando em uma corda de densidade  $\rho$  e área de seção A. Se a corda está tracionada com uma força F, qual é a velocidade da onda nessa corda?

- a)  $v = \sqrt{\frac{F}{2\rho \cdot A}}$
- b)  $v = 2\sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}}$
- c)  $v = \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}}$
- d)  $v = \sqrt{\frac{2F}{\rho \cdot A}}$

Texto para as próximas 4 questões {65, 66, 67, e 68}

Ondas mecânicas que se propagam com velocidade  $v_1$  no meio 1 incidem obliquamente na interface meio 1 – meio 2. Uma parte da onda é refletida e outra parte é refratada. As ondas refratadas se propagam no meio 2 com velocidade  $v_2 = \sqrt{2}v_1$ . Veja a figura abaixo:



**Questão 65.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Qual é o valor para o ângulo de refração?

- a)  $60^\circ$
- b)  $30^\circ$
- c)  $45^\circ$
- d)  $90^\circ$

**Questão 66.**

(Prof. Vinícius Fulconi) As ondas incidentes e as ondas refletidas não apresentam

- a) a mesma frequência.
- b) a mesma velocidade de propagação.
- c) a mesma intensidade.
- d) o mesmo comprimento de onda.

**Questão 67.**

(Prof. Vinícius Fulconi) No fenômeno da refração, a única grandeza que não é alterada é:

- a) o período.
- b) a velocidade de propagação.
- c) o comprimento de onda.



c) a intensidade da onda.

**Questão 68.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Qual das grandezas abaixo é alterada na refração e na reflexão?

- a) Amplitude da onda.
- b) Comprimento de onda.
- c) Frequência.
- d) Velocidade de propagação.

**Questão 69.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma onda estacionária é a superposição de duas ondas harmônicas que se movem com a mesma frequência e amplitude, mas em sentidos contrários.

Em relação as ondas estacionárias, assinale a alternativa correta.

- a) A onda estacionária se propaga com velocidade diferente de zero.
- b) A diferença de fase entre duas partículas pode ser  $90^\circ$ .
- c) Não há energia propagante. A energia permanece confinada entre os nós.
- d) As partículas do meio oscilam com a mesma frequência e amplitude.

**Questão 70.**

(Prof. Vinícius Fulconi) No estudo de ondulatória, um dos fenômenos mais abordados é a reflexão de um pulso numa corda. Quando um pulso transversal se propagando em uma corda devidamente tensionada encontra uma extremidade livre, o pulso retorna à mesma corda, em sentido contrário com

- a) a mesma fase.
- b) a fase invertida.
- c) alteração no valor do comprimento de onda.
- d) alteração no valor da velocidade de propagação.

**Questão 71.**

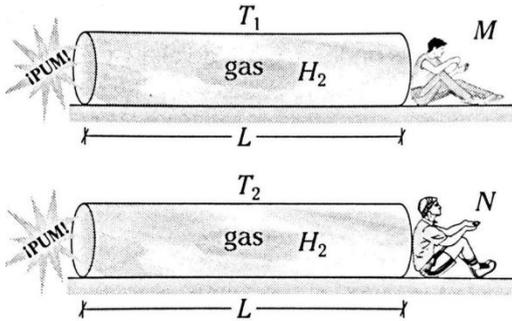
(Prof. Vinícius Fulconi) Quanto maior for a amplitude de uma onda

- a) maior será sua frequência.
- b) maior será seu comprimento de onda.
- c) maior será sua velocidade de propagação.
- d) maior será a intensidade da onda.



**Questão 72.**

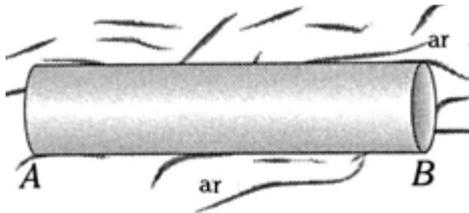
(Prof. Vinícius Fulconi) Se as explosões são simultâneas, qual das pessoas escutará primeiro a explosão? Considere que  $T_1 > T_2$  e que as intensidades das explosões são iguais. (T: temperatura)



- a) Iguais
- b) N
- c) M
- d) Falta conhecer as temperaturas
- e) Falta conhecer L

**Questão 73.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma onda sonora está se propagando em uma barra maciça de aço. Indique a veracidade ou falsidade das seguintes proposições



- I. Ao chegar ao extremo da barra, a onda continua sendo transmitida para o ar.
- II. Se a densidade do ar for muito menor que o aço, a onda não é transmitida do aço para o ar.
- III. A onda é refletida totalmente quando chega na interface aço-ar.

- a) VVF
- b) VFF
- c) FVV
- d) FVV
- e) FVF

**Questão 74.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um jovem que está pescando percebe que passam, por um determinado ponto, 81 cristas em 1 minuto. Ele nota também que uma crista demora 8 s para percorrer uma distância de 10 m. Quantos comprimentos de ondas estão contidos em um quilômetro?

- a) 1166
- b) 966
- c) **1080**
- d) 1066,7
- e) 1016

**Questão 75.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma corda de 5 m está tensa e fixa em seus extremos. A força de tração é 5 N. Se ao produzir um pulso em um de seus extremos, este demora 0,10 s para chegar ao outro extremo, qual é massa da corda?

- a) 0,01 kg
- b) 0,02 kg
- c) 0,03 kg
- d) 0,04 kg
- e) 0,05 kg

**Questão 76.**

Para produzir certa nota musical, uma corda de guitarra deve oscilar com uma frequência de 200 Hz. Observa-se que quando a tensão na corda é 648 N esta oscila com uma frequência de 180 Hz. Qual deve ser a tensão em Newton, para que a corda emita o som correto?

- a) 750
- b) 800
- c) 850
- d) 900
- e) 950

**Questão 77.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Em uma corda muito larga se estabelece uma onda mecânica senoidal. O intervalo de tempo para que um ponto da corda, no topo de uma crista, vá para um nó é  $\Delta t$  s. Se o comprimento de onda é L, determine a velocidade de propagação da onda

a)  $v = \frac{L}{4\Delta t}$



- b)  $v = \frac{4L}{\Delta t}$   
c)  $v = \frac{2L}{\Delta t}$   
d)  $v = \frac{L}{\Delta t}$   
e)  $v = \frac{L}{2 \cdot \Delta t}$

**Questão 78.**

Uma corda de uma guitarra tem 50 cm de comprimento, uma massa de  $5 \cdot 10^{-4}$  kg e está submetida a uma tensão de 8,1 N. Determine a frequência do primeiro harmônico.

- a) 90 Hz  
b) 180 Hz  
c) 22,5 Hz  
d) 150 Hz

**Questão 79.**

Muitas pessoas costumam assistir filmes de ficção científica em que ocorrem grandes explosões no espaço sideral. Em muitos filmes, essas explosões causam grandes efeitos sonoros. O som das explosões nesses filmes

- a) contraria as leis de física, pois o som não se propaga no vácuo pois é uma onda eletromagnética.  
b) contraria as leis de física, pois o som não se propaga no vácuo pois é uma onda mecânica.  
c) não contraria as leis de física, pois o som não se propaga no vácuo pois é uma onda eletromagnética.  
d) não contraria as leis de física, pois o som não se propaga no vácuo pois é uma onda mecânica.

**Questão 80.**

Um carro buzinando se aproxima de um pedestre que está em repouso em uma calçada. A frequência da buzina percebida pelo pedestre será \_\_\_\_\_ que a frequência natural da buzina devido ao \_\_\_\_\_.

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas acima.

- a) maior; efeito Doppler.  
b) menor; efeito Doppler.  
c) maior; efeito Hall.  
d) menor; efeito Hall.

**Questão 81.**

Uma onda possui comprimento de onda de 2 metros e velocidade de 200 m/s. Essa onda passa para outro meio. No novo meio, sua velocidade é de 400 m/s. Qual é o seu comprimento de onda no novo meio?

- a) 4 m
- b) 2 m
- c) 1 m
- d) 8 m

**Questão 82.**

Uma ambulância está se aproximando de um pedestre que está parado no ponto de ônibus da vila militar. Sabendo que a frequência do som emitido pela ambulância tem um comprimento de onda  $\lambda$ , qual será a frequência do som percebida pelo pedestre? A razão entre a velocidade da ambulância e velocidade do som no ar é  $K$  e a velocidade do som no ar é  $V_s$ .

- A)  $\frac{V_s}{\lambda K}$
- B)  $\frac{V_s}{\lambda}$
- C)  $\frac{V_s}{\lambda(1-K)}$
- D)  $\frac{V_s}{\lambda(1+K)}$

**Questão 83.**

Em linguagem técnica, um som que se propaga no ar pode ser caracterizado, entre outros aspectos, por sua altura e por sua intensidade. Os parâmetros físicos da onda sonora que correspondem às características mencionadas são, respectivamente:

- a) Comprimento de onda e velocidade
- b) Volume e velocidade
- c) Velocidade e amplitude
- d) Frequência e amplitude
- e) Comprimento de onda e frequência

**Questão 84.**

Uma pessoa parada na beira de uma estrada vê um automóvel aproximar-se com velocidade 0,1 da velocidade do som no ar. O automóvel está buzinando, e a sua buzina, por especificação do fabricante, emite um som puro de 990 Hz. O som ouvido pelo observador terá uma frequência de:



- a) 900 Hz
- b) 1.100 Hz
- c) 1000 Hz
- d) 99 Hz
- e) 990 Hz

**Questão 85.**

Analise as seguintes afirmativas:

Ondas eletromagnéticas são aquelas que se propagam no vácuo e, portanto, não precisam de um meio material para se propagarem.

A altura é a característica do som que nos permite diferença sons graves dos agudos.

A intensidade sonora é a característica do som que relacionada com a frequência.

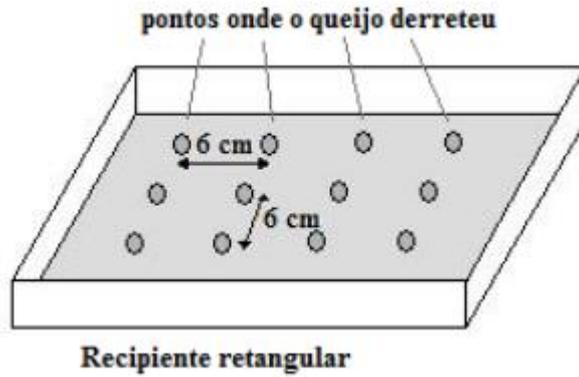
IV) Timbre é a qualidade sonora capaz de diferenciar dois sons de mesma frequência.

Assinale a alternativa correta:

- a) Todas as alternativas são verdadeiras.
- b) I, II e IV são verdadeiras.
- c) I e III são verdadeiras.
- d) I e II são verdadeiras.

**Questão 86.**

(EEAR-2020.1) Um jovem preenche totalmente um recipiente retangular de vidro com fatias de pão de forma e sobre essas coloca uma camada homogênea de queijo ralado com a intenção de derretê-lo, em um forno de microondas. Como o recipiente caberia justo no interior do forno de microondas, ele retirou o prato giratório (pois não teria como girar) e colocou o recipiente diretamente no fundo do forno e o ligou. Após o tempo normal para o derretimento do queijo, o forno é desligado e aberto. O jovem percebeu que a cobertura de queijo apresentava um padrão retangular de pontos em que o queijo derreteu e entre esses pontos o queijo não derreteu. Entre os pontos que o queijo derreteu, ele percebeu que a distância era sempre de 6,0 cm, conforme a figura:



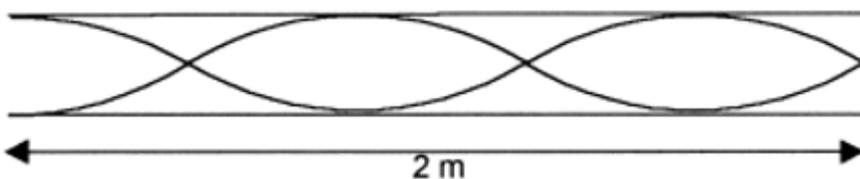
Supondo isso ser efeito do fenômeno da formação de ondas estacionárias entre as paredes do forno e que a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar seja  $3 \cdot 10^8$  m/s, o jovem calculou a frequência utilizada no gerador de microondas desse forno. Assinale a alternativa que apresenta corretamente esse valor.

- a) 25 MHz
- b) 50 MHz
- c) 2,5 GHz
- d) 5,0 GHz

## Nível 2

### Questão 1.

(ESPCEX 2000) A figura representa uma onda estacionária que se forma em um tubo sono fechado. Considerando a velocidade do som no ar de 340 m/s, a frequência, em Hz, do som emitido pelo tubo é de



- a) 200,0
- b) 200,5
- c) 212,5
- d) 220,5
- e) 225,0



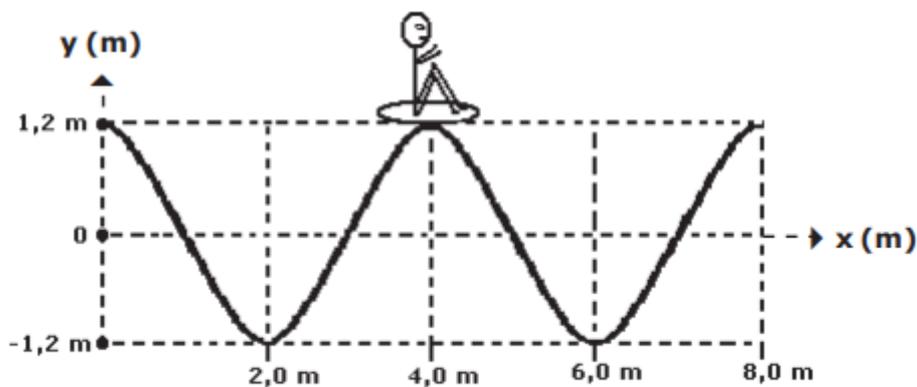
**Questão 2.**

(ESPCEX 2005) Um barítono emite um som uníssono na frequência de 180 Hz. Sabendo que a velocidade do som no ar é constante e igual a 324 m/s, pode-se afirmar que o comprimento de onda do som emitido pelo barítono é de:

- a) 2,4 m
- b) 1,8 m
- c) 0,9 m
- d) 0,6 m
- e) 0,5 m

**Questão 3.**

(ESPCEX 2014) Uma das atrações mais frequentadas de um parque aquático é a “piscina de ondas”. O desenho abaixo representa o perfil de uma onda que se propaga na superfície da água da piscina em um dado instante. Um rapaz observa, de fora da piscina, o movimento de seu amigo, que se encontra em uma boia sobre a água e nota que, durante a passagem da onda, a boia oscila para cima e para baixo e que, a cada 8 segundos, o amigo está sempre na posição mais elevada da onda. O motor que impulsiona as águas da piscina gera ondas periódicas. Com base nessas informações, e desconsiderando as forças dissipativas na piscina de ondas, é possível concluir que a onda se propaga com uma velocidade de



desenho ilustrativo-para de escala

- a) 0,15 m/s
- b) 0,30 m/s
- c) 0,40 m/s
- d) 0,50 m/s
- e) 0,60 m/s

**Questão 4.**

(ESPCEX 2018) Com relação às ondas, são feitas as seguintes afirmações:

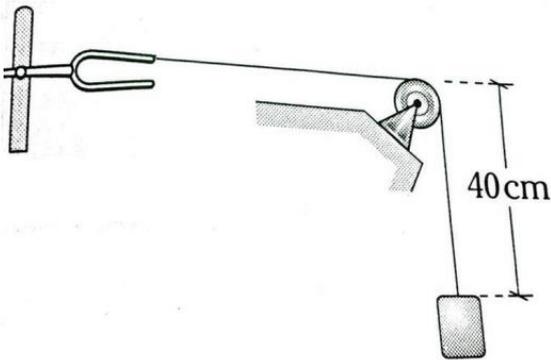


- I. As ondas mecânicas propagam-se somente em meios materiais.
  - II. As ondas eletromagnéticas propagam-se somente no vácuo.
  - III. As micro-ondas são ondas que se propagam somente em meios materiais.
- Das afirmações acima está(ão) correta(s) apenas a(s):

- a) I.
- b) II.
- c) I e III.
- d) I e II.
- e) II e III.

**Questão 5.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma corda de densidade linear de massa  $2,5 \text{ g/cm}$  está unida a um bloco de  $900 \text{ g}$ , tal como se mostra a figura abaixo. Se um diapasão começa a vibrar com uma frequência de  $10 \text{ Hz}$ , determine o comprimento da onda.

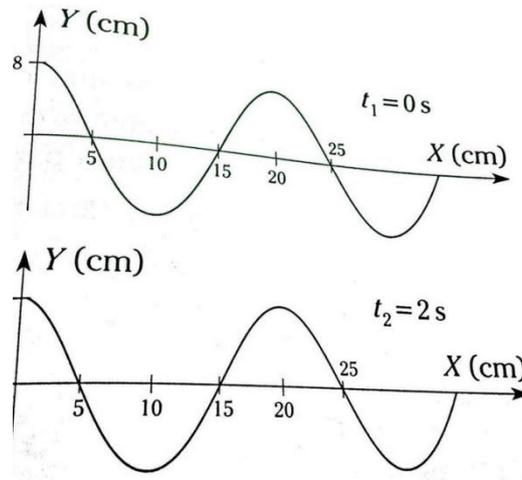


- a)  $2\sqrt{5} \text{ m}$
- b)  $0,2\sqrt{10} \text{ m}$
- c)  $0,4\sqrt{10} \text{ m}$
- d)  $0,4\sqrt{10} \text{ m}$
- e)  $0,6 \text{ m}$

**Questão 6.**

(Prof. Vinícius Fulconi)

Por uma corda tensa se propaga uma onda transversal harmônica. As figuras mostram o perfil da corda nos instantes  $t_1 = 0$  e  $t_2 = 2\text{s}$ . Qual é a mínima frequência da onda?



- a) 1 Hz
- b) 0,5 Hz
- c) 0,75 Hz
- d) 0,125 Hz
- e) 0,25 Hz

**Questão 7.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma corda elástica homogênea de densidade linear  $\mu = 0,1 \text{ kg/m}$  está disposta horizontalmente e suporta uma tensão de módulo 40 N. Qual é a energia por unidade de tempo deve-se transmitir a corda para gerar ondas de  $f = 100 \text{ Hz}$  e  $A = 5 \text{ cm}$ ?  $\pi = 3$

A potência é dada por:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot \omega^2 \cdot A^2 \cdot v$$

- a) 220 W
- b) 200 W
- c) 225 W
- d) 180 W
- e) 900 W

**Questão 8.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um tubo aberto A tem comprimento de 2 metros. Um tubo fechado B tem comprimento  $x$ . Se o comprimento de onda do terceiro harmônico do tubo aberto é igual ao comprimento de onda do quinto harmônico do tubo fechado, qual é o valor de  $x$ ?

- a) 1 m
- b) 2 m
- c) 3 m



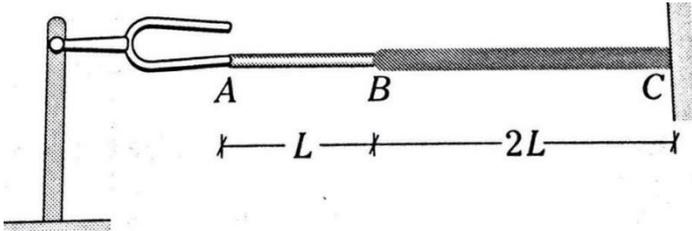
d) 4 m

e) 5 m

**Questão 9.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Segundo a figura abaixo, determine a relação entre os comprimentos de onda nas partes AB e BC da corda. Sabe-se que o diapásão oscila com uma frequência constante,

$$\text{se } \frac{M_{AB}}{M_{BC}} = \frac{1}{8}$$



a) 0,5

b) 1

c) 2

d) 4

e) 6

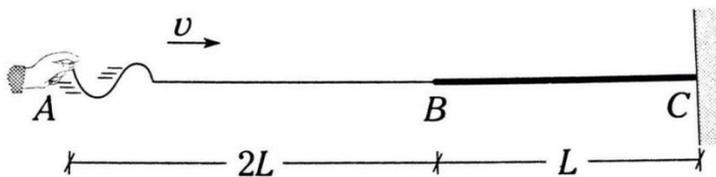
**Questão 10.**

(Prof. Vinícius Fulconi) As cordas AB e BC estão tensas e unidas como se mostra a figura abaixo ( $M_{BC} = 2 M_{AB}$ ). Se a onda na corda AB se propaga com uma velocidade  $v$ ; indique verdadeiro ou falso.

I. A onda se propaga com maior velocidade na corda AB.

II. A onda demora o mesmo tempo para propagar-se em ambas as cordas.

III. O comprimento de onda na corda AB é dobro do comprimento de onda na corda BC.



a) VVV

b) VFV

c) VFF

d) FVF

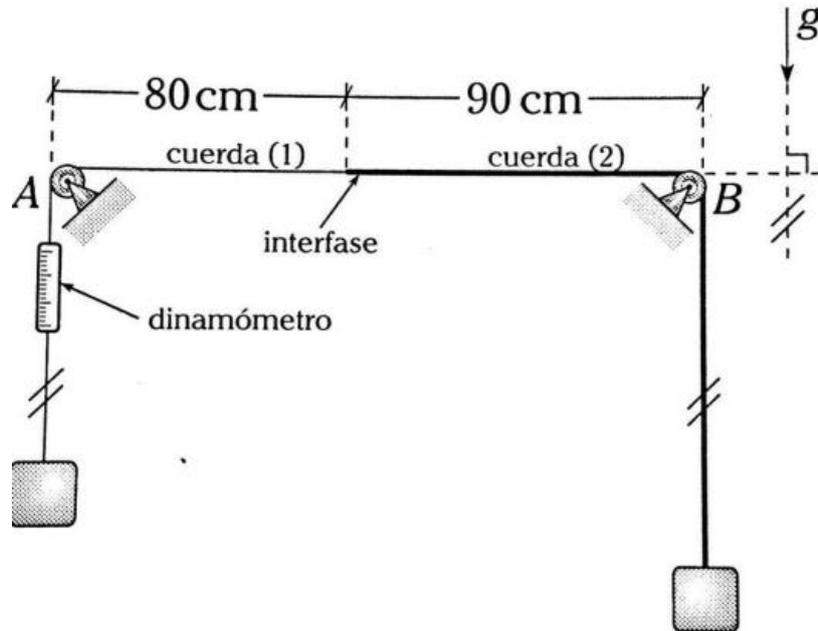


e) FFF

**Questão 11.**

(Prof. Vinícius Fulconi) A figura abaixo mostra um sistema em equilíbrio, onde o dinamômetro indica 4 N. Um pulso é originado em A. Determine o tempo que demora para o pulso em chegar até a polia B.

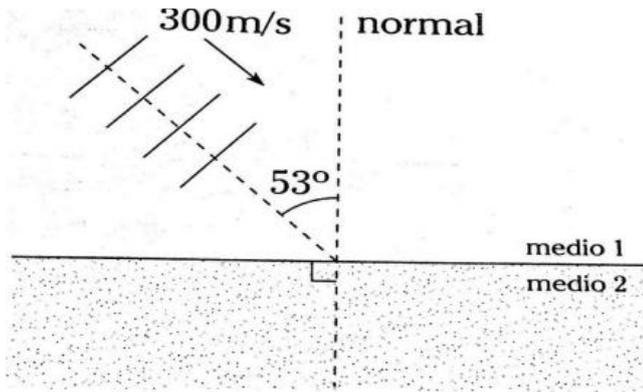
Considere:  $\mu_2 = 0,01 \text{ kg/m}$ ;  $\mu_1 = 0,09 \text{ kg/m}$ .



- a)  $25 \cdot 10^{-2} \text{ s}$
- b)  $14,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$
- c)  $16,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$
- d)  $13,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$
- e)  $11,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$

**Questão 12.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma onda mecânica plana incide sobre uma superfície que separa dois meios diferentes tal como se mostra a figura abaixo. Se a onda refratada tem velocidade 25 % menor que a velocidade da onda incidente, qual é o ângulo de refração? Considere:  $\text{sen}53^\circ = 0,8$ .



- a)  $37^\circ$
- b)  $53^\circ$
- c)  $30^\circ$
- d)  $21^\circ$
- e)  $18^\circ$

**Questão 13.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma corda de uma guitarra tem 50 cm de comprimento, uma massa de  $5 \cdot 10^{-4}$  kg e está submetida a uma tensão de 8,1 N. Determine as frequências do primeiro harmônico, segundo harmônico e terceiro harmônico.

- a) 90 Hz; 180 Hz; 270 Hz
- b) 60 Hz; 120 Hz; 180 Hz
- c) 90 Hz; 45 Hz; 22,5 Hz
- d) 60 Hz; 90 Hz; 150 Hz
- e) 60 Hz; 200 Hz; 250 Hz

**Questão 14.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma corda de 2 m de comprimento e densidade linear 50 g/m está tensa com 20 N e fixa por seus extremos. Com que frequência se deve perturbar a corda para originar o segundo harmônico?

- a) 10 Hz
- b) 20 Hz
- c) 5 Hz
- d) 15 Hz
- e) 25 Hz

**Questão 15.**



(Prof. Vinícius Fulconi) Um raio de luz está se movendo em um meio com velocidade  $v_1$ , comprimento de onda  $\lambda_1$  e frequência  $f_1$ . A luz refrata, passando para outro meio, em que tem velocidade  $v_2$ , comprimento de onda  $\lambda_2$  e frequência  $f_2$ . Em relação ao processo da refração, assinale a alternativa correta.

- a)  $f_1 = f_2$
- b)  $v_1 = v_2$
- c)  $\lambda_1 = \lambda_2$
- d)  $f_1 > f_2$
- e)  $v_1 < v_2$

**Questão 16.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um observador percebe que 5 cristas passam por ele em 5 segundos. Se a distância entre duas cristas é 2m, qual é velocidade de propagação da onda e a sua frequência?

- a) 0,5 m/s ; 1 Hz
- b) 2 m/s ; 1 Hz
- c) 1 m/s ; 2 Hz
- d) 1 m/s ; 0,5 Hz
- e) 0,5 m/s ; 0,5 Hz

**Questão 17.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um marinheiro fora da água percebe o som de comprimento de onda de 0,680 m proveniente de uma corneta. Sabendo que a velocidade do som na água é 1483 m/s, determine o comprimento de onda percebido pelo marinheiro quando o mesmo estiver debaixo d'água.

- a) 2,456 m
- b) 2,566 m
- c) 2,350 m
- d) 2,423 m
- e) 2,333 m

**Questão 18.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Para uma certa corda esticada, três consecutivas frequências de ressonância são observadas em 105, 175 e 245 Hz. Qual é a frequência fundamental?

- a) 30 Hz
- b) 45 Hz



- c) 35 Hz
- d) 85 Hz
- e) 95 Hz

**Questão 19.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um tubo aberto A tem comprimento de  $x$  metros. Um tubo fechado B tem comprimento 4. Se o comprimento de onda do segundo harmônico do tubo aberto é igual ao comprimento de onda do quarto harmônico do tubo fechado, qual é o valor de  $x$ ?

- a)  $\frac{1}{7} m$
- b)  $\frac{3}{7} m$
- c)  $\frac{5}{7} m$
- d)  $\frac{16}{7} m$

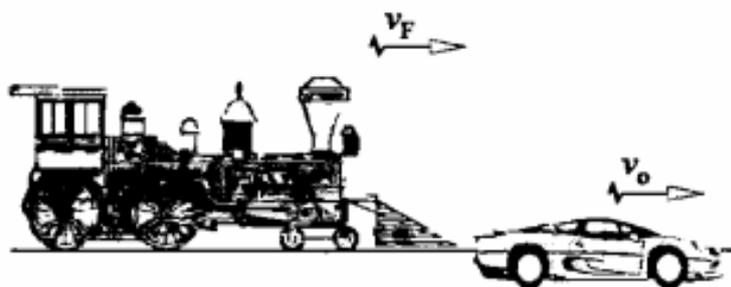
**Questão 20.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Em um filme de ficção científica, uma nave é atingida por um meteoro no espaço. No filme, o habitante de um planeta escuta o barulho da explosão entre a nave e o meteoro. O filme

- a) condiz com a realidade, pois as ondas sonoras se propagam em qualquer meio.
- b) não condiz com a realidade, pois as ondas sonoras são ondas eletromagnéticas que não se propagam no vácuo.
- c) condiz com a realidade, pois as ondas sonoras são mecânicas e se propagam em qualquer meio.
- c) não condiz com a realidade, pois a ondas sonoras não se propagam no vácuo.

**Questão 21.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um trem e um automóvel viajam em vias paralelas e em uma mesma direção com velocidades  $v_f = 60 m/s$  e  $v_o = 40 m/s$  respectivamente. Se o apito do trem emite ondas cujo comprimento é  $\lambda_0 = 15 m$ . Qual o comprimento terá as ondas recebidas pelo condutor do automóvel? A velocidade do som no ar é  $340 m/s$ .





- a) 12 m
- b) 13 m
- c) 14 m
- d) 15 m

**Questão 22.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Qual dos fenômenos abaixo só ocorre com ondas eletromagnéticas?

- a) Difração.
- b) Interferência.
- c) Polarização.
- d) Refração.
- e) Reflexão.

**Questão 23.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma ambulância está parada no semáforo de uma avenida. Um observador que está no ponto de ônibus (que está na mesma horizontal que a ambulância) percebe que o som emitido pela sirene da ambulância tem uma frequência de 50 Hz. O semáforo abre e a ambulância começa a se aproximar do observador. Nos instantes em que a ambulância está se aproximando, o observador detecta um som de frequência de 55 Hz emitido pela sirene da ambulância. Qual é a velocidade de aproximação da ambulância? O observador permanece em repouso durante toda a situação retratada e a ambulância tem aceleração nula. Dado: a velocidade do som no meio é de 330 m/s.

- a) 20 m/s
- b) 30 m/s
- c) 50 m/s
- d) 60 m/s
- e) 100 m/s

**Questão 24.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um observador está em repouso na calçada de uma avenida movimentada. Ele percebe como  $2f$  a frequência da sirene de uma ambulância se aproximando e percebe como  $f$  a frequência da mesma ambulância se afastando. Se a velocidade do som no meio vale  $V$ , determine a velocidade da ambulância.

- a)  $v$
- b)  $2v$
- c)  $3v$



- d)  $\frac{v}{2}$   
e)  $\frac{v}{3}$

**Questão 25.**

(Prof. Vinícius Fulconi) A refração modifica \_\_\_\_\_ de uma onda, mantendo uma proporção direta entre eles(as).

- a) o comprimento de onda e a velocidade de propagação.
- b) a velocidade de propagação e a frequência.
- c) a frequência e a amplitude.
- d) a frequência e o comprimento de onda.
- e) o comprimento de onda e o período.

**Questão 26.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Sabendo que um tubo fechado de comprimento  $L$  ressoa o primeiro harmônico para a frequência de  $680 \text{ Hz}$ , o valor de  $L$ , em  $\text{cm}$ , é:

(Considere:  $v_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$ )

- a)  $45 \text{ cm}$
- b)  $17 \text{ cm}$
- c)  $24 \text{ cm}$
- d)  $25 \text{ cm}$
- e)  $36 \text{ cm}$

**Questão 27.**

(Prof. Vinícius Fulconi) “Sonares são instrumentos geralmente utilizados por navios para detecção e localização de objetos no fundo do mar. Esse equipamento é indispensável para fins bélicos, haja vista que localiza submarinos inimigos, e é muito utilizado por navios pesqueiros para encontrar cardumes.

Os sonares funcionam a partir da emissão de pulsos sonoros, que se chocam com os obstáculos e retornam à fonte. Conhecendo-se o valor da velocidade de propagação dos pulsos sonoros na água e o tempo entre a emissão e recepção deles, pode-se determinar a distância de um obstáculo ou submarino.”

Mundo Educação - Sonar

Sobre as ondas sonoras, é correto afirmar que:

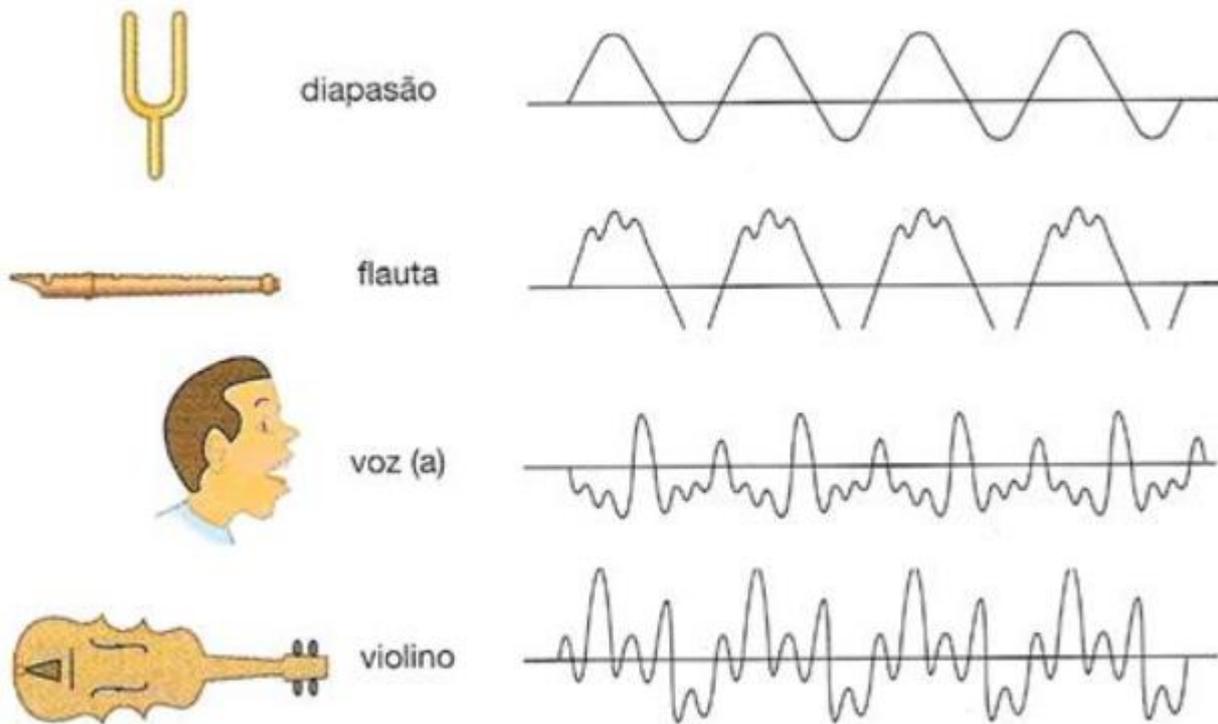
- a) Tratam-se de ondas transversais que se propagam nos meios gasosos.
- b) Tratam-se de ondas longitudinais que não se propagam na água.



- c) Tratam-se de ondas transversais que não se propagam no vácuo.
- d) Tratam-se de ondas longitudinais que não se propagam nos meios metálicos.
- e) Tratam-se de ondas longitudinais que não se propagam no vácuo.

**Questão 28.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Todas as ondas formadas abaixo possuem a mesma frequência de oscilação e estão se propagando com a mesma velocidade. Qual é a qualidade fisiológica do som que é possível distingui-las?



- a) Intensidade
- b) Potência
- c) Timbre
- d) Amplitude

**Questão 29.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma ambulância se aproxima de um pedestre em repouso com uma velocidade 30 m/s. A frequência da sirena da ambulância é de 100 Hz. Sabendo que neste meio o segundo harmônico para um tubo aberto, de comprimento 2 metros, tem frequência de 165 Hz, qual é a frequência da sirena percebida pelo pedestre?

- a) 110 Hz
- b) 120 Hz

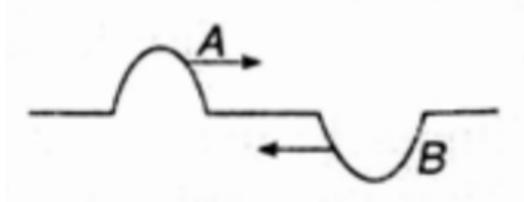


c) 130 Hz

d) 140 Hz

**Questão 30.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Duas ondas harmônicas idênticas estão viajando em direções opostas em uma mesma corda. Em determinado instante, os pulsos irão se sobrepor completamente. Deste modo, no instante de sobreposição total temos:



a) que a energia total na corda é nula.

b) que a energia total na corda é puramente cinética.

c) que a energia total da corda é parcialmente cinética e parcialmente potencial.

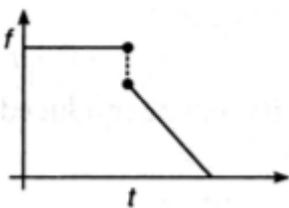
d) que a energia total da corda é puramente potencial.

e) que a energia total é totalmente desconhecida.

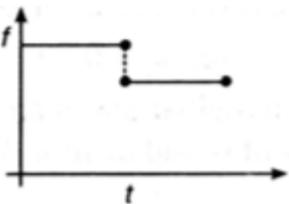
**Questão 31.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um trem está se movendo, com velocidade constante, em direção a um observador em repouso. Qual dos gráficos abaixo representa a curva da frequência recebida pelo observador ( $f$ ) em função do tempo?

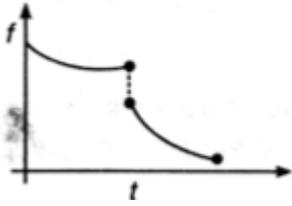
a)



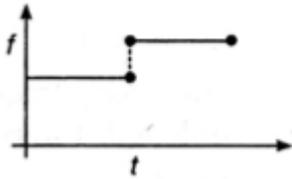
b)



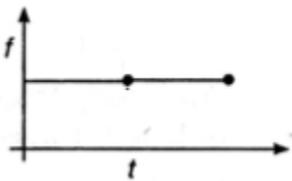
c)



d)



e)



**Questão 32.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Para uma certa corda esticada, três consecutivas frequências de ressonância são observadas em 105, 175 e 245 Hz. Qual é a frequência fundamental?

- a) 30 Hz
- b) 45 Hz
- c) 35 Hz
- d) 85 Hz
- e) 105 Hz

**Questão 33.**

(FUVEST 2020) A transmissão de dados de telefonia celular por meio de ondas eletromagnéticas está sujeita a perdas que aumentam com a distância  $d$  entre a antena transmissora e a antena receptora. Uma aproximação frequentemente usada para expressar a perda  $L$ , em decibéis (dB), do sinal em função de  $d$ , no espaço livre de obstáculos, é dada pela expressão

$$L = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

em que  $\lambda$  é comprimento de onda do sinal. O gráfico a seguir mostra  $L$  (em dB) versus  $d$  (em metros) para um determinado comprimento de onda  $\lambda$ .



Note e adote:  
 Velocidade da luz no vácuo:  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ;  
 $\pi \cong 3$ ;  
 $1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$ .

Com base no gráfico, a frequência do sinal é aproximadamente

- a) 2,5 GHz.
- b) 5 GHz
- c) 12 GHz
- d) 40 GHz
- e) 100 GHz

**Questão 34.**

(UNICAMP 2020) Em 2019 foi divulgada a primeira imagem de um buraco negro, obtida pelo uso de vários radiotelescópios. Também recentemente, uma equipe da NASA propôs a utilização de telescópios de infravermelho para detectar antecipadamente asteroides que se aproximam da Terra. Considere que um radiotelescópio detecta ondas eletromagnéticas provenientes de objetos celestes distantes na frequência de  $f_{\text{rádio}} = 1,5 \text{ GHz}$ , e que um telescópio de infravermelho detecta ondas eletromagnéticas originadas em corpos do sistema solar na frequência de  $f_{\text{infravermelho}} = 30 \text{ THz}$ . Qual é a razão entre os correspondentes comprimentos de onda no vácuo,  $\lambda_{\text{rádio}}/\lambda_{\text{infravermelho}}$ ?

- a)  $5,5 \cdot 10^{-5}$
- b)  $6,7 \cdot 10^{-5}$
- c)  $2,0 \cdot 10^4$
- d)  $6,0 \cdot 10^{12}$

**Questão 35.**

Dois diapasões são soldados e fornecem uma frequência de batimento de  $f_{\text{bat}}$ . Se os diapasões soldados são aproximados de um tubo de ressonância de ar, fechado em uma extremidade, os diapasões ressonam com as colunas de ar de  $L_1$  e  $L_2 > L_1$ , respectivamente. Calcule as frequências dos diapasões.

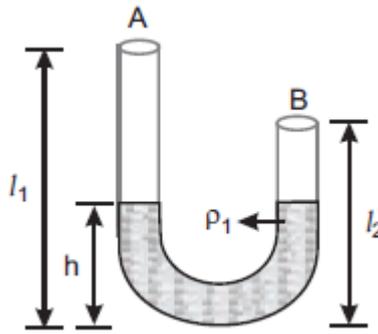
- a)  $\frac{L_2 \cdot f_{\text{bat}}}{L_2 - L_1}$ ;  $\frac{L_1 \cdot f_{\text{bat}}}{L_2 - L_1}$
- b)  $\frac{L_2 \cdot f_{\text{bat}}}{L_2 + L_1}$ ;  $\frac{L_1 \cdot f_{\text{bat}}}{L_2 + L_1}$
- c)  $\frac{f_{\text{bat}}}{2}$ ;  $\frac{f_{\text{bat}}}{2}$



d)  $\frac{3f_{bat}}{2}$ ;  $\frac{3f_{bat}}{2}$

**Questão 36.**

Considere um tubo em U, que é colocado um líquido de densidade  $\rho_1$ . Dois diapásões iguais de frequência  $f$  são posicionados nas bocas de cada um dos tubos. Qual será a relação entre os harmônicos formados em cada um dos ramos?



- a)  $\frac{(l_1-h)}{(l_2)}$
- b)  $\frac{(l_1-h)}{(l_2-h)}$
- c)  $\frac{(l_1+h)}{(l_2+h)}$
- d)  $\frac{(l_1)}{(l_2-h)}$

**Questão 37.**

Instrumentos musicais de corda permitem que enxerguemos a física mais próxima do nosso cotidiano. Um músico, ao tocar seu violão nota que as cordas desse instrumento, ao vibrarem, formam ondas estacionárias. Ao tocar uma nota em específico, o violonista percebe que a distância entre dois nós consecutivos é de 7cm e, com o uso de um frequencímetro, ele sabe que a nota tem exatamente 133Hz. Qual a velocidade dessa onda?

- a) 9,31 cm/s
- b) 9,31 m/s
- c) 0,931 km/s
- d) 0,0931 m/s
- e) 0,00931 m/s

**Questão 38.**

Uma ambulância está se aproximando um observador parado com velocidade  $u$ . O observador percebe uma frequência  $f_0$ . Se o observador se aproximasse da ambulância com velocidade  $V$ , qual seria a frequência percebida pelo observador?

A velocidade do som no ar vale  $c$ .



- a)  $f_0 \left(1 - \frac{u}{c}\right)$
- b)  $f_0 \left(1 + \frac{u}{c}\right)$
- c)  $f_0$
- d)  $f_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right)$
- e)  $f_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right)$

**Questão 39.**

A velocidade de propagação de uma onda gera uma frequência de 2 Hz em uma corda de  $4 \text{ kg/m}$  tensionada com uma tração 64 N. Se a corda tem comprimento  $400 \text{ cm}$ , qual é quantidade de nós há formados nessa corda?

- a) 5
- b) 4
- c) 3
- d) 2
- e) 1

### Nível 3

**Questão 1.**

Um tubo fechado contém 1 mol oxigênio e apresenta ressonância com uma frequência fundamental de 200 Hz. Se agora o tubo contém dois mols de oxigênio e 3 mols de ozônio, na mesma temperatura, qual será a nova frequência fundamental que ressonará com tubo?

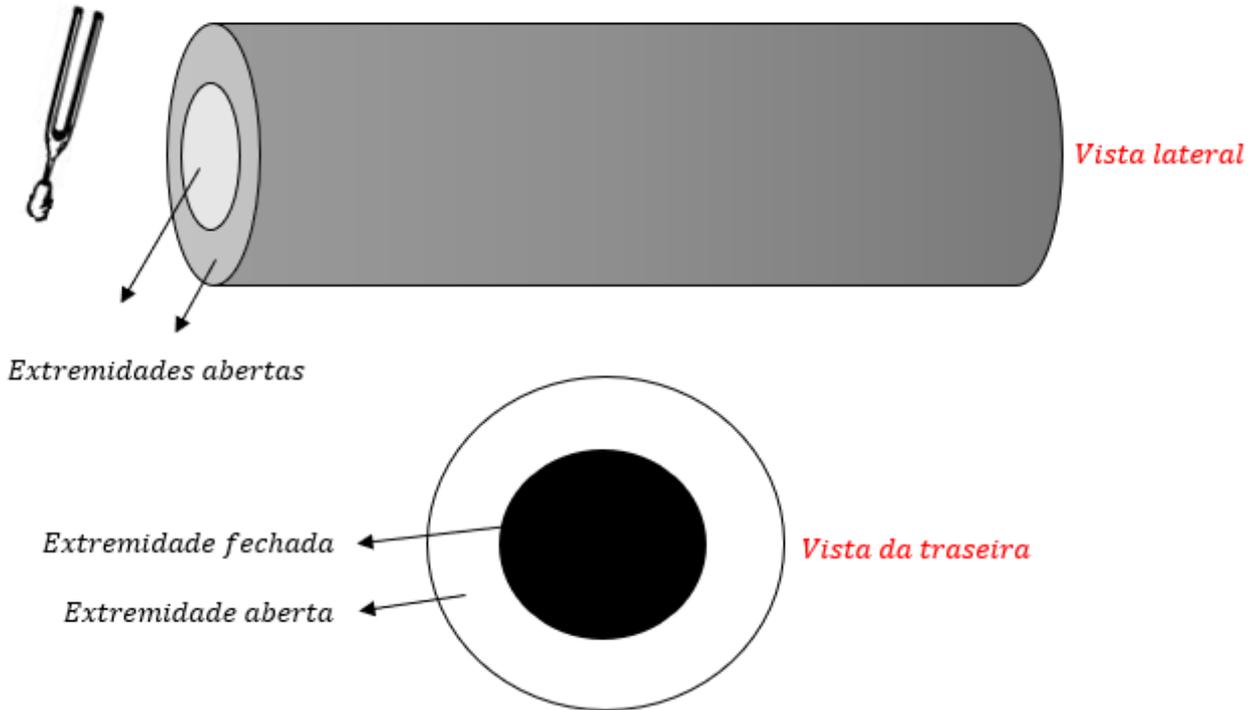
- a) 200 Hz
- b) 190 Hz
- c) 180 Hz
- d) 170 Hz
- e) 160 Hz

**Questão 2.**

Considere dois tubos cilíndricos concêntricos de raios  $R$  e  $R/2$  com o mesmo comprimento. O cilindro interno tem sua extremidade traseira fechada, mas o tubo exterior tem a extremidade



traseira aberta. Um diapasão de frequência  $f$  é posicionado na extremidade comum aberta dos tubos. Veja a figura abaixo.



São observados três padrões sonoros no arranjo dos tubos mostrado acima. O padrão do tubo fechado representa o harmônico  $N$ . Além disso, sabe-se que a energia confinada entre dois nós do padrão do tubo fechado vale  $E$ .

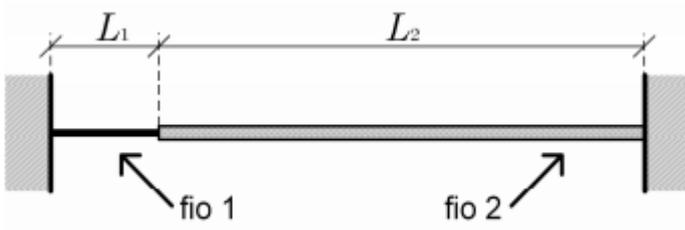
Qual será a energia armazenada entre dois nós consecutivos do padrão sonoro observado nos tubos abertos e seu harmônico correspondente?

Considerações:

- A energia confinada entre dois nós de um padrão em um tubo é proporcional à amplitude do padrão formado.

- a)  $N ; \frac{E}{4}$
- b)  $N ; E$
- c)  $2N ; 4E$
- d)  $\frac{N}{2} ; \frac{E}{4}$
- e)  $N ; E$

**Questão 03.**



(IME 2021) Um fio de comprimento  $L_1$  e densidade linear  $\mu_1$  está ligado a outro fio com comprimento  $L_2 = 14L_1$  e densidade  $\mu_2 = \mu_1/64$ . O conjunto está preso pelas suas extremidades a duas paredes fixas e submetido a uma tensão  $T$ . Uma onda estacionária se forma no conjunto com a menor frequência possível, com um nó na junção dos dois fios. Incluindo os nós das extremidades, determine o número de nós que serão observados ao longo do conjunto.

#### Questão 04.

(IME 2021) Para determinar a temperatura de um gás ideal, este foi inserido num tubo de comprimento  $L$  com uma extremidade aberta e a outra fechada. Na extremidade fechada, foi colocado um pequeno alto-falante, que emite uma frequência  $f_0$  no estado fundamental.

Dados:

Massa mola do gás:  $M$ ;

Coefficiente de Poisson:  $\gamma$ ;

Número pertencente ao conjunto dos números naturais:  $n$ ; e

Constante universal dos gases perfeitos:  $R$ .

Diante do exposto, determine:

- a temperatura absoluta do gás; e
- a razão entre a temperatura do gás original e de um novo gás, cuja massa molar  $\bar{M}$  é maior que a massa molar  $M$  do gás original, mantendo a mesma razão entre a pressão e a massa específica do gás anterior (considere que todo o gás do item a) foi retirado).

#### Questão 5.

A velocidade do som na atmosfera de um planeta é dada pela seguinte expressão:

$$V_{som,gás} = \sqrt{\frac{7RT}{5M}}$$

Em que  $R$  é constante dos gases ideais,  $T$  é a temperatura e  $M$  é a massa molar média do ar atmosférico local.

Considere dois planetas distintos.



Planeta	Composição atmosférica
A	80% de $N_2$ 20% de $O_2$
B	70% de $Ar$ 30% de $He$

Gás	Massa molar (g/mol)
Oxigênio	32
Nitrogênio	28
Argônio	40
Hélio	4

Assinale a alternativa correta. Para responder, considere que a composição molar do ar atmosférico seco desse planeta é de 80% de  $N_2$  e 20% de  $O_2$ .

- Quanto maior a umidade do ar, maior será a velocidade do som na atmosfera A.
- A atmosfera de outro planeta B é composta por 70% de Argônio e 30% de hélio. A velocidade do som nesse planeta B é maior que a velocidade do som no planeta A.
- Dois tubos sonoros idênticos são posicionados um em cada planeta. Um mesmo diapasão é posicionado na extremidade aberta de cada um desses tubos. O harmônico gerado no tubo do planeta A é maior que o harmônico gerado no tubo do planeta B.
- A umidade do ar não altera a velocidade do som.
- Para um equipamento que gera ondas de mesmo comprimento de onda, um som gerado no planeta A é mais agudo que o mesmo som gerado no planeta B.

### Questão 6.

Dois diapasões são soldados e fornecem uma frequência de batimento de 4 Hz. Se os diapasões soldados são aproximados de um tubo de ressonância de ar, fechado em uma extremidade, os diapasões ressoam com as colunas de ar de 32 cm e 33 cm, respectivamente. Calcule as frequências dos diapasões.

- 128 Hz ; 132 Hz
- 256 Hz ; 264 Hz
- 33 Hz ; 41 Hz
- 512 Hz ; 520 Hz
- 99 Hz ; 107 Hz

### Questão 7.

A equação de uma onda transversal propagando em uma corda é dada por:

$$y = 0,02\text{sen}(x + 30t)$$



Em que  $x$  e  $y$  são dados em metros e  $t$  em segundos. Se a densidade linear da corda é  $1,3 \cdot 10^{-4}$  kg/m, qual é a tensão no anel?

**Questão 8.**

Encontre a amplitude resultante de um ponto no qual  $N$  ondas senoidais interferem. Todas as ondas têm a mesma frequência e a mesma amplitude  $A$  e suas fases estão progredindo de acordo com uma progressão aritmética de razão  $\theta$ .

**Questão 9.**

Uma onda é representada pela equação  $y = 10\cos(5x + 25t)$ , em que  $x$  e  $y$  estão em metros e  $t$  está em segundos. Uma segunda onda de equação  $y = 20\cos\left(5x + 25t + \frac{\pi}{3}\right)$  interfere com a primeira onda. Qual é a fase e a amplitude resultante da onda resultante?

**Questão 10.**

Uma corda de densidade linear de massa  $\mu$  está presa em suas duas extremidades. Uma das extremidades está fixa em  $x = 0$  e a outra em  $x = L$ . Quando a corda vibra na sua frequência fundamental seu ponto médio apresenta uma amplitude  $A$ . Se a tensão na corda é  $T$ , encontre a energia total de oscilações armazenada na corda.

## Resolução das questões

### Nível 1

**Questão 1.**

(EEAR 2019) Um instrumento musical produz uma onda sonora a qual propaga-se no ar com velocidade  $V_1=340$ m/s e passa a propagar-se na água com velocidade  $V_2=1428$  m/s.

Sabendo-se que essa onda sonora apresenta no ar um comprimento de onda de  $0,5$ m, qual a frequência, em Hz, dessa onda ao propagar-se na água?

- a) 170
- b) 680
- c) 714
- d) 2856

**Comentário:**



A frequência de uma onda só depende da fonte, não depende do meio a qual a onda está. Então, como a fonte é a mesma para as duas situações, temos que a frequência também é a mesma! 😊

$$V = \lambda \cdot f \rightarrow 340 = 0,5 \cdot f \rightarrow f = 680 \text{ Hz}$$

**Gabarito: B**

---

**Questão 2.**

(EEAR 2019) Uma onda com frequência de 50 kHz está na faixa do:

- a) Infrassom
- b) Ultrassom
- c) Som audível grave
- d) Som audível agudo

**Comentário:**

O ser humano ouve sons de frequências entre 20 Hz e 20.000 Hz, portanto, um som de frequência 50kHz está configurado como Ultrassom (acima do som).

**Gabarito: B**

---

**Questão 3.**

(EEAR 2020) Assinale a alternativa que completa corretamente a frase:

Durante o fenômeno da refração, uma onda eletromagnética ao passar de um meio de propagação para outro com velocidade menor, a onda refratada

\_\_\_\_\_.

- a) inverte a fase e diminui o comprimento de onda
- b) inverte a fase e aumenta o comprimento de onda
- c) não inverte a fase e diminui o comprimento de onda
- d) não inverte a fase e aumenta o comprimento de onda

**Comentário:**

Ao passar de um meio para o outro com velocidade menor, a onda não inverte a fase, porém diminui seu comprimento de onda, de forma que a frequência permaneça a mesma 😊

**Gabarito: C**

---

**Questão 4.**

(EEAR 2020) Assinale a alternativa que completa corretamente a frase:

No estudo da ondulatória, de acordo com o princípio de Huygens, cada ponto de uma frente de onda pode ser considerado como uma nova fonte de ondas secundárias. Portanto, pode-se afirmar corretamente que as novas fontes secundárias possibilitam que a onda formada

\_\_\_\_\_.

- a) tenha seu comprimento de onda alterado
- b) contorne obstáculos no fenômeno da difração



- c) tenha a frequência diferente daquela gerada pela fonte
- d) tenha uma nova velocidade de propagação no mesmo meio

**Comentário:**

Se cada ponto de uma frente de onda se torna uma fonte secundária, então contornar obstáculos se torna possível pois seria equivalente a movimentar a fonte da onda. Assim como ocorre no fenômeno da difração (Experiência de Young).

**Gabarito: B****Questão 5.**

(EEAR 2020) Os radares primários de controle de tráfego aéreo funcionam com base no princípio de reflexão das ondas eletromagnéticas. De acordo com esse princípio, uma onda é emitida por uma antena próxima ao local de pouso e essa onda se propaga até o avião, reflete e volta à antena. Supondo o módulo da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar, igual ao módulo da velocidade de propagação da luz no vácuo ( $v = 300.000 \text{ km/s}$ ), se o intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção da onda refletida foi de 1ms (um milissegundo), conclui-se que o avião está a uma distância de \_\_\_\_\_ km da antena.

- a) 15
- b) 30
- c) 150
- d) 300

**Comentário:**

A onda é transmitida e recebida num intervalo de 1 ms, portanto ela percorre 2 vezes a distância em 1ms, pois deve atingir o avião e retornar ao receptor:

$$2 \times \text{Distância} = 300.000 \times 10^{-3} \rightarrow \text{Distância} = 150 \text{ km}$$

**Gabarito: C****Questão 6.**

(EEAR 2020) Uma sirene produz um som na frequência de 850Hz que se propaga no ar com velocidade igual a 340m/s. Nesse caso, o comprimento de onda desse som é de \_\_\_\_\_ centímetros.

- a) 0,4
- b) 2,5
- c) 25
- d) 40

**Comentário:**

Sabendo que:

$$V = \lambda \cdot f$$

Temos:



$$340 = \lambda \cdot 850 \rightarrow \lambda = 0,4 \text{ m} \rightarrow 40 \text{ cm}$$

**Gabarito: D**

**Questão 7.**

(EAM 2019) Uma corda de comprimento 16 m apoiada no chão extremamente liso é esticada pelas suas extremidades. Em uma de suas extremidades gera-se uma sequência de pulsos (onda) que se propaga pela corda. Sabendo que o comprimento de onda é de 2 m e que a frequência da fonte que faz oscilar a corda é de 4 Hz, assinale a opção que fornece o intervalo de tempo, em segundos, necessário para que um pulso se propague de uma extremidade a outra.

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 5

**Comentário:**

Sabendo que:

$$V = \lambda \cdot f$$

Temos:

$$V = 2 \times 4 = \frac{8\text{m}}{\text{s}} \rightarrow \Delta t = \frac{16}{8} = 2\text{s}$$

**Gabarito: B**

**Questão 8.**

(EEAR 2019) Um raio de luz monocromático propagando-se no ar, meio definido com índice de refração igual a 1, incide, com ângulo de incidência igual a  $60^\circ$ , na superfície de um líquido. Ao refratar, esse raio de luz adquire uma velocidade, no líquido, de  $\sqrt{2} \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Considerando a velocidade da luz no ar igual a  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ , qual deve ser o seno do ângulo de refração formado entre o raio de luz refratado e a normal?

- a)  $1/2$
- b)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$
- c)  $\frac{\sqrt{3}}{2}$
- d)  $\frac{\sqrt{6}}{6}$

**Comentário:**

Pela lei de Snell, temos:



$$\frac{\text{sen}\theta_1}{v_1} = \frac{\text{sen}\theta_2}{v_2}$$

Portanto:

$$\frac{\text{sen}60^\circ}{3 \cdot 10^8} = \frac{\text{sen}\theta}{\sqrt{2} \cdot 10^8} \rightarrow \text{sen}\theta = \frac{\sqrt{6}}{6}$$

**Gabarito: D**

**Questão 9.**

(EEAR 2019) Analise as seguintes afirmações:

I - Ondas mecânicas se propagam no vácuo, portanto não necessitam de um meio material para se propagarem.

II - Ondas longitudinais são aquelas cujas vibrações coincidem com a direção de propagação.

III - Ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagarem.

IV - As ondas sonoras são transversais e não se propagam no vácuo.

Assinale a alternativa que contém todas as afirmações verdadeiras.

- a) I e II
- b) I e III
- c) II e III
- d) II e IV

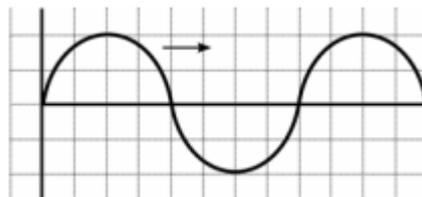
**Comentário:**

- a) Ondas mecânicas precisam de um meio para se propagar, enquanto as eletromagnéticas não.
- b) Correta!
- c) Correta!
- d) As ondas sonoras são longitudinais!

**Gabarito: C**

**Questão 10.**

(EEAR 2019) Um garoto mexendo nos pertences de seu pai, que é um professor de física, encontra um papel quadriculado como a figura a seguir.



Suponha que a figura faça referência a uma onda periódica, propagando-se da esquerda para a direita. Considerando que no eixo das abscissas esteja representado o tempo (em segundos), que



no eixo das ordenadas esteja representada a amplitude da onda (em metros), que o comprimento de onda seja de 8m e que cada quadradinho da escala da figura tenha uma área numericamente igual a 1, a sua velocidade de propagação (em metros por segundo) será de:

- a) 0,25
- b) 1
- c) 8
- d) 16

**Comentário:**

Se cada quadrado tem área igual a 1, então temos que o comprimento do seu lado é igual a 1. Assim, do gráfico, temos:

$$\text{Amplitude: } 2m$$

Logo, podemos observar que de uma crista (amplitude máxima) até a outra crista, temos um intervalo de 10 quadrados:

$$\Delta t = 8 s$$

Assim, para 1 comprimento de onda, temos 8 segundos, logo:

$$v = \frac{8}{8} = 1m/s$$

**Gabarito: B**

---

**Questão 11.**

(EEAR 2019) Um adolescente de 12 anos, percebendo alterações em sua voz, comunicou à sua mãe a situação observada com certa regularidade. Em determinados momentos apresentava tom de voz fina em outros momentos tom de voz grossa. A questão relatada pelo adolescente refere-se a uma qualidade do som denominada:

- a) altura
- b) timbre
- c) velocidade
- d) intensidade

**Comentário:**

A voz fina ou grossa está relacionada a frequência. Portanto, a altura do som denomina se a voz está grossa (baixa) ou fina (alta).

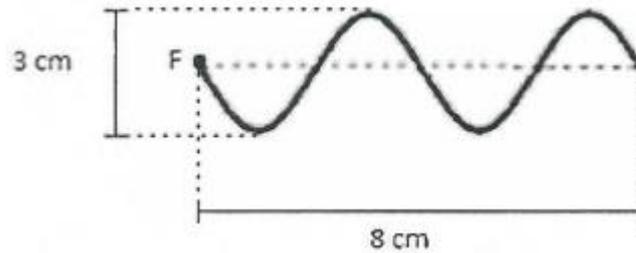
**Gabarito: A**

---



**Questão 12.**

(EAM2018)



A figura representa ondas propagando-se numa corda tensa 4 s após o início das oscilações da fonte F que as produz. O comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a frequência ( $f$ ) da onda produzida pela fonte F valem, respectivamente:

- a) 3 cm e 0,80 Hz
- b) 4 cm e 0,25 Hz
- c) 4 cm e 0,50 Hz
- d) 8 cm e 0,25 Hz
- e) 8 cm e 0,50 Hz

**Comentário:**

Da figura podemos observar que:

$$2 \cdot \lambda = 8 \rightarrow \lambda = 4cm$$

A frequência é o inverso do tempo, para cada comprimento de onda, logo:

$$2\lambda \rightarrow 4s \rightarrow \lambda \rightarrow 2s \rightarrow f = \frac{1}{2}Hz = 0,5 Hz$$

**Gabarito: C**

**Questão 13.**

(EEAR 2018) Uma onda propagando-se em um meio material passa a propagar-se em outro meio cuja velocidade de propagação é maior do que a do meio anterior. Nesse caso, a onda, no novo meio tem

- a) sua fase invertida.
- b) sua frequência aumentada.
- c) comprimento de onda maior.
- d) comprimento de onda menor.

**Comentário:**

Se a velocidade da onda é maior no segundo meio, temos então que ao atravessar os meios a onda sofre um aumento do seu comprimento de onda, pois a frequência permanece a mesma devido a só depender da fonte! 😊

**Gabarito: C**

---

**Questão 14.**

(EEAR 2018) No estudo de ondulatória, um dos fenômenos mais abordados é a reflexão de um pulso numa corda. Quando um pulso transversal se propagando em uma corda devidamente tensionada encontra uma extremidade fixa, o pulso retorna à mesma corda, em sentido contrário e com:

- a) inversão de fase
- b) alteração no valor da frequência.
- c) alteração no valor do comprimento de onda.
- d) alteração no valor da velocidade de propagação.

**Comentário:**

Ao encontrar uma parede fixa, o pulso retorna com a mesma velocidade e comprimento de onda, entretanto com a fase invertida pois a parede se torna uma fonte idêntica a inicial, mas defasada de  $\pi$ .

**Gabarito: A**

---

**Questão 15.**

(EEAR 2018) Um professor de música esbraveja com seu discípulo: “Você não é capaz de distinguir a mesma nota musical emitida por uma viola e por um violino!”. A qualidade do som que permite essa distinção à que se refere o professor é a (o)

- a) altura
- b) timbre
- c) intensidade
- d) velocidade de propagação

**Comentário:**

O que diferencia dois instrumentos é o timbre. Que de certa forma é uma ligeira diferença na frequência e acústica dos instrumentos 😊

**Gabarito: B**

---

**Questão 16.**

(EEAR 2018) Dentre os recentes desenvolvimentos tecnológicos encontram-se os aparelhos eletrodomésticos que, pela praticidade e economia de tempo, facilitam a realização das tarefas diárias, como o forno de microondas utilizado para o preparo ou o aquecimento dos alimentos quase que de modo instantâneo. Dentro do forno de microondas, o magnétron é o dispositivo que transforma ou converte a energia elétrica em microondas, ondas eletromagnéticas de alta frequência, as quais não aquecem o forno porque:

- a) são completamente absorvidas pelas paredes do forno e pelos alimentos.
- b) são refratadas pelas paredes do forno e absorvidas pelos alimentos.



- c) não produzem calor diretamente e são absorvidas pelas paredes do forno e pelos alimentos.
- d) não produzem calor diretamente, são refletidas pelas paredes do forno e absorvidas pelos alimentos.

**Comentário:**

As ondas eletromagnéticas são refletidas pelas paredes do micro-ondas e são absorvidas pela água dos alimentos! O que os faz esquentar.

Uma curiosidade é que formigas não morrem dentro de um micro-ondas ligado pois elas não têm água suficiente para serem aquecidas 😊

**Gabarito: D**

---

**Questão 17.**

(EEAR 2018) Ao caminhar por uma calçada, um pedestre ouve o som da buzina de um ônibus, que passa na via ao lado e se afasta rapidamente. O pedestre observou nitidamente que quando o ônibus se afastou houve uma brusca variação na altura do som. Este efeito está relacionado ao fato de que houve variação:

- a) no timbre das ondas
- b) na amplitude das ondas
- c) na frequência do som
- d) na intensidade do som

**Comentário:**

O efeito descrito no enunciado se chama “Efeito Doppler”. Tal efeito consiste em uma variação na frequência percebida pelo observador quando a fonte está se aproximando ou afastando do objeto!

**Gabarito: C**

---

**Questão 18.**

(EEAR 2018) O universo é um grande laboratório onde transformações estão ocorrendo a todo instante, como as explosões que permitem o surgimento (nascimento) e/ou a morte de estrelas e outros corpos celestes. Em uma noite de céu límpido, é possível observar a luz, proveniente de diferentes estrelas, muitas das quais possivelmente já não mais existem. Sabendo que as ondas eletromagnéticas correspondentes ao brilho destas estrelas percorrem o espaço interestelar com a velocidade máxima de 300.000 km/s, podemos afirmar que não ouvimos o barulho destas explosões porque:

- a) a velocidade de propagação das ondas sonoras é muito menor do que a das ondas de luz e, por isso, elas ainda estão caminhando pelo espaço.
- b) devido a interferência das ondas sonoras de diferentes estrelas, estas se cancelam (anulam) mutuamente e com o campo magnético da Terra.
- c) as ondas sonoras não possuem energia suficiente para caminhar pelo espaço interestelar.



d) as ondas sonoras são ondas mecânicas e precisam da existência de um meio material para se propagar.

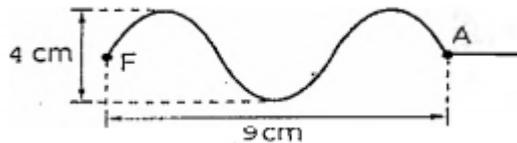
**Comentário:**

O som é uma onda mecânica e, portanto, precisa de um meio material para se propagar. Som não se propaga no vácuo 😞

**Gabarito: D**

**Questão 19.**

(EAM 2017) Observe a figura abaixo.



Considerando que os pontos F e A estão na mesma altura em relação a um referencial comum e sabendo que o ponto A da corda foi atingido 12s após o início das oscilações da fonte, o período e a velocidade de propagação das ondas ao longo da corda valem, respectivamente:

- a) 4s e 0,25 cm/s
- b) 8s e 0,75 cm/s
- c) 9s e 1,25 cm/s
- d) 12s e 2,25 cm/s
- e) 15s e 2,50 cm/s

**Comentário:**

Do enunciado, temos:

$$\frac{3\lambda}{2} = 9\text{cm} \rightarrow \lambda = 6\text{cm}$$

Como o ponto foi atingido 12 segundos após:

$$\frac{3\lambda}{2} \rightarrow 12\text{s} \leftrightarrow \lambda \rightarrow 8\text{s}$$

Em 8 segundos, ocorre 1 comprimento de onda, portanto o período é:

$$T = 8\text{ s} \rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \rightarrow v = \frac{6}{8} = 0,75\text{ cm/s}$$

**Gabarito: B**

**Questão 20.**

(EAM 2017) A classificação quanto à natureza e quanto à direção de propagação das ondas causadas pelo vento na superfície de um lago, vistas por um observador que passeia à beira desse lago, é, respectivamente:

- a) mecânicas e unidimensionais.



- b) eletromagnéticas e tridimensionais.
- c) eletromagnéticas e bidimensionais.
- d) mecânicas e bidimensionais.
- e) mecânicas e tridimensionais.

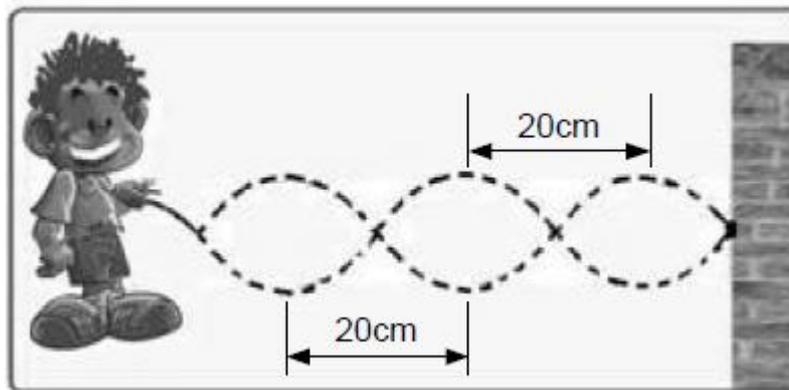
**Comentário:**

As ondas observadas são mecânicas pois se precisam de um meio para a propagação (água do lago) e são bidimensionais pois se propagam no plano do lago apenas! 😊

**Gabarito: D**

**Questão 21.**

(EEAR 2017) Um garoto amarra uma das extremidades de uma corda em uma coluna fixada ao chão e resolve brincar com ela executando um movimento vertical de sobe e desce na extremidade livre da corda, em intervalos de tempos iguais, produzindo uma onda de pulsos periódicos, conforme mostrado na figura. Sabendo que a frequência da onda formada na corda é de 5,0 Hz, determine a velocidade dessa onda, em m/s.



- a) 1
- b) 2
- c) 50
- d) 100

**Comentário:**

Da figura, podemos observar que o comprimento de onda é 40cm, logo:

$$V = \lambda \cdot f$$

$$V = 40 \cdot 10^{-2} \times 5 = 2m/s$$

**Gabarito: B**

**Questão 22.**

(EEAR 2017) Em uma apresentação musical, uma criança viu três instrumentos semelhantes em formato, porém de tamanhos diferentes: o violoncelo, a viola e o violino. Detectou que o violino



tinha o som mais agudo e que o violoncelo tinha o som mais grave. Segundo o texto acima, a qualidade sonora detectada pela criança foi:

- a) Intensidade
- b) Altura
- c) Timbre
- d) volume

**Comentário:**

Sons são classificados como agudos ou graves de acordo com a sua frequência. Portanto a qualidade detectada pela criança foi a altura.

É importante observar o erro comum do dia-a-dia, quando falamos que um som está alto demais quando queremos dizer que seu volume está elevado. Entretanto, isso é um erro. A forma correta é dizer que o som está intenso demais. 😊

**Gabarito: B**

---

**Questão 23.**

(EEAR 2017) A velocidade do som no ar é de aproximadamente 340 m/s. Se o ser humano é capaz de ouvir sons de 20 a 20000 Hz, qual o maior comprimento de onda, em metros, audível para uma pessoa com audição perfeita?

- a) 1,7
- b) 17
- c) 170
- d) 1700

**Comentário:**

Sabendo que:

$$V = \lambda \cdot f$$

O ser humano ouvirá um som com maior comprimento de onda quando sua frequência for a menor possível, portanto:

$$340 = \lambda \cdot 20 \rightarrow \lambda = 17 \text{ m}$$

**Gabarito: B**

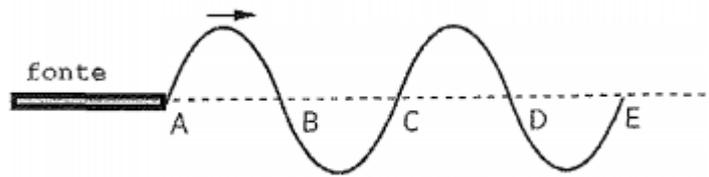
---

**Questão 24.**

(EAM 2016)



Observe a figura abaixo.



O esquema acima representa ondas periódicas propagando-se ao longo de uma corda tensa. Nesse esquema, os pontos A e E distam 60cm um do outro e o instante mostrado foi obtido 5s após o início da vibração da fonte.

Considerando essa situação, pode-se dizer que o comprimento de onda ( $\lambda$ ), a frequência ( $f$ ) e a velocidade ( $v$ ) dessa onda valem, respectivamente:

- a) 60cm, 1,0 Hz e 12 cm/s
- b) 60cm, 4,0 Hz e 10 cm/s
- c) 30cm, 0,4 Hz e 12 cm/s
- d) 30cm, 0,4 Hz e 10 cm/s
- e) 30cm, 0,6 Hz e 10 cm/s

**Comentário:**

Da figura, podemos observar que do ponto A ao ponto E temos 2 comprimentos de onda:

$$2\lambda = 60 \rightarrow \lambda = 30 \text{ cm}$$

Como o tempo foi de 5 segundos, temos:

$$T = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ s}$$

$$V = \frac{30}{2,5} = \frac{12 \text{ cm}}{\text{s}}$$

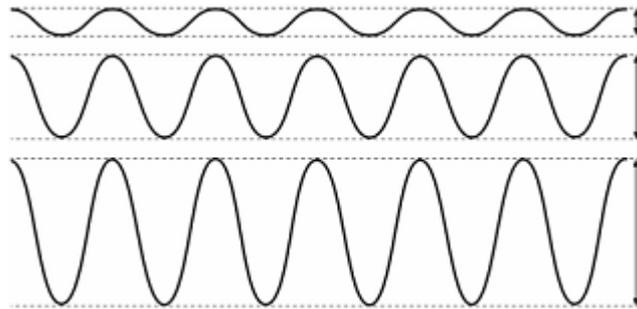
Por fim, temos:

$$V = \lambda \cdot f \rightarrow 12 = 30 \cdot f \rightarrow f = \frac{12}{30} = 0,4 \text{ Hz}$$

**Gabarito: C**

**Questão 25.**

(EEAR 2017) Analisando a figura do gráfico que representa três ondas sonoras produzidas pela mesma fonte, assinale a alternativa correta para os três casos representados.



- a) As frequências e as intensidades são iguais.
- b) As frequências e as intensidades são diferentes.
- c) As frequências são iguais, mas as intensidades são diferentes.
- d) As frequências são diferentes, mas as intensidades são iguais.

**Comentário:**

Da figura, podemos observar que os comprimentos verticais (Amplitudes totais) das ondas são diferentes. Portanto a intensidade de cada onda é diferente. Entretanto, como a fonte é a mesma, então a frequência é igual para todas as ondas, pois a mesma só depende da fonte! 😊

**Gabarito: C**

**Questão 26.**

(EEAR 2007) A figura representa uma onda estacionária numa corda fixa nas extremidades A e B. O comprimento  $\ell$ , em metros, vale

- a) 1,0.
- b) 1,5.
- c) 2,0.
- d) 3,0.

**Comentário:**

Da figura, temos que:

$$\lambda = 0,5m$$

Sabendo que:

$$\ell = 3 \cdot \lambda$$

$$\ell = 3 \cdot 0,5$$

$$\ell = 1,5 m$$

**Gabarito: B**

**Questão 27.**

(EEAR 2007) Ondas eletromagnéticas são aquelas que se propagam

- a) somente no vácuo.
- b) somente em meios materiais.



- c) somente em condutores elétricos.
- d) tanto em meios materiais quanto no vácuo.

**Comentário:**

Sabendo que:

- Ondas mecânica são as ondas que precisam de um meio material para se propagar.
- Ondas eletromagnéticas são as ondas que podem se propagar tanto em meios materiais quanto no vácuo.

Dessa forma, temos que a alternativa correta é a letra D.

**Gabarito: D**

---

**Questão 28.**

(EEAR 2008) Assinale a alternativa correta:

- a) Ondas sonoras podem propagar-se no vácuo.
- b) A faixa de frequências audíveis vai de 20 kHz a 20 MHz.
- c) Ondas eletromagnéticas não podem propagar-se no vácuo.
- d) A velocidade de propagação do som na água é maior que no ar.

**Comentário:**

Analisando a alternativa, temos que:

- Alternativa A está incorreta, pois as ondas sonoras são ondas mecânicas e, conseqüentemente, não se propagam no vácuo.
- Alternativa B está incorreta, pois a faixa de frequência audível vai de 20 Hz a 20000 Hz.
- Alternativa C está incorreta, pois as ondas eletromagnéticas podem se propagar no vácuo.
- Alternativa D está correta, pois como as partículas de água estão mais próximas do que no ar, a velocidade na água vai ser maior que no ar.

**Gabarito: D**

---

**Questão 29.**

(EEAR 2010) Uma onda passa de um meio material para outro, no qual apresenta diferente velocidade de propagação. Neste caso, no novo meio, a onda apresenta

- a) frequência maior que a anterior.
- b) frequência menor que a anterior.
- c) a mesma frequência que no meio anterior.
- d) o mesmo comprimento de onda que no meio anterior.

**Comentário:**

Sabendo, de conhecimento prévio, que a frequência não se altera com a mudança do meio de propagação, temos que a alternativa correta é a letra C.

**Gabarito: C**

---

**Questão 30.**

(EEAR 2010) Uma emissora de rádio AM transmite ondas eletromagnéticas na frequência de 30 MHz, ou seja, dentro da faixa de ondas curtas. Supondo a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar a mesma que no vácuo, ou seja,  $3 \cdot 10^8$  m/s, qual o comprimento de onda relativo a essa frequência?

- a) 1 mm
- b) 1 cm
- c) 1 m
- d) 10 m

**Comentário:**

Sabendo que:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 30 \cdot 10^6$$
$$\frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^7} = \lambda$$
$$\lambda = 10 \text{ m}$$

**Gabarito: D**

---

**Questão 31.**

(EEAR 2012) Um nadador ao executar o movimento das pernas e braços dentro da água produz pequenas ondas. Ao incidirem em certas bordas de piscina, essas ondas retornam e incidem sobre o nadador acarretando a diminuição do módulo da velocidade do mesmo. Para evitar isso, as piscinas mais atuais utilizam bordas cuja altura em relação ao nível da água é praticamente nula e assim evitam a (o) \_\_\_\_\_ das ondas.

- a) reflexão
- b) ressonância
- c) polarização
- d) efeito doppler

**Comentário:**

Analisando os fenômenos das alternativas:

- Reflexão acontece quando uma onda atinge uma região que separa dois meios e ela volta a se propagar no meio que ela veio.
- Ressonância acontece quando ondas ou objetos vibram na mesma frequência.
- Polarização significa orientar a onda em uma única direção.
- Efeito doppler é a alteração aparente percebida de uma onda quando existe movimento entre a fonte de ondas e o receptor.



Dessa forma, temos que ocorre uma reflexão das ondas na borda da piscina.

**Gabarito: A**

---

**Questão 32.**

(EEAR 2012) Uma onda sonora propaga-se no ar com um comprimento de onda igual a 1,1 m a uma velocidade de 330 m/s. A frequência, em Hz, dessa onda sonora é

- a) 155.
- b) 150.
- c) 330.
- d) 300.

**Comentário:**

Sabendo que:

$$\begin{aligned}v &= \lambda \cdot f \\330 &= 1,1 \cdot f \\ \frac{330}{1,1} &= f \\f &= 300 \text{ Hz}\end{aligned}$$

**Gabarito: D**

---

**Questão 33.**

(EEAR 2013) No funcionamento de um equipamento de comunicação há uma onda quadrada com período de 0,04 segundos. Em outras palavras, a frequência dessa onda é de \_\_\_\_\_ Hz.

- a) 4
- b) 25
- c) 40
- d) 100

**Comentário:**

Sabendo que:

$$\begin{aligned}f &= \frac{1}{T} \\f &= \frac{1}{0,04} \\f &= \frac{100}{4} \\f &= 25 \text{ Hz}\end{aligned}$$

**Gabarito: B**

---

**Questão 34.**

(EEAR 2013) Em relação às qualidades do som, a unidade decibel (dB) refere-se à (ao) \_\_\_\_\_ da onda sonora.

- a) intensidade
- b) período
- c) timbre
- d) altura

**Comentário:**

Sabendo, de conhecimento prévio, temos que dB se refere à intensidade da onda sonora.

**Gabarito: A****Questão 35.**

(EEAR 2013) Um transmissor de Radar emite no ar ondas eletromagnéticas na faixa de micro-ondas. Sabendo-se que a frequência do transmissor é de 2,0 GHz, qual o comprimento de onda, em cm, das ondas transmitidas?

Considere:

- 1 – O meio homogêneo,
- 2 – a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar igual a 300.000 km/s e
- 3 – o prefixo G =  $10^9$ .

- a) 0,6
- b) 1,5
- c) 6,0
- d) 15,0

**Comentário:**

Sabendo que:

$$\begin{aligned}v &= \lambda \cdot f \\300000 \cdot 10^3 &= \lambda \cdot 2 \cdot 10^9 \\3 \cdot 10^8 &= \lambda \cdot 2 \cdot 10^9 \\ \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^9} &= \lambda \\ \frac{3}{20} &= \lambda \\ \lambda &= 0,15 \text{ m}\end{aligned}$$

Com isso, temos:

$$\lambda = 15 \text{ cm}$$

**Gabarito: D**

---

**Questão 36.**

(EEAR 2006) Certa onda, propagando-se no ar, possui um comprimento de onda igual a 100 cm e velocidade de propagação de 340 m/s. Qual será o comprimento de onda, em centímetros, desta onda ao passar para um meio onde a velocidade de propagação é de 1,36 m/s?

- a) 0,04
- b) 0,4
- c) 2,5
- d) 2500

**Comentário:**

Sabendo que as frequências nos dois meios são iguais:

$$\begin{aligned}f_1 &= f_2 \\ \frac{v_1}{\lambda_1} &= \frac{v_2}{\lambda_2} \\ \frac{340}{100 \cdot 10^{-2}} &= \frac{1,36}{\lambda_2} \\ \frac{340}{1} &= \frac{1,36}{\lambda_2} \\ \lambda_2 &= \frac{1,36}{340} \\ \lambda_2 &= 4 \cdot 10^{-3} m\end{aligned}$$

Sendo assim:

$$\lambda_2 = 0,4 \text{ cm}$$

**Gabarito: B**

---

**Questão 37.**

(EEAR 2007) O ouvido humano normal é capaz de detectar a estreita faixa de frequência compreendida entre 20 Hz e 20 kHz. Admitindo a velocidade do som no ar igual a 340 m/s. O som mais grave e o mais agudo que o ouvido humano é capaz de captar têm comprimentos de onda, respectivamente, iguais a:

- a) 1,7 m e 0,017 m
- b)  $1,7 \cdot 10^3$  cm e  $1,7 \cdot 10^{-2}$  m
- c) 1,7 cm e 1,7 m
- d)  $1,7 \cdot 10^{-3}$  m e  $1,7 \cdot 10^2$  cm

**Comentário:**

Analisando:

- Som mais grave:



$$v = \lambda \cdot f$$

$$340 = \lambda \cdot 20$$

$$\frac{340}{20} = \lambda$$

$$\lambda = 17 \text{ m} = 1,7 \cdot 10^3 \text{ cm}$$

- Som mais agudo:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$340 = \lambda \cdot 20 \cdot 10^3$$

$$\frac{340}{20 \cdot 10^3} = \lambda$$

$$\lambda = 17 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Logo, a alternativa correta é a letra B.

**Gabarito: B**

---

**Questão 38.**

(EEAR 2007) Qual o comprimento de onda, em metros, de uma onda sonora de 1,7 kHz propagando-se no ar?

Dado: velocidade do som no ar é igual a 340 m/s.

- a) 0,2
- b) 5,0
- c) 20
- d) 50

**Comentário:**

Sabendo que:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$340 = \lambda \cdot 1,7 \cdot 10^3$$

$$\frac{340}{170 \cdot 10} = \lambda$$

$$\frac{2}{10} = \lambda$$

$$\lambda = 0,2 \text{ m}$$

**Gabarito: A**

---

**Questão 39.**

(EEAR 2007) O fenômeno ondulatório no qual uma onda consegue contornar um obstáculo é chamado de

- a) reflexão.



- b) refração.
- c) difração.
- d) polarização.

**Comentário:**

Analisando os fenômenos das alternativas:

- Reflexão acontece quando uma onda atinge uma região que separa dois meios e ela volta a se propagar no meio que ela veio.
- Refração acontece quando uma onda atinge uma região que separa dois meios e ela atravessa e começa a se propagar no novo meio.
- Difração pode ser definida como a capacidade de contornar obstáculos.
- Polarização significa orientar a onda em uma única direção.

Dessa forma, temos que a alternativa correta é a letra C.

**Gabarito: C**

---

**Questão 40.**

(EEAR 2008) Uma mesma nota musical produz “sensações” diferentes quando emitidas por um violino ou por um piano. A qualidade do som que permite diferenciar dois sons de mesma frequência e mesmo “volume”, emitidos por fontes distintas é a (o) \_\_\_\_\_.

- a) altura
- b) timbre
- c) fidelidade
- d) intensidade

**Comentário:**

Analisando as alternativas, temos:

- Altura de um som diz respeito a sua frequência.
- Timbre é o formato da onda sonora e cada instrumento possui seu próprio modo de vibração que resulta na produção de um som característico.
- Fidelidade é a reprodução de um som com a maior fidelidade possível ao som real.
- Intensidade é a medida da quantidade de energia que uma onda sonora é capaz de transferir.

Dessa forma, temos que a alternativa correta é a letra B.

**Gabarito: B**

---

**Questão 41.**

(EEAR 2008) Admitindo que as estações de rádio, de uma determinada região, emitam ondas eletromagnéticas basicamente em duas faixas: AM e FM e que a velocidade das ondas eletromagnéticas vale  $3 \times 10^8$  m/s, duas estações de rádio que emitam ondas de comprimento de onda igual a 300 m e 200 m estão operando, respectivamente, em \_\_\_\_\_.



Dados:

AM de 535 a 1650 kHz

FM de 88 a 108 MHz

- a) AM e AM
- b) AM e FM
- c) FM e AM
- d) FM e FM

**Comentário:**

Analisando:

- Onda com maior comprimento de onda:

$$\begin{aligned}v &= \lambda \cdot f \\3 \cdot 10^8 &= 300 \cdot f_1 \\ \frac{3 \cdot 10^8}{300} &= f_1 \\ \frac{10^8}{10^2} &= f_1 \\ f_1 &= 10^6 \text{ Hz} \\ f_1 &= 10^3 \text{ kHz}\end{aligned}$$

Com isso, a primeira onda está na faixa do AM.

- Onda com menor comprimento de onda:

$$\begin{aligned}v &= \lambda \cdot f \\3 \cdot 10^8 &= 200 \cdot f_1 \\ \frac{3 \cdot 10^8}{200} &= f_1 \\ f_1 &= 1,5 \cdot 10^6 \text{ Hz} \\ f_1 &= 1500 \text{ kHz}\end{aligned}$$

Com isso, a segunda onda também está na faixa do AM.

Logo, a alternativa correta é a letra A.

**Gabarito: A**

---

**Questão 42.**

(EEAR 2008) A palavra LASER vem da sigla Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Um laser que emite ondas eletromagnéticas, no ar, com velocidade de  $3 \cdot 10^8$  m/s, com frequência de  $5,0 \cdot 10^{14}$  Hz, terá comprimento de onda, em metros, igual a \_\_\_\_\_.

- a)  $1,5 \cdot 10^{-8}$



- b)  $6,0 \cdot 10^{-8}$
- c)  $1,5 \cdot 10^{-7}$
- d)  $6,0 \cdot 10^{-7}$

**Comentário:**

Sabendo que:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 5 \cdot 10^{14}$$
$$\frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{14}} = \lambda$$
$$\frac{6 \cdot 10^8}{10^{15}} = \lambda$$
$$\lambda = 6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

**Gabarito: D**

---

**Questão 43.**

(EEAR 2009) Em um determinado meio de propagação, o comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a frequência ( $f$ ) de uma dada onda, são grandezas

- a) diretamente proporcionais.
- b) inversamente proporcionais.
- c) que só podem ser aplicadas no estudo do som.
- d) que não apresentam nenhuma proporcionalidade.

**Comentário:**

Sabendo que:

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

Com isso, temos que o comprimento de onda e a frequência são inversamente proporcionais e, portanto, a alternativa correta é a letra B.

**Gabarito: B**

---

**Questão 44.**

(EEAR 2009) Uma onda se propaga de um meio para outro, constituindo o fenômeno da refração ondulatória. Pela experiência concluímos que neste fenômeno se mantém sem alteração o (a)

- a) frequência.
- b) comprimento de onda.
- c) velocidade de propagação.
- d) produto da frequência pelo comprimento de onda.

**Comentário:**

Sabendo, de conhecimento prévio, que o produto da frequência pelo comprimento de onda é a velocidade de propagação e que a frequência não se altera com a mudança do meio de propagação, temos que a alternativa correta é a letra A.

**Gabarito: A****Questão 45.**

(EEAR 2009) Durante os cercos realizados aos castelos da Idade Média costumava-se colocar barris com água do lado interno das muralhas. O objetivo era detectar por meio das ondulações da superfície da água a escavação de túneis para entrar no castelo. Dentre as alternativas a seguir, pode-se afirmar, corretamente, que

a frequência observada nas ondulações formadas na superfície da água é a mesma da escavação.

a frequência observada nas ondulações formadas na superfície da água não é a mesma da escavação.

a diminuição da amplitude nas ondulações formadas na superfície da água indicava, com certeza, a maior proximidade da escavação.

o aumento da amplitude nas ondulações formadas na superfície da água não indicava a maior proximidade da escavação ou maior intensidade da escavação.

**Comentário:**

Sabendo, de conhecimento prévio, que a frequência não se altera com a mudança do meio de propagação e quanto mais próximo ou mais intenso, teremos uma maior amplitude das oscilações. Logo, temos que a alternativa correta é a letra A.

**Gabarito: A****Questão 46.**

(EEAR 2009) Na superfície de um lago observa-se a formação de ondas periódicas. Sabendo-se que a distância entre duas cristas consecutivas da onda é de 10 cm e que sua velocidade de propagação é de 2 m/s, qual o período, em s, desta propagação?

a) 0,05

b) 0,10

c) 10,0

d) 20,0

**Comentário:**

Do enunciado, temos que:

$$\lambda = 10 \text{ cm}$$

Sabendo que:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$2 = 10 \cdot 10^{-2} \cdot f$$



$$2 = 10^{-1} \cdot f$$

$$f = 20 \text{ HZ}$$

Como:

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{20}$$

$$T = 0,05 \text{ s}$$

**Gabarito: A**

---

**Questão 47.**

(EEAR 2009) Dentre as frases a seguir, a respeito de Ondulatória e Acústica, são corretas:

a voz masculina apresenta, geralmente, menor frequência que a voz feminina;

o timbre depende da forma das vibrações, isto é, da forma da onda sonora;

as ondas infrassônicas e ultrassônicas são ondas eletromagnéticas e, por este motivo, inaudíveis para o ser humano;

a altura é a qualidade do som que depende da amplitude da onda sonora.

a) I e II

b) todas

c) III e IV

d) I, II e III

**Comentário:**

Analisando as afirmativas:

- Afirmativa I está correta, pois, geralmente, a voz masculina é mais grave enquanto a feminina é mais aguda e, portanto, a masculina apresenta, geralmente, menor frequência que a voz feminina.

- Afirmativa II está correta, pois o timbre é o formato da onda sonora e cada instrumento possui seu próprio modo de vibração que resulta na produção de um som característico.

- Afirmativa III está incorreta, pois as ondas infrassônicas e ultrassônicas não são necessariamente ondas eletromagnéticas e, além disso, não são audíveis para o ser humano porque não estão na faixa de frequência audível.

- Afirmativa IV está incorreta, pois a altura é a qualidade do som que depende da frequência.

Logo, a alternativa correta é a letra A.

**Gabarito: A**

---

**Questão 48.**



(EEAR 2010) Um pulso ao propagar-se em uma corda encontra um extremo fixo e sofre reflexão. Ao retornar, o pulso refletido terá

- a) mesma fase e comprimento de onda menor.
- b) mesma fase e mesmo comprimento de onda.
- c) fase invertida e comprimento de onda maior.
- d) fase invertida e mesmo comprimento de onda.

**Comentário:**

Sabendo que a reflexão em um extremo fixo acontece com inversão de fase e como a onda se propagará no mesmo meio, ele terá a mesma velocidade de propagação antes e depois da reflexão e como sua frequência também é a mesma. Portanto, o comprimento de onda antes e depois da reflexão também será a mesma.

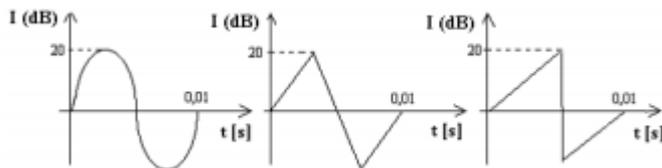
Sendo assim, temos que a alternativa correta é a letra D.

**Gabarito: D**

---

**Questão 49.**

(EEAR 2010) As figuras abaixo representam ondas sonoras emitidas por 3 dispositivos diferentes.



A qualidade do som que permite ao ouvinte identificar a diferença entre os sons gerados pelos dispositivos é

- a) a altura.
- b) o timbre.
- c) a intensidade.
- d) o comprimento de onda.

**Comentário:**

Analisando as alternativas:

- Alternativa A está incorreta, pois as alturas das três ondas são iguais tendo em vista que a altura está relacionada com a frequência e, conseqüentemente, com o período que é igual nos três gráficos. Sendo assim, não é possível identificar a diferença entre os sons gerados pelos dispositivos.

- Alternativa B está correta, pois o timbre é o formato da onda sonora e cada instrumento possui seu próprio modo de vibração que resulta na produção de um som característico e, com isso, podemos identificar a diferença entre os sons gerados pelos dispositivos.

- Alternativa C está incorreta, pois no gráfico podemos observar que todas as ondas possuem o mesmo valor de intensidade máxima. Sendo assim, não é possível identificar a diferença entre os sons gerados pelos dispositivos.



- Alternativa D está incorreta, pois como a velocidade de propagação do som é o mesmo e, do gráfico, temos que a frequência delas é a mesma podemos concluir que as ondas terão o mesmo comprimento de onda. Sendo assim, não é possível identificar a diferença entre os sons gerados pelos dispositivos.

**Gabarito: B**

**Questão 50.**

(EEAR 2011) O valor mínimo da escala de intensidade sonora corresponde a  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ .

Assinale a alternativa que indica corretamente o valor, em decibéis, para uma intensidade de  $1,0 \text{ W/m}^2$ .

- a) 1 dB.
- b) 10 dB.
- c) 12 dB.
- d) 120 dB.

**Comentário:**

Sabendo que o valor em decibéis é dado por:

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

$$N = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{10^{-12}}\right)$$

$$N = 10 \cdot \log(10^{12})$$

$$N = 10 \cdot 12 \cdot \log(10)$$

$$N = 10 \cdot 12 \cdot 1$$

$$N = 120 \text{ dB}$$

**Gabarito: D**

**Questão 51.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma onda de rádio viaja a uma velocidade de  $2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$  com uma frequência de  $2 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ . Qual é o comprimento de onda dessa onda?

- a) **1000 km**
- b) **1000 mm**
- c) **1000 m**
- d) **1000 cm**

**Comentário:**

Devemos aplicar a equação fundamental da ondulatória:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$2 \cdot 10^6 = \lambda \cdot 2 \cdot 10^3$$



$$\lambda = 1000 \text{ m}$$

**Gabarito: C**

---

**Questão 52.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um tubo com as duas extremidades abertas tem comprimento  $L = 2 \text{ m}$ . Qual é o comprimento de onda para o quinto harmônico?

- a) 0,8 m
- b) 0,16 m
- c) 1,6 m
- d) 8 m

**Comentário:**

O comprimento de onda em um tubo aberto é dado por:

$$\lambda = \frac{2L}{N}$$

Para o quinto harmônico, temos:

$$\lambda = \frac{2L}{5}$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 2}{5}$$

$$\lambda = 0,8 \text{ m}$$

**Gabarito: A**

---

**Questão 53.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um tubo com as duas extremidades fechadas tem comprimento  $L = 2 \text{ m}$ . Qual é o comprimento de onda para o terceiro harmônico?

- a) 0,8 m
- b) 0,16 m
- c) 1,6 m
- d) 8 m

**Comentário:**

O comprimento de onda em um tubo aberto é dado por:

$$\lambda = \frac{4L}{N}$$

Para o terceiro harmônico, temos:

$$\lambda = \frac{4L}{5}$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot 2}{5}$$



$$\lambda = 1,6 \text{ m}$$

**Gabarito: C**

**Questão 54.**

(Prof. Vinícius Fulconi) A intensidade de uma fonte sonora a 2 metros de distância dela é  $1 \text{ W/m}^2$ . Qual é a intensidade dessa mesma fonte a 4 metros de distância?

- a)  $4 \text{ W/m}^2$
- b)  $2 \text{ W/m}^2$
- c)  $0,5 \text{ W/m}^2$
- d)  $0,25 \text{ W/m}^2$

**Comentário:**

As ondas sonoras se propagam através de ondas esféricas. A intensidade se relaciona com a potência da seguinte maneira:

$$I = \frac{P}{A}$$

Em que a área A é a área da superfície esférica.

$$I = \frac{P}{4\pi R^2}$$

Como a potência é constante, temos:

$$I_1 \cdot 4\pi R_1^2 = I_2 \cdot 4\pi R_2^2$$

$$I_1 \cdot R_1^2 = I_2 \cdot R_2^2$$

$$1 \cdot 2^2 = I_2 \cdot 4^2$$

$$I_2 = 0,25 \text{ W/m}^2$$

**Gabarito: D**

**Questão 55.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Considere um gás inicialmente a  $300 \text{ K}$ . A velocidade do som nesse gás a  $300 \text{ K}$  é de  $350 \text{ m/s}$ . Se o gás for aquecido até atingir a temperatura de  $1200 \text{ K}$ , qual será a velocidade do som nessa temperatura?

- a)  $1400 \text{ m/s}$
- b)  $700 \text{ m/s}$
- c)  $350 \text{ m/s}$
- d)  $800 \text{ m/s}$

**Comentário:**

A velocidade do som nos gases é dada por:



$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Como temos o mesmo gás em situações distintas, podemos fazer:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

$$\frac{350}{v_2} = \sqrt{\frac{300}{1200}}$$

$$\boxed{v_2 = 700 \text{ m/s}}$$

**Gabarito: B**

---

### Questão 56.

(Prof. Vinícius Fulconi) Um observador em repouso observa uma fonte sonora se aproximando com frequência  $x$ . O mesmo observador observa a fonte se afastando com frequência  $y$ . Considerando que a velocidade da fonte se manteve constante durante todo o problema, assinale a alternativa correta.

- a)  $x = y \neq 0$
- b)  $x > y$
- c)  $x < y$
- d)  $x = y = 0$

**Comentário:**

O movimento relativo entre a fonte e observador produz o efeito Doppler. Esse efeito produz um aumento na frequência quando a fonte se aproxima e uma diminuição na frequência quando a fonte se afasta. Desta maneira,  $x > y$ .

**Gabarito: B**

---

### Questão 57.

(Prof. Vinícius Fulconi) O fenômeno do reforço:

- a) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o do som refletido é superior a 0,1 s.
- b) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o refletivo é praticamente nulo.
- c) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e refletido é pouco inferior a 0,1 s. Neste caso a sensação de audição é prolongada.
- d) ocorre quando há movimentação relativa entre a fonte sonora e o observador.

**Comentário:**



O fenômeno do reforço ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o refletivo é praticamente nulo.

**Gabarito: B**

---

**Questão 58.**

(Prof. Vinícius Fulconi) O fenômeno da reverberação:

- a) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o do som refletido é superior a 0,1 s.
- b) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o refletivo é praticamente nulo.
- c) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e refletido é pouco inferior a 0,1 s. Neste caso a sensação de audição é prolongada.
- d) ocorre quando há movimentação relativa entre a fonte sonora e o observador.

**Comentário:**

O fenômeno da reverberação ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e refletido é pouco inferior a 0,1 s. Neste caso a sensação de audição é prolongada.

**Gabarito: C**

---

**Questão 59.**

(Prof. Vinícius Fulconi) O fenômeno do eco:

- a) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o do som refletido é superior a 0,1 s.
- b) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o refletivo é praticamente nulo.
- c) ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e refletido é pouco inferior a 0,1 s. Neste caso a sensação de audição é prolongada.
- d) ocorre quando há movimentação relativa entre a fonte sonora e o observador.

**Comentário:**

O fenômeno do eco ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o do som refletido é superior a 0,1 s.

**Gabarito: A**

---

**Questão 60.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Em relação as propriedades das ondas sonoras, assinale a alternativa correta. O som agudo tem:

- a) alta frequência.
- b) baixa frequência.
- c) alta intensidade.



d) baixa intensidade.

**Comentário:**

Sons agudos ou graves são classificados de acordo com a frequência. Um som é agudo com tem frequência alta e um som é grave quando tem frequência baixa. A intensidade não pode ser avaliada.

**Gabarito: A**

**Questão 61.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Qual é a qualidade fisiológica do som que permite distinguir dois instrumentos musicais com a mesma frequência?

- a) Potência.
- b) Altura.
- c) Timbre.
- d) Intensidade.

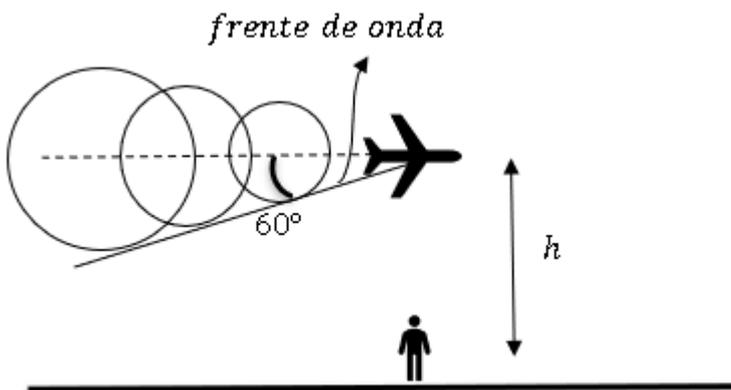
**Comentário:**

O timbre é a característica sonora que permite distinguir dois sons de mesma frequência. O timbre avalia a forma da onda.

**Gabarito: C**

**Questão 62.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um avião está viajando na mesma horizontal a uma velocidade maior que a do som. Um observador que está no solo está observando o movimento do avião. Quando o avião passa exatamente sobre sua cabeça, o observador percebe que o som do avião chega após 3 segundos aos seus ouvidos. Sabendo que a abertura da onda sonora é de  $30^\circ$ , qual é a altura do avião? A velocidade do som no meio é de 340 m/s.

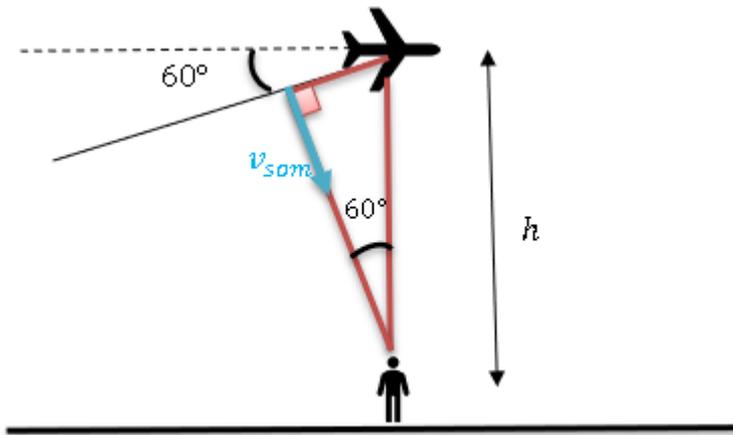


- a) 610 m
- b) 1020 m
- c) 2040 m
- d) 340 m



**Comentário:**

Observe o triângulo formado. Lembre-se que a velocidade do som é sempre perpendicular à frente de onda.



Desta maneira, temos:

$$\cos 60^\circ = \frac{v_{som} \cdot \Delta t}{h}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{340 \cdot 3}{h}$$

**$h = 2040 \text{ m}$**

**Gabarito: C**

**Questão 63.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Para um tubo três ressonâncias sucessivas são observadas para 425 Hz, 595 Hz e 765 Hz. Se a velocidade do som é de 340 m/s, assinale a alternativa correta.

- a) O tubo é fechado e tem comprimento 1 m.
- b) O tubo é aberto e tem comprimento 1 m.
- c) O tubo é aberto e tem comprimento 2 m.
- d) O tubo é fechado e tem comprimento 2 m.

**Comentário:**

Fazendo o MMC entre as frequências, temos:

$$\mathbf{MDC \{425, 595, 765\} = 85}$$

Esse valor é a frequência fundamental do tubo.

Desta maneira, temos:



$$f_1 = 5 \cdot 85 = 425$$

$$f_2 = 7 \cdot 85 = 595$$

$$f_3 = 9 \cdot 85 = 765$$

Note que os números que multiplicam o fator 85 são ímpares {5,7,9}. Desta maneira, temos um tubo fechado.

O comprimento do tubo pode encontrado pela frequência fundamental:

$$85 = \frac{v}{4L}$$

$$85 = \frac{340}{4L}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

**Gabarito: A**

**Questão 64.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma onda está se propagando em uma corda de densidade  $\rho$  e área de secção A. Se a corda está tracionada com uma força F, qual é a velocidade da onda nessa corda?

a)  $v = \sqrt{\frac{F}{2\rho \cdot A}}$

b)  $v = 2\sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}}$

c)  $v = \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}}$

d)  $v = \sqrt{\frac{2F}{\rho \cdot A}}$

**Comentário:**

A velocidade de propagação de uma onda em uma corda é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Em que  $\mu$  é densidade linear de massa da corda:

$$\mu = \frac{m}{L}$$

A densidade da corda é dada por:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{M}{L \cdot A} = \frac{\mu}{A}$$

Portanto, temos:

$$\mu = \rho \cdot A$$



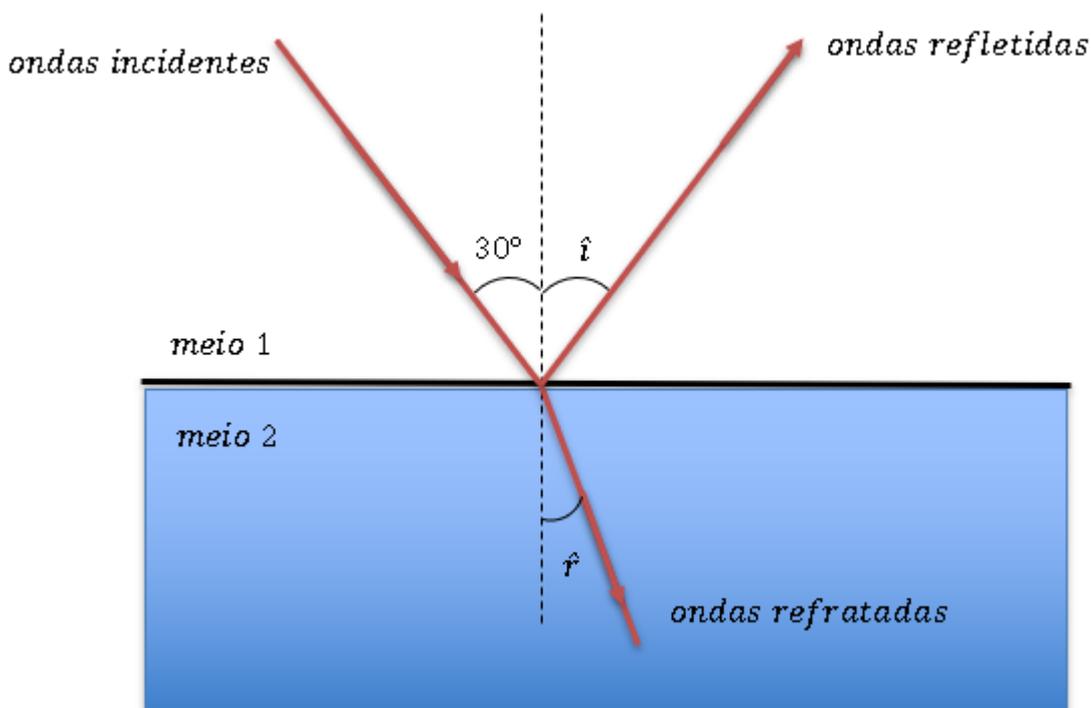
Substituindo na expressão da velocidade, temos:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}}$$

**Gabarito: C**

Texto para as próximas 4 questões {65, 66, 67, e 68}

Ondas mecânicas que se propagam com velocidade  $v_1$  no meio 1 incidem obliquamente na interface meio 1 – meio 2. Uma parte da onda é refletida e outra parte é refratada. As ondas refratadas se propagam no meio 2 com velocidade  $v_2 = \sqrt{2}v_1$ . Veja a figura abaixo:



**Questão 65.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Qual é o valor para o ângulo de refração?

- a)  $60^\circ$
- b)  $30^\circ$
- c)  $45^\circ$
- d)  $90^\circ$

Comentário:

Podemos utilizar para a refração a lei de Snell:

$$\frac{\text{sen}(i)}{v_1} = \frac{\text{sen}(r)}{v_2}$$



$$\frac{\text{sen}30^\circ}{v_1} = \frac{\text{sen}(r)}{v_2}$$
$$\text{sen}(r) = \frac{v_2}{v_1} \cdot \text{sen}30^\circ = \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$
$$\boxed{r = 45^\circ}$$

**Gabarito: C**

---

**Questão 66.**

(Prof. Vinícius Fulconi) As ondas incidentes e as ondas refletidas não apresentam

- a) a mesma frequência.
- b) a mesma velocidade de propagação.
- c) a mesma intensidade.
- d) o mesmo comprimento de onda.

**Comentário:**

As ondas incidentes e refletidas se propagam no mesmo meio. Desta maneira, a frequência e a velocidade de propagação não são alteradas. Por consequência, o comprimento de onda também não é alterado. A intensidade é a única propriedade que sofre alteração.

**Gabarito: C**

---

**Questão 67.**

(Prof. Vinícius Fulconi) No fenômeno da refração, a única grandeza que não é alterada é:

- a) o período.
- b) a velocidade de propagação.
- c) o comprimento de onda.
- c) a intensidade da onda.

**Comentário:**

A frequência é a única grandeza que não é alterada na refração. Como o período é o inverso da frequência, ele também não é alterado.

**Gabarito: A**

---

**Questão 68.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Qual das grandezas abaixo é alterada na refração e na reflexão?

- a) Amplitude da onda.
- b) Comprimento de onda.
- c) Frequência.
- d) Velocidade de propagação.

**Comentário:**



A única grandeza que é alterada nos dois fenômenos é a amplitude da onda.

**Gabarito: A**

---

**Questão 69.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma onda estacionária é a superposição de duas ondas harmônicas que se movem com a mesma frequência e amplitude, mas em sentidos contrários.

Em relação as ondas estacionárias, assinale a alternativa correta.

- a) A onda estacionária se propaga com velocidade diferente de zero.
- b) A diferença de fase entre duas partículas pode ser  $90^\circ$ .
- c) Não há energia propagante. A energia permanece confinada entre os nós.
- d) As partículas do meio oscilam com a mesma frequência e amplitude.

**Comentário:**

- a) Falsa. A onda estacionária não se propaga.
- b) Falsa. Em uma onda estacionária, a diferença de fase só pode ser 0 ou  $180^\circ$ .
- c) Verdadeira. A energia não se propaga. Temos uma energia confinada.
- d) Falsa. As amplitudes são distintas.

**Gabarito: C**

---

**Questão 70.**

(Prof. Vinícius Fulconi) No estudo de ondulatória, um dos fenômenos mais abordados é a reflexão de um pulso numa corda. Quando um pulso transversal se propagando em uma corda devidamente tensionada encontra uma extremidade livre, o pulso retorna à mesma corda, em sentido contrário com

- a) a mesma fase.
- b) a fase invertida.
- c) alteração no valor do comprimento de onda.
- d) alteração no valor da velocidade de propagação.

**Comentário:**

Com a extremidade livre, o pulso volta com a mesma fase que o pulso inicial. A velocidade e o comprimento de onda não são alterados.

**Gabarito: A**

---

**Questão 71.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Quanto maior for a amplitude de uma onda

- a) maior será sua frequência.
- b) maior será seu comprimento de onda.
- c) maior será sua velocidade de propagação.



d) maior será a intensidade da onda.

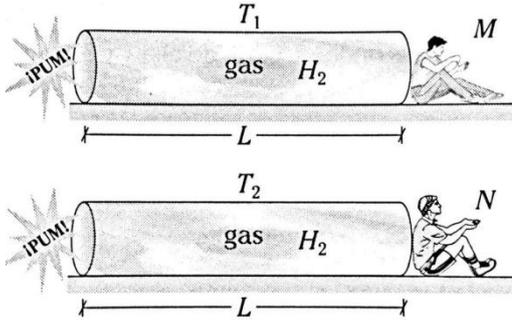
**Comentário:**

A intensidade de uma onda é diretamente proporcional à amplitude da onda.

**Gabarito: D**

**Questão 72.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Se as explosões são simultâneas, qual das pessoas escutará primeiro a explosão? Considere que  $T_1 > T_2$  e que as intensidades das explosões são iguais. (T: temperatura)



- a) Iguais
- b) N
- c) M
- d) Falta conhecer as temperaturas
- e) Falta conhecer L

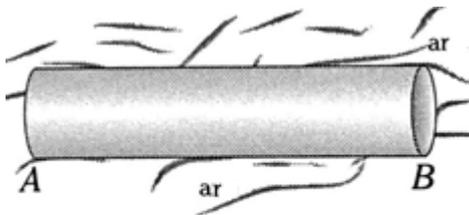
**Comentário:**

A velocidade do som em um gás é diretamente proporcional a raiz quadrada da temperatura. Desta maneira a velocidade do som no primeiro é maior que a velocidade do som no segundo tubo. Como os tubos tem o mesmo comprimento, o som chegará primeiro em M.

**Gabarito: C**

**Questão 73.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma onda sonora está se propagando em uma barra maciça de aço. Indique a veracidade ou falsidade das seguintes preposições



- I. Ao chegar ao extremo da barra, a onda continua sendo transmitida para o ar.
- II. Se a densidade do ar for muito menor que o aço, a onda não é transmitida do aço para o ar.
- III. A onda é refletida totalmente quando chega na interface aço-ar.



- a) VVF
- b) VFF
- c) FVV
- d) FVV
- e) FVF

**Comentário:**

I. Verdadeira. O ar é um meio material e, portanto, a onda continua a se propagar pelo ar.

II. Verdadeira. Se a densidade for muito menor, o ar comporta-se como o vácuo. Dessa maneira, não há transporte de ondas mecânicas no vácuo.

III. Falsa. Uma parte da onda é refletida e a outra parte é transmitida.

**Gabarito: A****Questão 74.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um jovem que está pescando percebe que passam, por um determinado ponto, 81 cristas em 1 minuto. Ele nota também que uma crista demora 8 s para percorrer uma distância de 10 m. Quantos comprimentos de ondas estão contidos em um quilômetro?

- a) 1166
- b) 966
- c) **1080**
- d) 1066,7
- e) 1016

**Comentário:**

Em um minuto, 81 comprimentos de onda passam pelo jovem. Desta maneira temos:

$$f = \frac{81}{60}$$
$$v = \lambda \cdot f$$
$$v = \lambda \cdot \frac{81}{60}$$

Uma crista demora 8 s para percorrer 10 m, desta maneira a velocidade da onda é:

$$v = \frac{10}{8} = \frac{5 \text{ m}}{4 \text{ s}}$$

Substituindo na equação de cima:

$$\frac{5}{4} = \frac{81\lambda}{60}$$



$$\lambda = \frac{25}{27}m$$

O número de comprimento de onda em um quilômetro é:

$$n = \frac{1000}{\frac{25}{27}} = 1080 \text{ comprimentos}$$

**Gabarito: C**

**Questão 75.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma corda de 5 m está tensa e fixa em seus extremos. A força de tração é 5 N. Se ao produzir um pulso em um de seus extremos, este demora 0,10 s para chegar ao outro extremo, qual é massa da corda?

- a) 0,01 kg
- b) 0,02 kg
- c) 0,03 kg
- d) 0,04 kg
- e) 0,05 kg

**Comentário:**

A velocidade de propagação de ondas em corda tracionadas é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{T \cdot L}{m}}$$

Para percorrer toda a corda, temos:

$$L = v \cdot \Delta t$$

Unindo as duas equações, temos:

$$L = \sqrt{\frac{T \cdot L}{m}} \cdot \Delta t$$

Substituindo os valores

$$5 = \sqrt{\frac{5 \cdot 5}{m}} \cdot 0,1$$

$$\boxed{m = 0,01 \text{ kg}}$$

**Comentário: A**

**Questão 76.**

Para produzir certa nota musical, uma corda de guitarra deve oscilar com uma frequência de 200 Hz. Observa-se que quando a tensão na corda é 648 N esta oscila com uma frequência de 180 Hz. Qual deve ser a tensão em Newton, para que a corda emita o som correto?



- a) 750
- b) 800
- c) 850
- d) 900
- e) 950

**Comentário:**

A velocidade de propagação de ondas em corda tracionadas é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Utilizando a equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$\sqrt{\frac{T}{\mu}} = \lambda \cdot f$$

As ondas oscilando em uma corda, temos harmônicos:

$$\lambda = \frac{2L}{N}$$

Substituindo, temos:

$$\sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{2L}{N} \cdot f$$

Para  $T = 648$ , temos a frequência 180 Hz.

$$\sqrt{\frac{648}{\mu}} = \frac{2L}{N} \cdot 180$$

Para a frequência de 200 Hz, temos:

$$\sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{2L}{N} \cdot 200$$

Dividindo as equações, temos:

$$\sqrt{\frac{648}{T}} = \frac{180}{200}$$

$$\boxed{T = 800 \text{ N}}$$

**Gabarito: B**

**Questão 77.**



(Prof. Vinícius Fulconi) Em uma corda muito larga se estabelece uma onda mecânica senoidal. O intervalo de tempo para que um ponto da corda, no topo de uma crista, vá para um nó é  $\Delta t$  s. Se o comprimento de onda é  $L$ , determine a velocidade de propagação da onda

a)  $v = \frac{L}{4\Delta t}$

b)  $v = \frac{4L}{\Delta t}$

c)  $v = \frac{2L}{\Delta t}$

d)  $v = \frac{L}{\Delta t}$

e)  $v = \frac{L}{2 \cdot \Delta t}$

**Comentário:**

O intervalo de tempo para um ponto ir da crista para o nó é metade do período de oscilação.

$$T = 4 \cdot \Delta t$$

Desta maneira, a frequência da onda é:

$$f = \frac{1}{4 \cdot \Delta t}$$

Se o comprimento de onda é  $L$ , temos:

$$v = L \cdot f$$

$$v = L \cdot \frac{1}{4 \cdot \Delta t}$$

$$v = \frac{L}{4 \cdot \Delta t}$$

**Gabarito: A**

**Questão 78.**

Uma corda de uma guitarra tem 50 cm de comprimento, uma massa de  $5 \cdot 10^{-4}$  kg e está submetida a uma tensão de 8,1 N. Determine a frequência do primeiro harmônico.

a) 90 Hz

b) 180 Hz

c) 22,5 Hz

d) 150 Hz

**Comentário:**

Para o primeiro harmônico, temos:

$$L = \frac{\lambda}{2}$$

$$0,5 \text{ m} = \frac{\lambda}{2}$$



$$\lambda = 1 \text{ m}$$

A velocidade de propagação da onda é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{T \cdot L}{m}} = \sqrt{\frac{8,1 \cdot \frac{1}{2}}{5 \cdot 10^{-4}}} = 90 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Portanto, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$90 = 1 \cdot f$$

$$\boxed{f = 90 \text{ Hz}}$$

**Gabarito: A**

---

### Questão 79.

Muitas pessoas costumam assistir filmes de ficção científica em que ocorrem grandes explosões no espaço sideral. Em muitos filmes, essas explosões causam grandes efeitos sonoros. O som das explosões nesses filmes

- a) contraria as leis de física, pois o som não se propaga no vácuo pois é uma onda eletromagnética.
- b) contraria as leis de física, pois o som não se propaga no vácuo pois é uma onda mecânica.
- c) não contraria as leis de física, pois o som não se propaga no vácuo pois é uma onda eletromagnética.
- d) não contraria as leis de física, pois o som não se propaga no vácuo pois é uma onda mecânica.

### Comentários:

O som é uma onda mecânica e, portanto, não propaga no vácuo. Dessa maneira, não conseguiríamos ouvir o som da explosão.

**Gabarito: B**

---

### Questão 80.

Um carro buzinando se aproxima de um pedestre que está em repouso em uma calçada. A frequência da buzina percebida pelo pedestre será \_\_\_\_\_ que a frequência natural da buzina devido ao \_\_\_\_\_.

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas acima.

- a) maior; efeito Doppler.
- b) menor; efeito Doppler.
- c) maior; efeito Hall.
- d) menor; efeito Hall.

### Comentários:



A alteração da frequência do som devido ao movimento relativo dos corpos é causada pelo efeito Doppler. Quando há a aproximação relativa dos corpos, a frequência percebida pelo observador aumenta.

**Gabarito: A**

**Questão 81.**

Uma onda possui comprimento de onda de 2 metros e velocidade de 200 m/s. Essa onda passa para outro meio. No novo meio, sua velocidade é de 400 m/s. Qual é o seu comprimento de onda no novo meio?

- a) 4 m
- b) 2 m
- c) 1 m
- d) 8 m

**Comentários:**

Ao passar para o outro meio, a frequência na onda nunca é alterada.

Dessa maneira, temos:

$$\frac{v_1}{\lambda_1} = f = \frac{v_2}{\lambda_2}$$

$$\frac{200}{2} = f = \frac{400}{\lambda_2}$$

$$\lambda_2 = 4 \text{ m}$$

**Gabarito: A**

**Questão 82.**

Uma ambulância está se aproximando de um pedestre que está parado no ponto de ônibus da vila militar. Sabendo que a frequência do som emitido pela ambulância tem um comprimento de onda  $\lambda$ , qual será a frequência do som percebida pelo pedestre? A razão entre a velocidade da ambulância e velocidade do som no ar é  $K$  e a velocidade do som no ar é  $V_s$ .

- A)  $\frac{V_s}{\lambda K}$
- B)  $\frac{V_s}{\lambda}$
- C)  $\frac{V_s}{\lambda(1-K)}$
- D)  $\frac{V_s}{\lambda(1+K)}$

**Comentários:**

Usaremos a expressão do efeito doppler. Assim, temos:

$$\frac{f_{obs}}{V_s \pm v_{obs}} = \frac{f_{fonte}}{V_s \pm v_{fonte}}$$



$$\frac{f_{obs}}{V_s} = \frac{\frac{V_s}{\lambda}}{V_s - v}$$

$$f_{obs} = \frac{V_s^2}{\lambda(V_s - K \cdot V_s)}$$

$$f_{obs} = \frac{V_s}{\lambda(1 - K)}$$

**Gabarito: C**

---

**Questão 83.**

Em linguagem técnica, um som que se propaga no ar pode ser caracterizado, entre outros aspectos, por sua altura e por sua intensidade. Os parâmetros físicos da onda sonora que correspondem às características mencionadas são, respectivamente:

- a) Comprimento de onda e velocidade
- b) Volume e velocidade
- c) Velocidade e amplitude
- d) Frequência e amplitude
- e) Comprimento de onda e frequência

**Comentários:**

Intensidade varia proporcionalmente com o quadrado da amplitude da onda e frequência é diretamente proporcional à altura de um som.

**Gabarito: D**

---

**Questão 84.**

Uma pessoa parada na beira de uma estrada vê um automóvel aproximar-se com velocidade 0,1 da velocidade do som no ar. O automóvel está buzinando, e a sua buzina, por especificação do fabricante, emite um som puro de 990 Hz. O som ouvido pelo observador terá uma frequência de:

- a) 900 Hz
- b) 1.100 Hz
- c) 1000 Hz
- d) 99 Hz
- e) 990 Hz

**Comentários:**

Utilizando o efeito Doppler, temos: ^

$$\frac{f_f}{v_s \pm v_f} = \frac{f_0}{v_s \pm v_0}$$



$$\frac{f_f}{v_s - v_f} = \frac{f_0}{v_s}$$
$$\frac{990}{v_s - 0,1 \cdot v_s} = \frac{f_0}{v_s}$$
$$\boxed{f_0 = 1100 \text{ Hz}}$$

**Gabarito: B**

---

**Questão 85.**

Analise as seguintes afirmativas:

Ondas eletromagnéticas são aquelas que se propagam no vácuo e, portanto, não precisam de um meio material para se propagarem.

A altura é a característica do som que nos permite diferença sons graves dos agudos.

A intensidade sonora é a característica do som que relacionada com a frequência.

IV) Timbre é a qualidade sonora capaz de diferenciar dois sons de mesma frequência.

Assinale a alternativa correta:

- a) Todas as alternativas são verdadeiras.
- b) I, II e IV são verdadeiras.
- c) I e III são verdadeiras.
- d) I e II são verdadeiras.

**Comentários:**

I) Verdade.

II) Verdade.

III) Falsa. A intensidade não tem relação direta com a frequência.

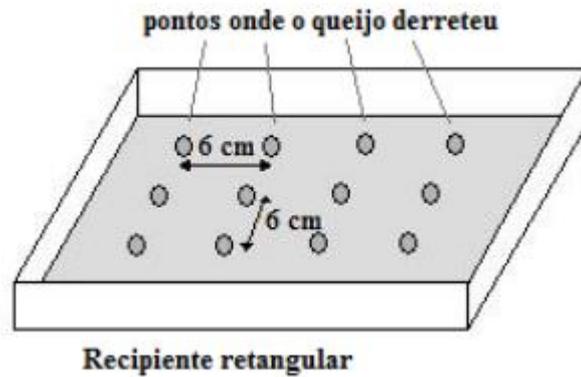
IV) Verdade.

**Gabarito: B**

---

**Questão 86.**

(EEAR-2020.1) Um jovem preenche totalmente um recipiente retangular de vidro com fatias de pão de forma e sobre essas coloca uma camada homogênea de queijo ralado com a intenção de derretê-lo, em um forno de microondas. Como o recipiente caberia justo no interior do forno de microondas, ele retirou o prato giratório (pois não teria como girar) e colocou o recipiente diretamente no fundo do forno e o ligou. Após o tempo normal para o derretimento do queijo, o forno é desligado e aberto. O jovem percebeu que a cobertura de queijo apresentava um padrão retangular de pontos em que o queijo derreteu e entre esses pontos o queijo não derreteu. Entre os pontos que o queijo derreteu, ele percebeu que a distância era sempre de 6,0 cm, conforme a figura:



Supondo isso ser efeito do fenômeno da formação de ondas estacionárias entre as paredes do forno e que a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar seja  $3 \cdot 10^8$  m/s, o jovem calculou a frequência utilizada no gerador de microondas desse forno. Assinale a alternativa que apresenta corretamente esse valor.

- a) 25 MHz
- b) 50 MHz
- c) 2,5 GHz
- d) 5,0 GHz

**Comentários:**

Os pontos em que o queijo está derretendo são pontos de crista das ondas estacionárias. A distância de 6 cm é equivalente a meio comprimento de onda.

$$\frac{\lambda}{2} = 6 \text{ cm}$$

$$\lambda = 12 \text{ cm}$$

Aplicando a equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$3 \cdot 10^8 = 0,12 \cdot f$$

$$f = 2,5 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$f = 2,5 \text{ GHz}$$

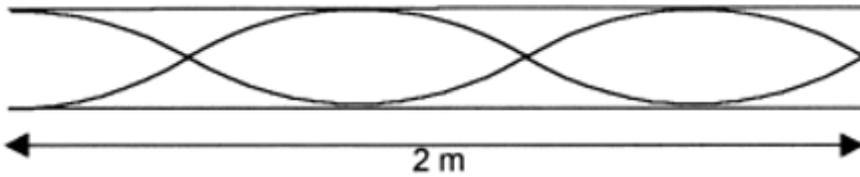
**Gabarito: C**

**Nível 2**

**Questão 1.**



(ESPCEX 2000) A figura representa uma onda estacionária que se forma em um tubo sono fechado. Considerando a velocidade do som no ar de 340 m/s, a frequência, em Hz, do som emitido pelo tubo é de



- a) 200,0
- b) 200,5
- c) 212,5
- d) 220,5
- e) 225,0

**Comentário:**

O comprimento de 2 metros do tubo comporta  $\frac{5\lambda}{4}$ .

$$\frac{5\lambda}{4} = 2$$

$$\lambda = 1,6 \text{ m}$$

Utilizando a equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$340 = 1,6 \cdot f$$

$$f = 212,5 \text{ Hz}$$

**Gabarito: C**

**Questão 2.**

(ESPCEX 2005) Um barítono emite um som uníssono na frequência de 180 Hz. Sabendo que a velocidade do som no ar é constante e igual a 324 m/s, pode-se afirmar que o comprimento de onda do som emitido pelo barítono é de:

- a) 2,4 m
- b) 1,8 m
- c) 0,9 m
- d) 0,6 m
- e) 0,5 m

**Comentário:**

Utilizando a equação fundamental da ondulatória, temos:



$$v = \lambda \cdot f$$

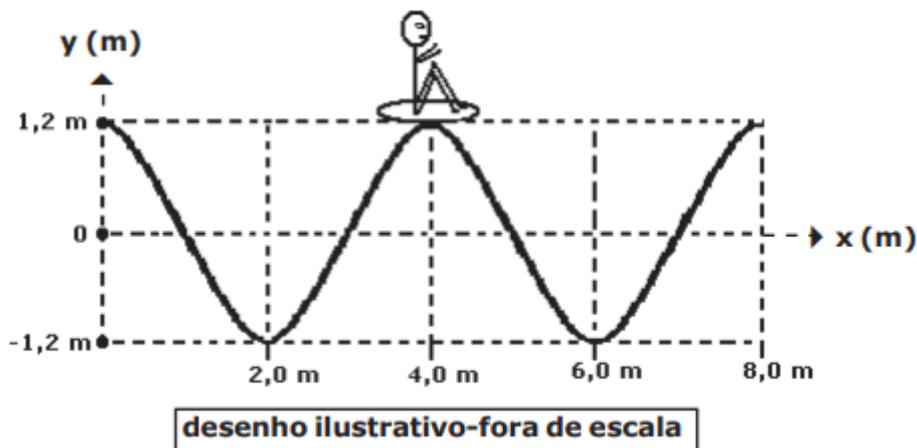
$$324 = \lambda \cdot 180$$

$$\lambda = 1,8 \text{ m}$$

**Gabarito: B**

**Questão 3.**

(ESPCEX 2014) Uma das atrações mais frequentadas de um parque aquático é a “piscina de ondas”. O desenho abaixo representa o perfil de uma onda que se propaga na superfície da água da piscina em um dado instante. Um rapaz observa, de fora da piscina, o movimento de seu amigo, que se encontra em uma boia sobre a água e nota que, durante a passagem da onda, a boia oscila para cima e para baixo e que, a cada 8 segundos, o amigo está sempre na posição mais elevada da onda. O motor que impulsiona as águas da piscina gera ondas periódicas. Com base nessas informações, e desconsiderando as forças dissipativas na piscina de ondas, é possível concluir que a onda se propaga com uma velocidade de



- a) 0,15 m/s
- b) 0,30 m/s
- c) 0,40 m/s
- d) 0,50 m/s
- e) 0,60 m/s

**Comentário:**

O período do movimento é dado por  $T = 8 \text{ segundos}$ .

Utilizando a equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

Mas:

$$f = \frac{1}{T}$$

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



Da figura, o comprimento de onda é dado por  $\lambda = 4 \text{ m}$

$$v = \frac{4}{8} = 0,5 \text{ m/s}$$

**Gabarito: D**

**Questão 4.**

(ESPCEX 2018) Com relação às ondas, são feitas as seguintes afirmações:

- I. As ondas mecânicas propagam-se somente em meios materiais.
- II. As ondas eletromagnéticas propagam-se somente no vácuo.
- III. As micro-ondas são ondas que se propagam somente em meios materiais.

Das afirmações acima está(ão) correta(s) apenas a(s):

- a) I.
- b) II.
- c) I e III.
- d) I e II.
- e) II e III.

**Comentário:**

Verdadeiro. As ondas mecânicas necessitam de um meio material para se propagarem.

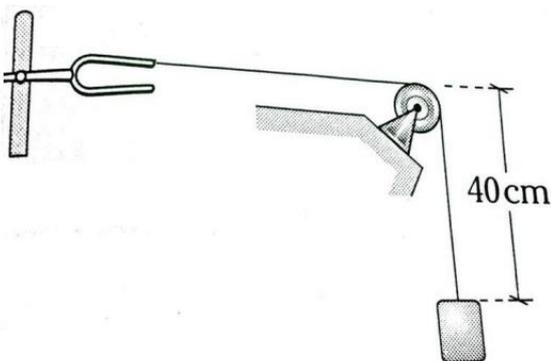
Falso. As ondas eletromagnéticas também se propagam em meios materiais.

Falso. As micro-ondas são ondas eletromagnéticas, portanto se propagam no vácuo também.

**Gabarito: A**

**Questão 5.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma corda de densidade linear de massa  $2,5 \text{ g/cm}$  está unida a um bloco de  $900 \text{ g}$ , tal como se mostra a figura abaixo. Se um diapasão começa a vibrar com uma frequência de  $10 \text{ Hz}$ , determine o comprimento da onda.



- a)  $2\sqrt{5} \text{ m}$
- b)  $0,2\sqrt{10} \text{ m}$
- c)  $0,4\sqrt{10} \text{ m}$



d)  $0,4\sqrt{10}$  m

e) 0,6 m

**Comentário:**

A tração da corda é igual ao peso do bloco mais o peso da corda vertical

$$T = (m + M)g$$

A parte vertical da corda pesa M, assim temos:

$$M = \mu \cdot l$$

$$M = 0,25 \frac{kg}{m} \cdot 0,4 m$$

$$M = 0,1 kg$$

Desta maneira, a tração é:

$$T = (0,9 + 0,1) \cdot 10 = 10 N$$

A velocidade de propagação da onda é:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \lambda \cdot f$$

$$\sqrt{\frac{10}{0,25}} = \lambda \cdot 10$$

$$\frac{\sqrt{10}}{0,5} = \lambda \cdot 10$$

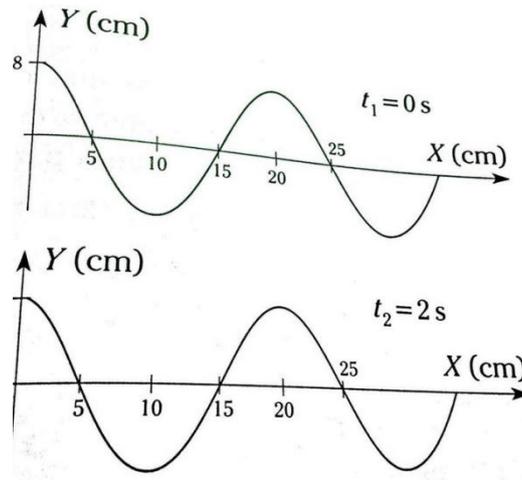
$$\boxed{\lambda = 0,2\sqrt{10} m}$$

**Gabarito: B**

**Questão 6.**

(Prof. Vinícius Fulconi)

Por uma corda tensa se propaga uma onda transversal harmônica. As figuras mostram o perfil da corda nos instantes  $t_1 = 0$  e  $t_2 = 2s$ . Qual é a mínima frequência da onda?



- a) 1 Hz
- b) 0,5 Hz
- c) 0,75 Hz
- d) 0,125 Hz
- e) 0,25 Hz

**Comentário:**

A figura mostra que em um intervalo de 2 segundo a onda voltou para a posição inicial. Desta maneira, esse tempo equivale ao período da onda.

$$T = 2s$$

Desta maneira, a frequência é:

$$f = \frac{1}{2}$$

$$f = 0,5 \text{ Hz}$$

**Gabarito: B**

**Questão 7.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma corda elástica homogênea de densidade linear  $\mu = 0,1 \text{ kg/m}$  está disposta horizontalmente e suporta uma tensão de módulo 40 N. Qual é a energia por unidade de tempo deve-se transmitir a corda para gerar ondas de  $f = 100 \text{ Hz}$  e  $A = 5 \text{ cm}$ ?  $\pi = 3$

A potência é dada por:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot \omega^2 \cdot A^2 \cdot v$$

- a) 220 W
- b) 200 W
- c) 225 W
- d) 180 W
- e) 900 W



**Comentário:**

Melhorando a expressão, temos:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot (2\pi f)^2 \cdot A^2 \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Substituindo os valores, temos:

$$P = \frac{1}{2} \cdot 0,1 \cdot (2 \cdot 3 \cdot 100)^2 \cdot (5 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 20$$

$$\boxed{P = 900 \text{ W}}$$

**Gabarito: E**

---

**Questão 8.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um tubo aberto A tem comprimento de 2 metros. Um tubo fechado B tem comprimento x. Se o comprimento de onda do terceiro harmônico do tubo aberto é igual ao comprimento de onda do quinto harmônico do tubo fechado, qual é o valor de x?

- a) 1 m
- b) 2 m
- c) 3 m
- d) 4 m
- e) 5 m

**Comentário:**

Para os tubos, temos:

$$\frac{2L}{N} = \frac{4L'}{N'}$$

O quinto harmônico do tubo fechado é  $N' = 9$ .

$$\frac{2 \cdot 2}{3} = \frac{4x}{9}$$

$$\boxed{x = 3 \text{ m}}$$

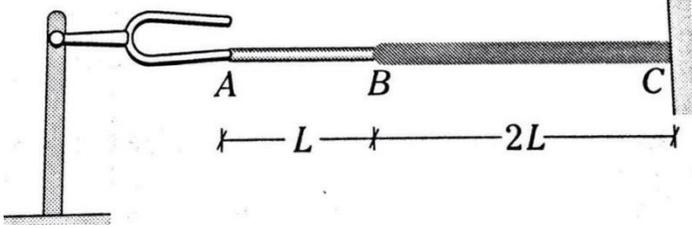
**Gabarito: C**

---

**Questão 9.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Segundo a figura abaixo, determine a relação entre os comprimentos de onda nas partes AB e BC da corda. Sabe-se que o diapasão oscila com uma frequência constante,

$$\text{se } \frac{M_{AB}}{M_{BC}} = \frac{1}{8}$$



- a) 0,5
- b) 1
- c) 2
- d) 4
- e) 6

**Comentário:**

A velocidade de propagação das ondas nas cordas é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{T \cdot L}{M}}$$

Para a corda AB:

$$v = \sqrt{\frac{T \cdot L}{M_{AB}}} = \lambda_{AB} \cdot f$$

Para a corda BC:

$$v = \sqrt{\frac{T \cdot 2L}{M_{BC}}} = \lambda_{BC} \cdot f$$

Dividindo as expressões, temos:

$$\sqrt{\frac{L \cdot M_{BC}}{2L \cdot M_{AB}}} = \frac{\lambda_{AB}}{\lambda_{BC}}$$

$$\boxed{\sqrt{\frac{8}{2}} = \frac{\lambda_{AB}}{\lambda_{BC}} = 4}$$

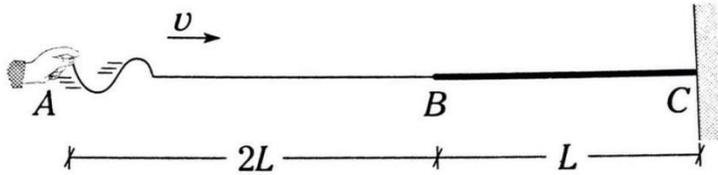
**Gabarito: D**

**Questão 10.**



(Prof. Vinícius Fulconi) As cordas AB e BC estão tensas e unidas como se mostra a figura abaixo ( $M_{BC} = 2 M_{AB}$ ). Se a onda na corda AB se propaga com uma velocidade  $v$ ; indique verdadeiro ou falso.

- I. A onda se propaga com maior velocidade na corda AB.
- II. A onda demora o mesmo tempo para propagar-se em ambas as cordas.
- III. O comprimento de onda na corda AB é dobro do comprimento de onda na corda BC.



- a) VVV
- b) VFV
- c) VFF
- d) FVF
- e) FFF

**Comentário:**

Para a corda AB, temos:

$$v = \sqrt{\frac{T \cdot 2L}{M_{AB}}} = \lambda_{AB} \cdot f$$

$$\lambda_{AB} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{T \cdot L}{M_{AB} \cdot f^2}}$$

O tempo para o pulso percorrer a corda AB é dado por:

$$\Delta t_{AB} = \frac{2L}{v} = \frac{2L}{\sqrt{\frac{T \cdot 2L}{M_{AB}}}}$$

$$\Delta t_{AB} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{M_{AB} \cdot L}{T}}$$

Para a corda BC, temos:

$$v = \sqrt{\frac{T \cdot L}{2M_{AB}}} = \lambda_{BC} \cdot f$$



$$\lambda_{BC} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{T \cdot L}{M_{AB} \cdot f^2}}$$

O tempo para o pulso percorrer a corda BC é dado por:

$$\Delta t_{BC} = \frac{L}{v} = \frac{2L}{\sqrt{\frac{T \cdot L}{2M_{AB}}}}$$

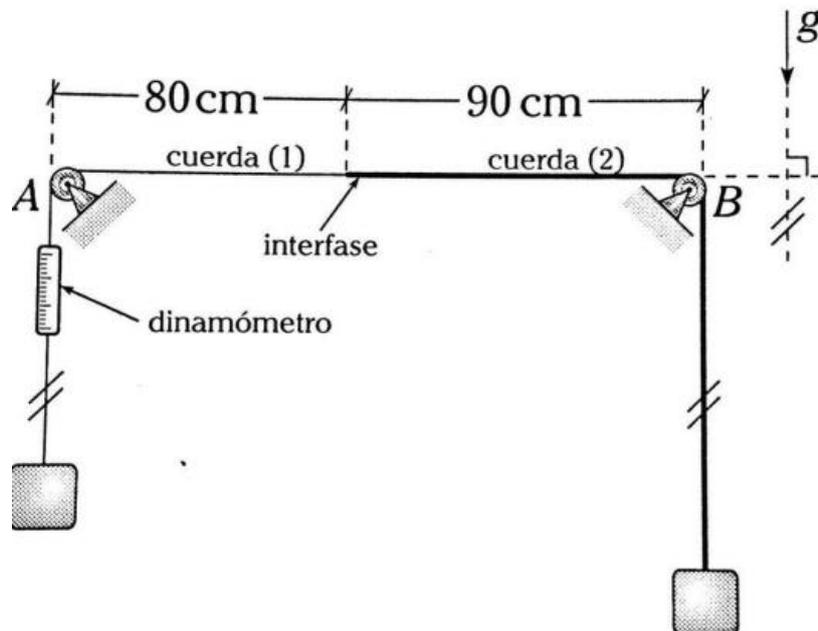
$$\Delta t_{BC} = 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{M_{AB} \cdot L}{T}}$$

**Gabarito: B**

**Questão 11.**

(Prof. Vinícius Fulconi) A figura abaixo mostra um sistema em equilíbrio, onde o dinamômetro indica 4 N. Um pulso é originado em A. Determine o tempo que demora para o pulso em chegar até a polia B.

Considere:  $\mu_2 = 0,01 \text{ kg/m}$ ;  $\mu_1 = 0,09 \text{ kg/m}$ .



- a)  $25 \cdot 10^{-2} \text{ s}$
- b)  $14,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$
- c)  $16,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$
- d)  $13,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$
- e)  $11,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$

**Comentário:**

Para a corda 1, o tempo para o pulso percorrer a corda é dado por:



$$\Delta t_1 = \frac{L_1}{v_1} = \frac{L_1}{\sqrt{\frac{T}{\mu_1}}}$$

$$\Delta t_1 = L_1 \sqrt{\frac{\mu_1}{T}}$$

Substituindo, temos:

$$\Delta t_1 = 0,8 \sqrt{\frac{0,09}{4}}$$

$$\Delta t_1 = 0,12 \text{ s}$$

Para a corda 2, temos a mesma expressão:

$$\Delta t_2 = L_2 \sqrt{\frac{\mu_2}{T}}$$

Substituindo, temos:

$$\Delta t_2 = 0,9 \sqrt{\frac{0,01}{4}}$$

$$\Delta t_2 = 0,045 \text{ s}$$

Portanto, o tempo total é:

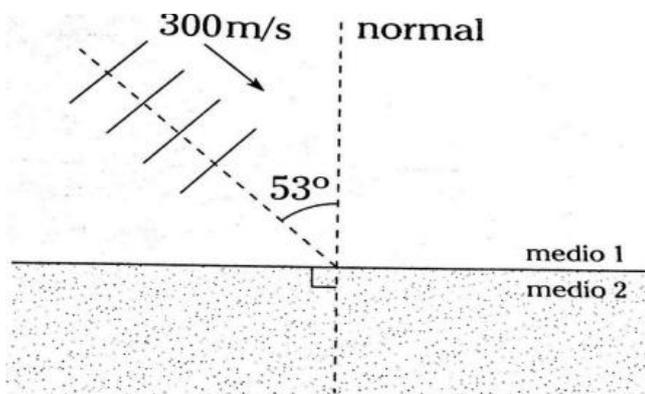
$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$$

$$\boxed{\Delta t = 0,165 \text{ s}}$$

**Gabarito: C**

**Questão 12.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma onda mecânica plana incide sobre uma superfície que separa dois meios diferentes tal como se mostra a figura abaixo. Se a onda refratada tem velocidade 25 % menor que a velocidade da onda incidente, qual é o ângulo de refração? Considere:  $\text{sen}53^\circ = 0,8$ .



a)  $37^\circ$

b)  $53^\circ$



- c) 30°
- d) 21°
- e) 18°

**Comentário:**

Para a refração das ondas, podemos utilizar a lei de Snell:

$$n_1 \cdot \text{sen}53^\circ = n_2 \cdot \text{sen}r$$

$$\frac{c}{v_1} \cdot \text{sen}53^\circ = \frac{c}{v_2} \cdot \text{sen}r$$

$$\frac{1}{v_1} \cdot 0,8 = \frac{1}{0,75 \cdot v_1} \cdot \text{sen}r$$

$$\text{sen}r = 0,6$$

$$\boxed{r = 37^\circ}$$

**Gabarito: A**

**Questão 13.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma corda de uma guitarra tem 50 cm de comprimento, uma massa de  $5 \cdot 10^{-4}$  kg e está submetida a uma tensão de 8,1 N. Determine as frequências do primeiro harmônico, segundo harmônico e terceiro harmônico.

- a) 90 Hz; 180 Hz; 270 Hz
- b) 60 Hz; 120 Hz; 180 Hz
- c) 90 Hz; 45 Hz; 22,5 Hz
- d) 60 Hz; 90 Hz; 150 Hz
- e) 60 Hz; 200 Hz; 250 Hz

**Comentário:**

O comprimento de onda é na corda é:

$$\lambda = \frac{2L}{N} \quad N = 1,2,3,4,5, \dots$$

A velocidade das ondas nas cordas é:

$$v = \sqrt{\frac{T \cdot L}{m}} = \lambda \cdot f$$

$$v = \sqrt{\frac{8,1 \cdot 0,5}{5 \cdot 10^{-4}}} = \lambda \cdot f$$

$$90 = \lambda \cdot f$$

$$\lambda = \frac{90}{f}$$



Substituindo na primeira expressão, temos:

$$\frac{90}{f} = \frac{2 \cdot 05}{N}$$

$$f = 90N$$

$$\boxed{f_1 = 90 \text{ Hz}}$$

$$\boxed{f_2 = 180 \text{ Hz}}$$

$$\boxed{f_3 = 270 \text{ Hz}}$$

**Gabarito: A**

---

**Questão 14.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma corda de 2 m de comprimento e densidade linear 50 g/m está tensa com 20 N e fixa por seus extremos. Com que frequência se deve perturbar a corda para originar o segundo harmônico?

- a) 10 Hz
- b) 20 Hz
- c) 5 Hz
- d) 15 Hz
- e) 25 Hz

**Comentário:**

A velocidade de propagação das ondas em cordas é:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{20}{0,05}} = 20 \text{ m/s}$$

O comprimento de onda é na corda é:

$$\lambda = \frac{2L}{N} \quad N = 1,2,3,4,5, \dots$$

Para o segundo harmônico, temos:

$$\lambda_2 = \frac{2 \cdot 2}{2} = 2 \text{ m}$$

Portanto, pela equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$20 = 2 \cdot f$$

$$\boxed{f = 10 \text{ Hz}}$$

**Gabarito: A**

---

**Questão 15.**



(Prof. Vinícius Fulconi) Um raio de luz está se movendo em um meio com velocidade  $v_1$ , comprimento de onda  $\lambda_1$  e frequência  $f_1$ . A luz refrata, passando para outro meio, em que tem velocidade  $v_2$ , comprimento de onda  $\lambda_2$  e frequência  $f_2$ . Em relação ao processo da refração, assinale a alternativa correta.

- a)  $f_1 = f_2$
- b)  $v_1 = v_2$
- c)  $\lambda_1 = \lambda_2$
- d)  $f_1 > f_2$
- e)  $v_1 < v_2$

**Comentário:**

Na refração, a única grandeza que não é alterada é a frequência da luz.

**Gabarito: A**

---

**Questão 16.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um observador percebe que 5 cristas passam por ele em 5 segundos. Se a distância entre duas cristas é 2m, qual é velocidade de propagação da onda e a sua frequência?

- a) 0,5 m/s ; 1 Hz
- b) 2 m/s ; 1 Hz
- c) 1 m/s ; 2 Hz
- d) 1 m/s ; 0,5 Hz
- e) 0,5 m/s ; 0,5 Hz

**Comentário:**

A frequência da onda é dada por:

$$f = \frac{n}{\Delta t}$$
$$f = \frac{5}{5} = 1 \text{ Hz}$$

Assim, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = 2 \cdot 1$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

**Gabarito: B**

---

**Questão 17.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um marinheiro fora da água percebe o som de comprimento de onda de 0,680 m proveniente de uma corneta. Sabendo que a velocidade do som na água é 1483 m/s,



determine o comprimento de onda percebido pelo marinhaio quando o mesmo estiver debaixo d'água.

- a) 2,456 m
- b) 2,566 m
- c) 2,350 m
- d) 2,423 m
- e) 2,333 m

**Comentário:**

Sabendo que:

$$V_{som_{ar}} = 340 \text{ m/s} \text{ e } v = \lambda \cdot f$$

Temos:

$$0,680 \cdot f = 340 \rightarrow f = 500 \text{ Hz}$$

Por fim:

$$V_{som_{água}} = 1483 = \lambda \cdot 500 \rightarrow \lambda = 2,966 \text{ m}$$

**Gabarito: B****Questão 18.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Para uma certa corda esticada, três consecutivas frequências de ressonância são observadas em 105, 175 e 245 Hz. Qual é a frequência fundamental?

- a) 30 Hz
- b) 45 Hz
- c) 35 Hz
- d) 85 Hz
- e) 95 Hz

**Comentário:**

Para saber a frequência fundamental, podemos fazer o MDC entre as frequências, pois será o máximo valor comum das frequências

$$MDC \{105, 175, 245\} = 35 \text{ Hz}$$

$$105 = 35 \cdot 3$$

$$175 = 35 \cdot 5$$

$$245 = 35 \cdot 7$$

$$\boxed{f = 35 \text{ Hz}}$$

**Gabarito: C****Questão 19.**



(Prof. Vinícius Fulconi) Um tubo aberto A tem comprimento de  $x$  metros. Um tubo fechado B tem comprimento 4. Se o comprimento de onda do segundo harmônico do tubo aberto é igual ao comprimento de onda do quarto harmônico do tubo fechado, qual é o valor de  $x$ ?

- a)  $\frac{1}{7} m$
- b)  $\frac{3}{7} m$
- c)  $\frac{5}{7} m$
- d)  $\frac{16}{7} m$

**Comentário:**

Para os tubos, temos:

$$\frac{2L}{N} = \frac{4L'}{N'}$$

O quinto harmônico do tubo fechado é  $N' = 9$ .

$$\frac{2 \cdot x}{2} = \frac{4 \cdot 4}{7}$$

$$x = \frac{16}{7} m$$

**Gabarito: D**

**Questão 20.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Em um filme de ficção científica, uma nave é atingida por um meteoro no espaço. No filme, o habitante de um planeta escuta o barulho da explosão entre a nave e o meteoro. O filme

- a) condiz com a realidade, pois as ondas sonoras se propagam em qualquer meio.
- b) não condiz com a realidade, pois as ondas sonoras são ondas eletromagnéticas que não se propagam no vácuo.
- c) condiz com a realidade, pois as ondas sonoras são mecânicas e se propagam em qualquer meio.
- c) não condiz com a realidade, pois a ondas sonoras não se propagam no vácuo.

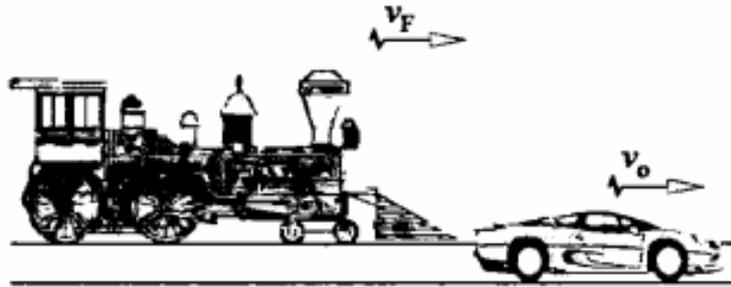
**Comentário:**

As ondas sonoras são ondas mecânicas e , portanto, precisam de um meio material para se propagar.

**Gabarito: D**

**Questão 21.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um trem e um automóvel viajam em vias paralelas e em uma mesma direção com velocidades  $v_f = 60 m/s$  e  $v_o = 40 m/s$  respectivamente. Se o apito do trem emite ondas cujo comprimento é  $\lambda_0 = 15 m$ . Qual o comprimento terá as ondas recebidas pelo condutor do automóvel? A velocidade do som no ar é  $340 m/s$ .



- a) 12 m
- b) 13 m
- c) 14 m
- d) 15 m

**Comentário:**

Sabendo que para o problema, temos que:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_0} \cdot \left( \frac{v_s - v_o}{v_s - v_f} \right)$$

Considerando que a velocidade do som é 340 m/s

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{15} \cdot \left( \frac{340 - 40}{340 - 60} \right) = \frac{1}{15} \cdot \frac{300}{280}$$

$$\boxed{\lambda = 14 \text{ m}}$$

**Gabarito: C**

**Questão 22.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Qual dos fenômenos abaixo só ocorre com ondas eletromagnéticas?

- a) Difração.
- b) Interferência.
- c) Polarização.
- d) Refração.
- e) Reflexão.

**Comentário:**

A polarização é uma propriedade de ondas eletromagnéticas. A polarização muda as direções de propagação de uma dada onda eletromagnética.

**Gabarito: C**

**Questão 23.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma ambulância está parada no semáforo de uma avenida. Um observador que está no ponto de ônibus (que está na mesma horizontal que a ambulância) percebe que o som emitido pela sirene da ambulância tem uma frequência de 50 Hz. O semáforo abre e a



ambulância começa a se aproximar do observador. Nos instantes em que a ambulância está se aproximando, o observador detectada um som de frequência de 55 Hz emitido pela sirene da ambulância. Qual é a velocidade de aproximação da ambulância? O observador permanece em repouso durante toda a situação retratada e a ambulância tem aceleração nula. Dado: a velocidade do som no meio é de 330 m/s.

- a) 20 m/s
- b) 30 m/s
- c) 50 m/s
- d) 60 m/s
- e) 100 m/s

**Comentário:**

O fenômeno retratado é o fenômeno do efeito Doppler. O observador permanece em repouso.

$$\frac{f_{obs}}{v_{som}} = \frac{f_{fonte}}{v_{som} - v_{fonte}}$$

$$\frac{1000}{330} = \frac{50}{330 - v_{fonte}}$$

$$330 - v_{fonte} = 330 \cdot \frac{50}{55}$$

$$330 - v_{fonte} = 330 \cdot \frac{10}{11}$$

$$v_{fonte} = 30 \text{ m/s}$$

**Gabarito: B**

**Questão 24.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um observador está em repouso na calçada de uma avenida movimentada. Ele percebe como 2f a frequência da sirene de uma ambulância se aproximando e percebe como f a frequência da mesma ambulância se afastando. Se a velocidade do som no meio vale V, determine a velocidade da ambulância.

- a) v
- b) 2v
- c) 3v
- d)  $\frac{v}{2}$
- e)  $\frac{v}{3}$

**Comentário:**

Podemos utilizar a expressão do efeito Doppler.



$$\frac{f_f}{v_s \pm v_f} = \frac{f_0}{v_s \pm v_0}$$

A convenção de sinal é feita colocando um referencial orientado positivamente do observador até a fonte.

Para a aproximação:

$$\frac{f_f}{V - v_f} = \frac{2f}{V}$$

Para o afastamento:

$$\frac{f_f}{V + v_f} = \frac{f}{V}$$

Dividindo as duas expressões:

$$\frac{V + v_f}{V - v_f} = 2$$

$$\boxed{v_f = \frac{V}{3}}$$

**Gabarito: E**

**Questão 25.**

(Prof. Vinícius Fulconi) A refração modifica \_\_\_\_\_ de uma onda, mantendo uma proporção direta entre eles(as).

- a) o comprimento de onda e a velocidade de propagação.
- b) a velocidade de propagação e a frequência.
- c) a frequência e a amplitude.
- d) a frequência e o comprimento de onda.
- e) o comprimento de onda e o período.

**Comentários:**

Na refração há conservação na frequência da onda, logo  $f_1 = f_2$

$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}$$

Logo, a velocidade de propagação e o comprimento de onda mudam de forma a manter a proporção direta da frequência da onda.

**Gabarito: "a".**

**Questão 26.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Sabendo que um tubo fechado de comprimento  $L$  ressoa o primeiro harmônico para a frequência de 680 Hz, o valor de  $L$ , em cm, é:

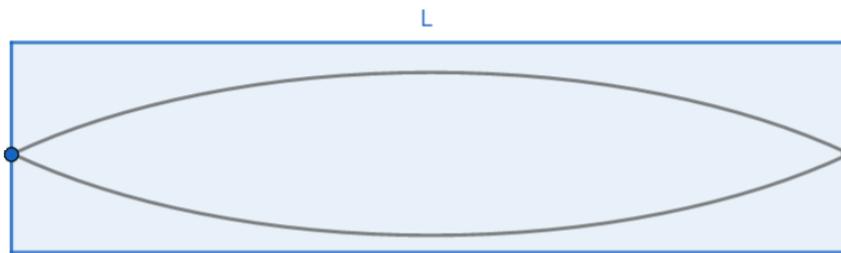
(Considere:  $v_{som} = 340 \text{ m/s}$ )



- a) 45 cm
- b) 17 cm
- c) 24 cm
- d) 25 cm
- e) 36 cm

**Comentários:**

Perceba que o primeiro harmônico de um tubo fechado se dá para  $L = \frac{\lambda}{2}$



Agora devemos obter o valor de  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{680} = 0,5 \text{ m}$$

Logo:

$$L = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ m} = 25 \text{ cm}$$

**Gabarito: "d".**

**Questão 27.**

(Prof. Vinícius Fulconi) “Sonares são instrumentos geralmente utilizados por navios para detecção e localização de objetos no fundo do mar. Esse equipamento é indispensável para fins bélicos, haja vista que localiza submarinos inimigos, e é muito utilizado por navios pesqueiros para encontrar cardumes.

Os sonares funcionam a partir da emissão de pulsos sonoros, que se chocam com os obstáculos e retornam à fonte. Conhecendo-se o valor da velocidade de propagação dos pulsos sonoros na água e o tempo entre a emissão e recepção deles, pode-se determinar a distância de um obstáculo ou submarino.”

Mundo Educação - Sonar

Sobre as ondas sonoras, é correto afirmar que:

- a) Tratam-se de ondas transversais que se propagam nos meios gasosos.
- b) Tratam-se de ondas longitudinais que não se propagam na água.
- c) Tratam-se de ondas transversais que não se propagam no vácuo.
- d) Tratam-se de ondas longitudinais que não se propagam nos meios metálicos.
- e) Tratam-se de ondas longitudinais que não se propagam no vácuo.



**Comentários:**

Ondas sonoras são ondas longitudinais, que dependem de meio material para se propagar.

Logo:

Falsa.

Ondas sonoras são ondas longitudinais

Falsa.

A água é um meio material em que o som pode se propagar

Falsa.

Ondas sonoras são ondas longitudinais.

Falsa.

Metais são meios materiais em que o som pode se propagar.

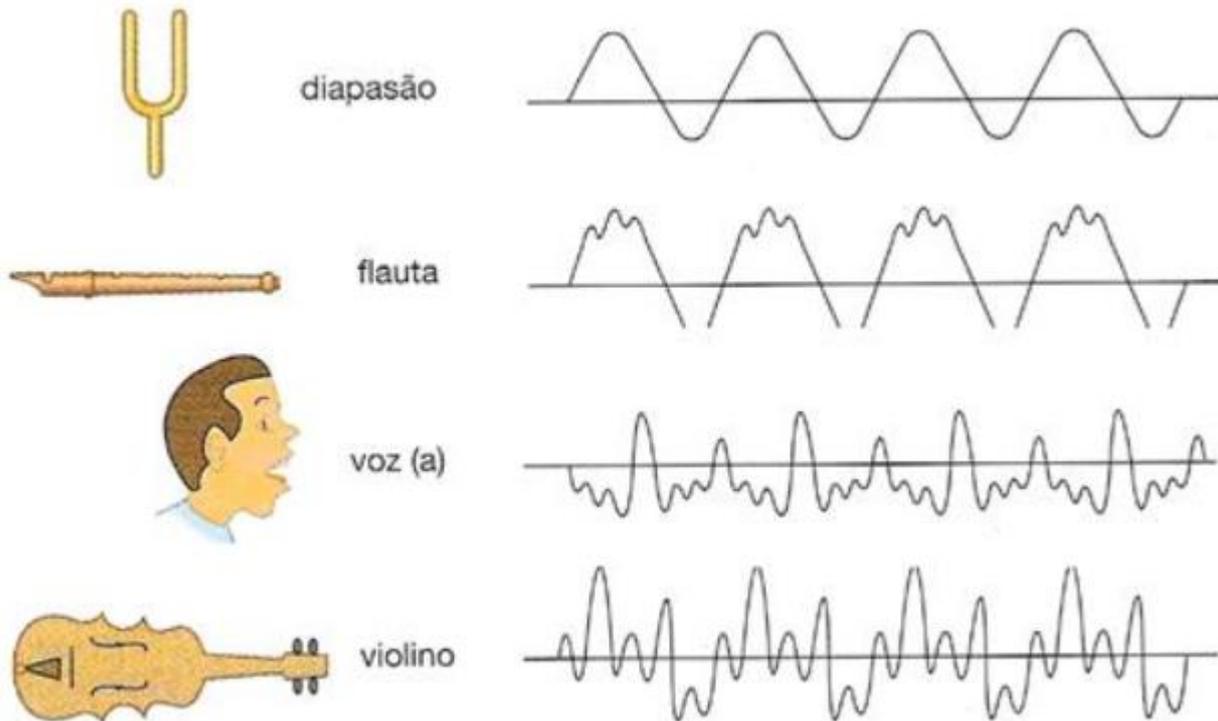
Verdadeira.

O vácuo não é um meio material.

**Gabarito: “e”.**

**Questão 28.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Todas as ondas formadas abaixo possuem a mesma frequência de oscilação e estão se propagando com a mesma velocidade. Qual é a qualidade fisiológica do som que é possível distingui-las?



a) Intensidade



- b) Potência
- c) Timbre
- d) Amplitude

**Comentário:**

O timbre é a característica que está interligada ao formato da onda. Desta maneira, podemos distinguir duas ondas de mesma frequência.

**Gabarito: C**

---

**Questão 29.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Uma ambulância se aproxima de um pedestre em repouso com uma velocidade 30 m/s. A frequência da sirena da ambulância é de 100 Hz. Sabendo que neste meio o segundo harmônico para um tubo aberto, de comprimento 2 metros, tem frequência de 165 Hz, qual é a frequência da sirena percebida pelo pedestre?

- a) 110 Hz
- b) 120 Hz
- c) 130 Hz
- d) 140 Hz

**Comentário:**

Para o pedestre, temos o efeito Doppler:

$$\frac{f_{obs}}{v_{som} - v_{obs}} = \frac{f_{fonte}}{v_{som} - v_{fonte}}$$

$$\frac{f_{obs}}{v_{som}} = \frac{100}{v_{som} - 30}$$

Para calcular a velocidade do som, temos:

Do tubo aberto, temos:

$$\lambda = \frac{2L}{N} = \frac{v_{som}}{f}$$

Para o segundo harmônico, temos:

$$\frac{2 \cdot 2}{2} = \frac{v_{som}}{165}$$

$$v_{som} = 330 \text{ m/s}$$

Portanto, temos:

$$\frac{f_{obs}}{330} = \frac{100}{330 - 30}$$

$$\boxed{f_{obs} = 110 \text{ Hz}}$$

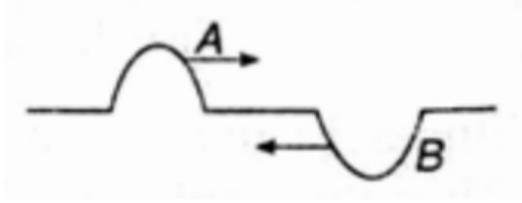
**Gabarito: A**

---



**Questão 30.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Duas ondas harmônicas idênticas estão viajando em direções opostas em uma mesma corda. Em determinado instante, os pulsos irão se sobrepor completamente. Deste modo, no instante de sobreposição total temos:



- a) que a energia total na corda é nula.
- b) que a energia total na corda é puramente cinética.
- c) que a energia total da corda é parcialmente cinética e parcialmente potencial.
- d) que a energia total da corda é puramente potencial.
- e) que a energia total é totalmente desconhecida.

**Comentário:**

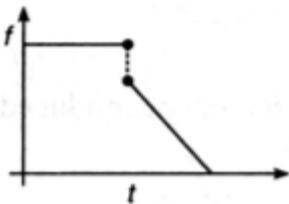
A energia sempre será parcialmente cinética e parcialmente potencial.

**Gabarito: C**

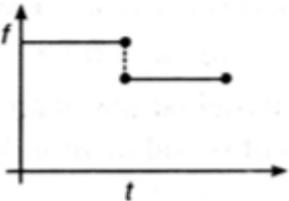
**Questão 31.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Um trem está se movendo, com velocidade constante, em direção a um observador em repouso. Qual dos gráficos abaixo representa a curva da frequência recebida pelo observador ( $f$ ) em função do tempo?

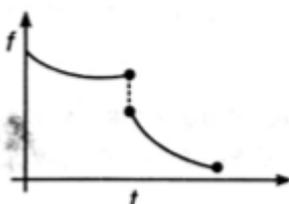
a)



b)

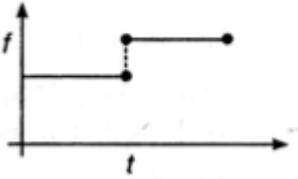


c)

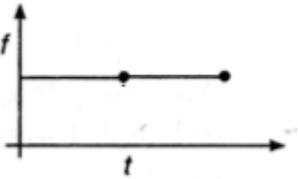




d)



e)



**Comentário:**

Quando o trem está se aproximando do observador temos:

$$\frac{f_{obs}}{v_s} = \frac{f}{v_s - v}$$

$$f_{obs} = \frac{f \cdot v_s}{v_s - v} = a = \text{constante}$$

Quando o trem está se afastando do observador, temos:

$$\frac{f_{obs}}{v_s} = \frac{f}{v_s + v}$$

$$f_{obs} = \frac{f \cdot v_s}{v_s + v} = b = \text{constante}$$

Percebe-se que:

$$a > b$$

Portanto, o gráfico correto é o da alternativa B.

**Gabarito: B**

**Questão 32.**

(Prof. Vinícius Fulconi) Para uma certa corda esticada, três consecutivas frequências de ressonância são observadas em 105, 175 e 245 Hz. Qual é a frequência fundamental?

- a) 30 Hz
- b) 45 Hz
- c) 35 Hz
- d) 85 Hz
- e) 105 Hz

**Comentário:**



Para verificar a frequência fundamental, basta fazer o MDC entre os valores:

$$MDC \{105,175,245\} = 35 \text{ Hz}$$

**Gabarito: C**

**Questão 33.**

(FUVEST 2020) A transmissão de dados de telefonia celular por meio de ondas eletromagnéticas está sujeita a perdas que aumentam com a distância  $d$  entre a antena transmissora e a antena receptora. Uma aproximação frequentemente usada para expressar a perda  $L$ , em decibéis (dB), do sinal em função de  $d$ , no espaço livre de obstáculos, é dada pela expressão

$$L = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

em que  $\lambda$  é comprimento de onda do sinal. O gráfico a seguir mostra  $L$  (em dB) versus  $d$  (em metros) para um determinado comprimento de onda  $\lambda$ .

Note e adote:  
 Velocidade da luz no vácuo:  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ;  
 $\pi \cong 3$ ;  
 1 GHz =  $10^9 \text{ Hz}$ .

Com base no gráfico, a frequência do sinal é aproximadamente

- a) 2,5 GHz.
- b) 5 GHz
- c) 12 GHz
- d) 40 GHz
- e) 100 GHz

**Comentários:**

A primeira etapa do problema pode ser a identificação da frequência na fórmula dada:

$$L = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

O comprimento de onda pode ser escrito em função da velocidade da onda e da frequência. Utilizando a equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$L = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\frac{v}{f}} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi d f}{v} \right)$$

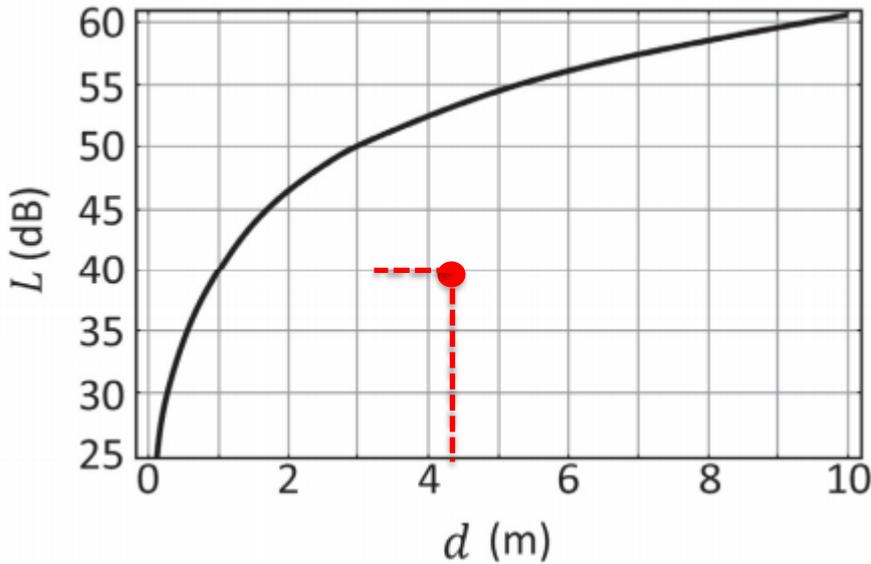
A velocidade da onda é a própria velocidade da luz. Isso porque, a onda é eletromagnética. Substituindo os valores dados na tabela, temos:



$$L = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4 \cdot 3 \cdot d \cdot f}{3 \cdot 10^8} \right)$$

$$L = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4 \cdot d \cdot f}{10^8} \right)$$

Utilizando o gráfico dado, podemos substituir um ponto do gráfico na expressão acima. O ponto escolhido será:



$$L = 40 \text{ dB}$$

$$d = 1 \text{ m}$$

Substituindo:

$$40 = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4 \cdot 1 \cdot f}{10^8} \right)$$

$$2 = \log_{10} \left( \frac{4f}{10^8} \right)$$

Usando as propriedades de logaritmo:

$$10^2 = \frac{4f}{10^8}$$

$$f = 0,25 \cdot 10^{10} \text{ Hz}$$

$$\boxed{f = 2,5 \text{ GHz}}$$

**Gabarito: A**

### Questão 34.

(UNICAMP 2020) Em 2019 foi divulgada a primeira imagem de um buraco negro, obtida pelo uso de vários radiotelescópios. Também recentemente, uma equipe da NASA propôs a utilização de telescópios de infravermelho para detectar antecipadamente asteroides que se aproximam da Terra. Considere que um radiotelescópio detecta ondas eletromagnéticas provenientes de



objetos celestes distantes na frequência de  $f_{\text{rádio}} = 1,5 \text{ GHz}$ , e que um telescópio de infravermelho detecta ondas eletromagnéticas originadas em corpos do sistema solar na frequência de  $f_{\text{infravermelho}} = 30 \text{ THz}$ . Qual é a razão entre os correspondentes comprimentos de onda no vácuo,  $\lambda_{\text{rádio}}/\lambda_{\text{infravermelho}}$ ?

- a)  $5,5 \cdot 10^{-5}$
- b)  $6,7 \cdot 10^{-5}$
- c)  $2,0 \cdot 10^4$
- d)  $6,0 \cdot 10^{12}$

**Comentários:**

No vácuo, a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas é igual a  $c$  (velocidade de propagação da luz no vácuo). Portanto, temos:

$$v_{\text{rádio}} = v_{\text{infravermelho}}$$

Utilizando a equação fundamental da ondulatória:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$\lambda_{\text{rádio}} \cdot f_{\text{rádio}} = \lambda_{\text{infravermelho}} \cdot f_{\text{infravermelho}}$$

$$\lambda_{\text{rádio}} \cdot 1,5 \cdot 10^9 = \lambda_{\text{infravermelho}} \cdot 30 \cdot 10^{12}$$

$\frac{\lambda_{\text{rádio}}}{\lambda_{\text{infravermelho}}} = 2 \cdot 10^4$
--

**Gabarito: C**

**Questão 35.**

Dois diapasões são soldados e fornecem uma frequência de batimento de  $f_{\text{bat}}$ . Se os diapasões soldados são aproximados de um tubo de ressonância de ar, fechado em uma extremidade, os diapasões ressonam com as colunas de ar de  $L_1$  e  $L_2 > L_1$ , respectivamente. Calcule as frequências dos diapasões.

- a)  $\frac{L_2 \cdot f_{\text{bat}}}{L_2 - L_1}; \frac{L_1 \cdot f_{\text{bat}}}{L_2 - L_1}$
- b)  $\frac{L_2 \cdot f_{\text{bat}}}{L_2 + L_1}; \frac{L_1 \cdot f_{\text{bat}}}{L_2 + L_1}$
- c)  $\frac{f_{\text{bat}}}{2}; \frac{f_{\text{bat}}}{2}$
- d)  $\frac{3f_{\text{bat}}}{2}; \frac{3f_{\text{bat}}}{2}$

**Comentários:**

A frequência de batimento sempre é dada pela diferença entre as frequências:

$$f_2 - f_1 = f_{\text{bat}} \quad (\text{EQ 1})$$



Para a aproximação com os tubos fechados, temos:

$$f_{tubo} = N \cdot \frac{V_{som}}{4L}; \quad N = 1, 3, 5, 7, 9, \dots$$

Para cada diapasão, temos:

$$f_2 = N \cdot \frac{V_{som}}{4L_1}$$

$$f_1 = N \cdot \frac{V_{som}}{4L_2}$$

Portanto, temos:

$$f_2 \cdot L_1 = f_1 \cdot L_2$$

Substituindo na equação 1, temos:

$$f_2 - f_2 \cdot \frac{L_1}{L_2} = f_{bat}$$

$$f_2 = \frac{L_2 \cdot f_{bat}}{L_2 - L_1}$$

E, portanto, temos:

$$f_1 \cdot \frac{L_2}{L_1} - f_1 = f_{bat}$$

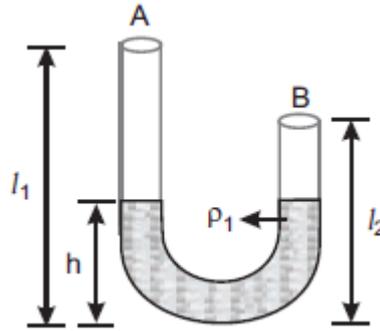
$$f_1 = \frac{L_2 \cdot f_{bat}}{L_2 - L_1}$$

$$f_2 = \frac{L_1 \cdot f_{bat}}{L_2 - L_1}$$

**Gabarito: A**

**Questão 36.**

Considere um tubo em U, que é colocado um líquido de densidade  $\rho_1$ . Dois diapasões iguais de frequência  $f$  são posicionados nas bocas de cada um dos tubos. Qual será a relação entre os harmônicos formados em cada um dos ramos?



- a)  $\frac{(l_1 - h)}{(l_2)}$
- b)  $\frac{(l_1 - h)}{(l_2 - h)}$
- c)  $\frac{(l_1 + h)}{(l_2 + h)}$
- d)  $\frac{(l_1)}{(l_2 - h)}$

**Comentários:**

Os harmônicos formados em tubos fechados são dados por:

$$\lambda = \frac{4L}{N}$$

Em que L é comprimento do tubo.

Desta maneira, para o ramo da esquerda, temos:

$$\lambda_{esquerda} = \frac{4(l_1 - h)}{N}$$

Desta maneira, para o ramo da direita, temos:

$$\lambda_{direita} = \frac{4(l_2 - h)}{M}$$

$$\boxed{\frac{N}{M} = \frac{(l_1 - h)}{(l_2 - h)}}$$

**Gabarito: B**

**Questão 37.**

Instrumentos musicais de corda permitem que enxerguemos a física mais próxima do nosso cotidiano. Um músico, ao tocar seu violão nota que as cordas desse instrumento, ao vibrarem, formam ondas estacionárias. Ao tocar uma nota em específico, o violonista percebe que a distância entre dois nós consecutivos é de 7cm e, com o uso de um frequencímetro, ele sabe que a nota tem exatamente 133Hz. Qual a velocidade dessa onda?

- a) 9,31 cm/s
- b) 9,31 m/s
- c) 0,931 km/s
- d) 0,0931 m/s



e) 0,00931 m/s

**Resolução:**

Dado que temos uma onda estacionária, a distância entre dois nós consecutivos representa metade do comprimento de onda, ou seja:

$$\frac{\lambda}{2} = 7\text{cm}$$

$$\lambda = 14\text{cm}$$

Assim, temos que:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = 14 \cdot 10^{-2} \cdot 133$$

$$v = 9,31 \text{ m/s}$$

**Gabarito: B**

**Questão 38.**

Uma ambulância está se aproximando um observador parado com velocidade  $u$ . O observador percebe uma frequência  $f_0$ . Se o observador se aproximasse da ambulância com velocidade  $V$ , qual seria a frequência percebida pelo observador?

A velocidade do som no ar vale  $c$ .

a)  $f_0 \left(1 - \frac{u}{c}\right)$

b)  $f_0 \left(1 + \frac{u}{c}\right)$

c)  $f_0$

d)  $f_0 \left(1 + \frac{V}{c}\right)$

e)  $f_0 \left(1 - \frac{V}{c}\right)$

**Comentários:**

Para o observador parado temos:

$$\frac{f_0}{c} = \frac{f_{\text{fonte}}}{c - u}$$

Para o observador se aproximando com velocidade  $V$ , temos:

$$\frac{f_{OBS}}{c + V} = \frac{f_{\text{fonte}}}{c - u}$$

$$f_{OBS} = f_0 \left(1 + \frac{V}{c}\right)$$

**Gabarito: D**

**Questão 39.**



A velocidade de propagação de uma onda gera uma frequência de 2 Hz em uma corda de  $4 \text{ kg/m}$  tensionada com uma tração 64 N. Se a corda tem comprimento 400 cm, qual é quantidade de nós há formados nessa corda?

- a) 5
- b) 4
- c) 3
- d) 2
- e) 1

**Comentários:**

Para a velocidade de propagação nas cordas, temos:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{64}{4}} = 4 \text{ m/s}$$

Para a equação da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$4 = \lambda \cdot 2$$

$$\lambda = 2 \text{ m}$$

Para as cordas, temos:

$$\lambda = \frac{2L}{n}$$

$$2 = \frac{2 \cdot 4}{n}$$

$$n = 4$$

Portanto, há 5 nós.

**Gabarito: A**

---

**Nível 3****Questão 1.**



Um tubo fechado contém 1 mol de oxigênio e apresenta ressonância com uma frequência fundamental de 200 Hz. Se agora o tubo contém dois mols de oxigênio e 3 mols de ozônio, na mesma temperatura, qual será a nova frequência fundamental que ressonará com o tubo?

- a) 200 Hz
- b) 190 Hz
- c) 180 Hz
- d) 170 Hz
- e) 160 Hz

**Comentários:**

Para a frequência de ressonância de um tubo fechado, temos:

$$v_{som} = 4L \cdot f$$

A velocidade do som é dada por:

$$v_{som} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Assim, temos:

$$\sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = 4L \cdot f$$

Desta maneira, as frequências variam inversamente com a raiz quadrada da massa molar do gás:

$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

$$\frac{200}{f_2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 16 + 3 \cdot 48}{5 \cdot 32}}$$

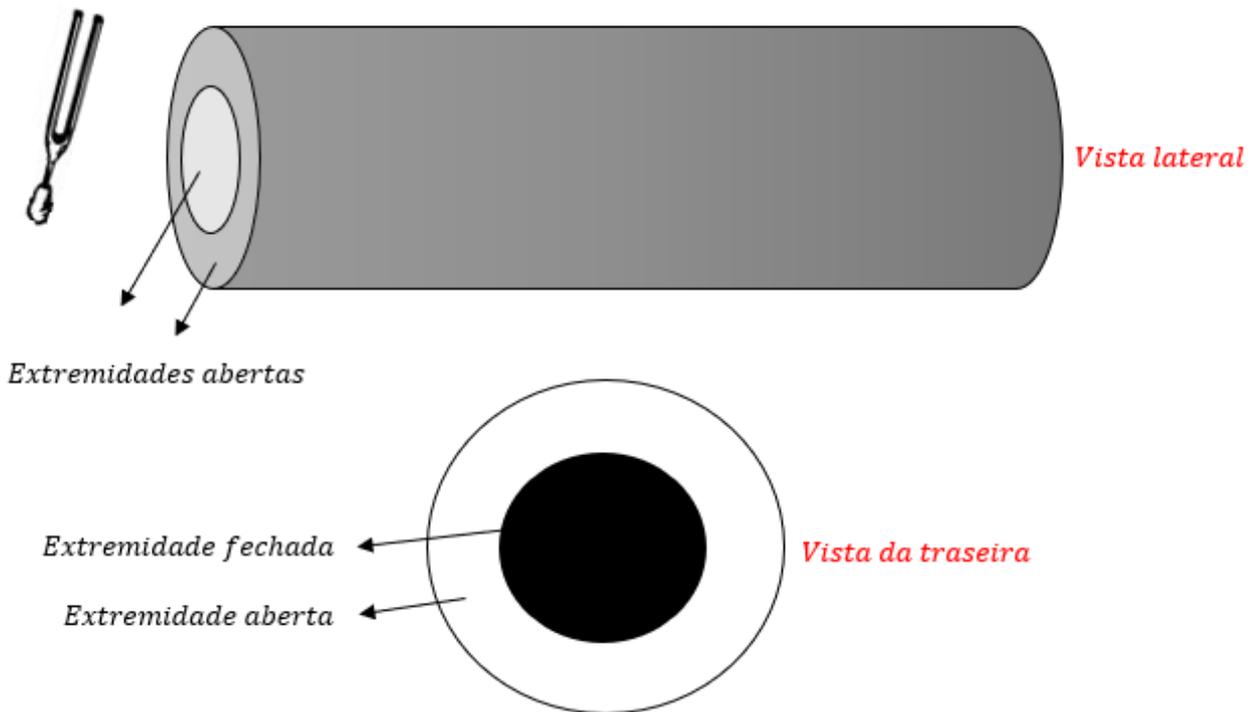
$$\frac{200}{f_2} = \sqrt{1,1}$$

$$f_2 \cong 190 \text{ Hz}$$

**Gabarito: B**

**Questão 2.**

Considere dois tubos cilíndricos concêntricos de raios  $R$  e  $R/2$  com o mesmo comprimento. O cilindro interno tem sua extremidade traseira fechada, mas o tubo exterior tem a extremidade traseira aberta. Um diapasão de frequência  $f$  é posicionado na extremidade comum aberta dos tubos. Veja a figura abaixo.



São observados três padrões sonoros no arranjo dos tubos mostrado acima. O padrão do tubo fechado representa o harmônico  $N$ . Além disso, sabe-se que a energia confinada entre dois nós do padrão do tubo fechado vale  $E$ .

Qual será a energia armazenada entre dois nós consecutivos do padrão sonoro observado nos tubos abertos e seu harmônico correspondente?

Considerações:

- A energia confinada entre dois nós de um padrão em um tubo é proporcional à amplitude do padrão formado.

a)  $N ; \frac{E}{4}$

b)  $N ; E$

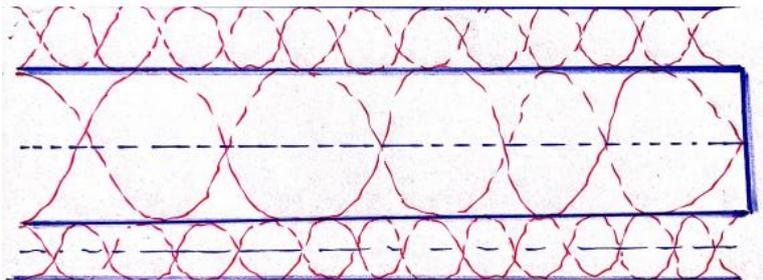
c)  $2N ; 4E$

d)  $\frac{N}{2} ; \frac{E}{4}$

e)  $N ; E$

**Comentários:**

O padrão de interferência formado será dado pela figura abaixo:



Para a parte do tubo fechado, temos:

$$\frac{v_{som}}{f} = \frac{4L}{N}$$

$$L = \frac{v_{som} \cdot N}{4f}$$

Para o tubo aberto, temos:

$$\frac{v_{som}}{f} = \frac{2L}{N'}$$

$$N' = \frac{2f}{v_{som}} \cdot \frac{v_{som} \cdot N}{4f}$$

$$\boxed{N' = \frac{N}{2}}$$

Sabe-se que a energia confinada é proporcional à amplitude ao quadrado do padrão sonoro. Dessa maneira, temos:

$$E_{fechado} = K \cdot \left(\frac{R}{2}\right)^2 = E$$

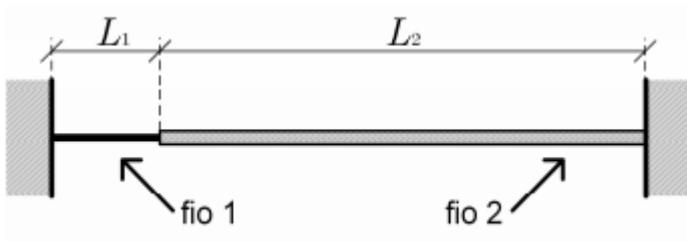
$$E_{aberto} = K \cdot \left(\frac{R}{4}\right)^2$$

Assim, temos:

$$\boxed{E_{aberto} = \frac{E}{4}}$$

**Gabarito: D**

**Questão 03.**



(IME 2021) Um fio de comprimento  $L_1$  e densidade linear  $\mu_1$  está ligado a outro fio com comprimento  $L_2 = 14L_1$  e densidade  $\mu_2 = \mu_1/64$ . O conjunto está preso pelas suas



extremidades a duas paredes fixas e submetido a uma tensão  $T$ . Uma onda estacionária se forma no conjunto com a menor frequência possível, com um nó na junção dos dois fios. Incluindo os nós das extremidades, determine o número de nós que serão observados ao longo do conjunto.

**Comentários:**

Para a primeira corda, temos:

$$L_1 = N \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$L_1 = N \cdot \frac{v_1}{2f}$$

$$L_1 = N \cdot \frac{\sqrt{T}}{2f\sqrt{\mu_1}}$$

$$N = 2 \cdot \frac{fL_1\sqrt{\mu_1}}{\sqrt{T}}$$

Analogamente, para a segunda corda, temos:

$$M = \frac{2fL_2\sqrt{\mu_2}}{\sqrt{T}}$$

Substituindo os valores do enunciado, temos:

$$M = \frac{2f(14L_1)\sqrt{\frac{\mu_1}{64}}}{\sqrt{T}}$$

$$M = \frac{7fL_1\sqrt{\mu_1}}{2\sqrt{T}}$$

Podemos chamar o termo  $\frac{fL_1\sqrt{\mu_1}}{\sqrt{T}}$  de  $k$ . Assim, temos:

$$N = 2 \cdot k$$

$$M = \frac{7}{2}k$$

Como os valores de  $M$  e  $N$  são naturais, pois representam os harmônicos, o menor valor de  $k$  para que  $M$  seja natural é 2.

Desta maneira, temos:

$$k = 2$$

$$N = 4 \quad e \quad M = 7$$

Portanto, o total de nós é:

$$\boxed{x = 12}$$

**Gabarito: 12 nós**

**Questão 04.**



(IME 2021) Para determinar a temperatura de um gás ideal, este foi inserido num tubo de comprimento  $L$  com uma extremidade aberta e a outra fechada. Na extremidade fechada, foi colocado um pequeno alto-falante, que emite uma frequência  $f_0$  no estado fundamental.

Dados:

Massa mola do gás:  $M$ ;

Coeficiente de Poisson:  $\gamma$ ;

Número pertencente ao conjunto dos números naturais:  $n$ ; e

Constante universal dos gases perfeitos:  $R$ .

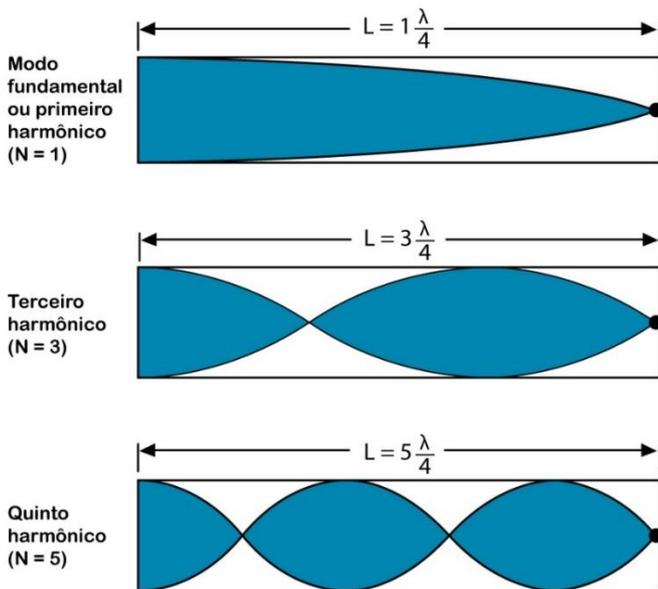
Diante do exposto, determine:

a) a temperatura absoluta do gás; e

b) a razão entre a temperatura do gás original e de um novo gás, cuja massa molar  $\bar{M}$  é maior que a massa molar  $M$  do gás original, mantendo a mesma razão entre a pressão e a massa específica do gás anterior (considere que todo o gás do item a) foi retirado).

**Comentários:**

a) Para os possíveis modos de ressonância em um tubo com uma extremidade aberta, temos:



Temos apenas os modos ímpares e escrevemos a relação entre o comprimento do tubo e o comprimento do tubo por:

$$n_{\text{ímpar}} \cdot \frac{\lambda}{4} = L$$

Como ele menciona um número  $n$  natural no enunciado, temos:

$$(2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{4} = L$$

$$\therefore \lambda = \frac{4L}{2n + 1}$$

Pela equação fundamental da ondulatória, temos:



$$v = \lambda \cdot f_0$$

Note que a frequência  $f_0$  emitida pelo alto-falante não é a frequência do primeiro harmônico, ele apenas menciona que é a frequência do alto-falante, possivelmente para falar que é a frequência real emitida pelo alto-falante, para não ter problema com efeito Doppler, por exemplo, caso o tubo estivesse se movendo.

Para a propagação do som no gás, sabemos que a velocidade é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Logo:

$$\sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \frac{4L}{2n+1} \cdot f_0$$

$$\therefore T = \left( \frac{4L}{2n+1} \cdot f_0 \right)^2 \cdot \frac{M}{\gamma \cdot R}$$

b) Pela equação de Clapeyron podemos deduzir a massa específica de um gás:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

$$\frac{P \cdot M}{R \cdot T} = \frac{M}{V} = \rho$$

No enunciado da letra b), a questão diz que a relação entre a pressão e a massa específica permanecerá constante, após trocar o gás. Portanto:

$$\frac{P}{\rho} = \frac{R \cdot T}{M}$$

Assim:

$$\frac{R \cdot T_1}{M} = \frac{R \cdot T_2}{\bar{M}}$$

$$\boxed{\frac{T_1}{T_2} = \frac{M}{\bar{M}}}$$

**Gabarito:** a)  $T = \left( \frac{4L}{2n+1} \cdot f_0 \right)^2 \cdot \frac{M}{\gamma \cdot R}$  b)  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{M}{\bar{M}}$

### Questão 5.

A velocidade do som na atmosfera de um planeta é dada pela seguinte expressão:

$$V_{som,gás} = \sqrt{\frac{7RT}{5M}}$$



Em que  $R$  é constante dos gases ideais,  $T$  é a temperatura e  $M$  é a massa molar média do ar atmosférico local.

Considere dois planetas distintos.

Planeta	Composição atmosférica
A	80% de $N_2$ 20% de $O_2$
B	70% de $Ar$ 30% de $He$

Gás	Massa molar (g/mol)
Oxigênio	32
Nitrogênio	28
Argônio	40
Hélio	4

Assinale a alternativa correta. Para responder, considere que a composição molar do ar atmosférico seco desse planeta é de 80% de  $N_2$  e 20% de  $O_2$ .

- Quanto maior a umidade do ar, maior será a velocidade do som na atmosfera A.
- A atmosfera de outro planeta B é composta por 70% de Argônio e 30% de hélio. A velocidade do som nesse planeta B é maior que a velocidade do som no planeta A.
- Dois tubos sonoros idênticos são posicionados um em cada planeta. Um mesmo diapasão é posicionado na extremidade aberta de cada um desses tubos. O harmônico gerado no tubo do planeta A é maior que o harmônico gerado no tubo do planeta B.
- A umidade do ar não altera a velocidade do som.
- Para um equipamento que gera ondas de mesmo comprimento de onda, um som gerado no planeta A é mais agudo que o mesmo som gerado no planeta B.

**Comentários:**

A massa molar média é dada por:

$$M_A = \frac{32 \cdot 0,2 + 28 \cdot 0,8}{0,2 + 0,8} = 28,8 \text{ g/mol}$$

$$M_B = \frac{40 \cdot 0,7 + 4 \cdot 0,3}{0,3 + 0,7} = 29,2 \text{ g/mol}$$

- Falsa. Quanto maior a umidade, menor será a massa molar e, portanto, mais velocidade o som se propagará.
- Falsa. Como a massa molar é maior, menor será a velocidade.
- Falsa.

O harmônico em cada tubo é dado por:



$$N = \frac{4Lf}{v}$$

Desta maneira, quanto maior a velocidade do som, menor será o harmônico.

d) Falsa. A umidade aumenta a velocidade.

e) Verdadeira. Para um mesmo comprimento de onda, temos:

$$v_A = \lambda \cdot f_A$$

$$v_B = \lambda \cdot f_B$$

Como  $v_A > v_B$ , temos  $f_A > f_B$ . Assim, temos um som mais agudo.

**Gabarito: E**

**Questão 6.**

Dois diapasões são soldados e fornecem uma frequência de batimento de 4 Hz. Se os diapasões soldados são aproximados de um tubo de ressonância de ar, fechado em uma extremidade, os diapasões ressonam com as colunas de ar de 32 cm e 33 cm, respectivamente. Calcule as frequências dos diapasões.

a) 128 Hz ; 132 Hz

b) 256 Hz ; 264 Hz

c) 33 Hz ; 41 Hz

d) 512 Hz ; 520 Hz

e) 99 Hz ; 107 Hz

**Comentários:**

A frequência de batimento sempre é dada pela diferença entre as frequências:

$$f_2 - f_1 = 4 \quad (EQ 1)$$

Para a aproximação com os tubos fechados, temos:

$$f_{tubo} = \frac{N \cdot v_{som}}{4L} ; \quad N = 1, 3, 5, 7, 9, \dots$$

Para cada diapasão, temos:

$$f_2 = \frac{N \cdot v_{som}}{4 \cdot 32}$$

$$f_1 = \frac{N \cdot v_{som}}{4 \cdot 33}$$

Portanto, temos:

$$33f_1 = 32f_2$$

$$f_2 = \frac{33}{32}f_1$$

Substituindo na equação 1, temos:



$$\frac{33}{32} f_1 - f_1 = 4$$

$$\boxed{f_1 = 128 \text{ Hz}}$$

E portanto, temos:

$$\boxed{f_2 = 132 \text{ Hz}}$$

**Gabarito: A**

**Questão 7.**

A equação de uma onda transversal propagando em uma corda é dada por:

$$y = 0,02 \text{sen}(x + 30t)$$

Em que x e y são dados em metros e t em segundos. Se a densidade linear da corda é  $1,3 \cdot 10^{-4}$  kg/m, qual é a tensão no anel?

**Comentários:**

Para encontrar a velocidade de propagação, fazemos:

$$\frac{2\pi}{\lambda} = 1 \quad \rightarrow \quad \lambda = 2\pi$$

$$2\pi f = 30 \quad \rightarrow \quad f = \frac{15}{\pi}$$

Portanto, temos:

$$v = \lambda f$$

$$v = 2\pi \frac{15}{\pi} = 300 \text{ m/s}$$

Pela equação de Taylor, temos:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$30 = \sqrt{\frac{T}{1,3 \cdot 10^{-4}}}$$

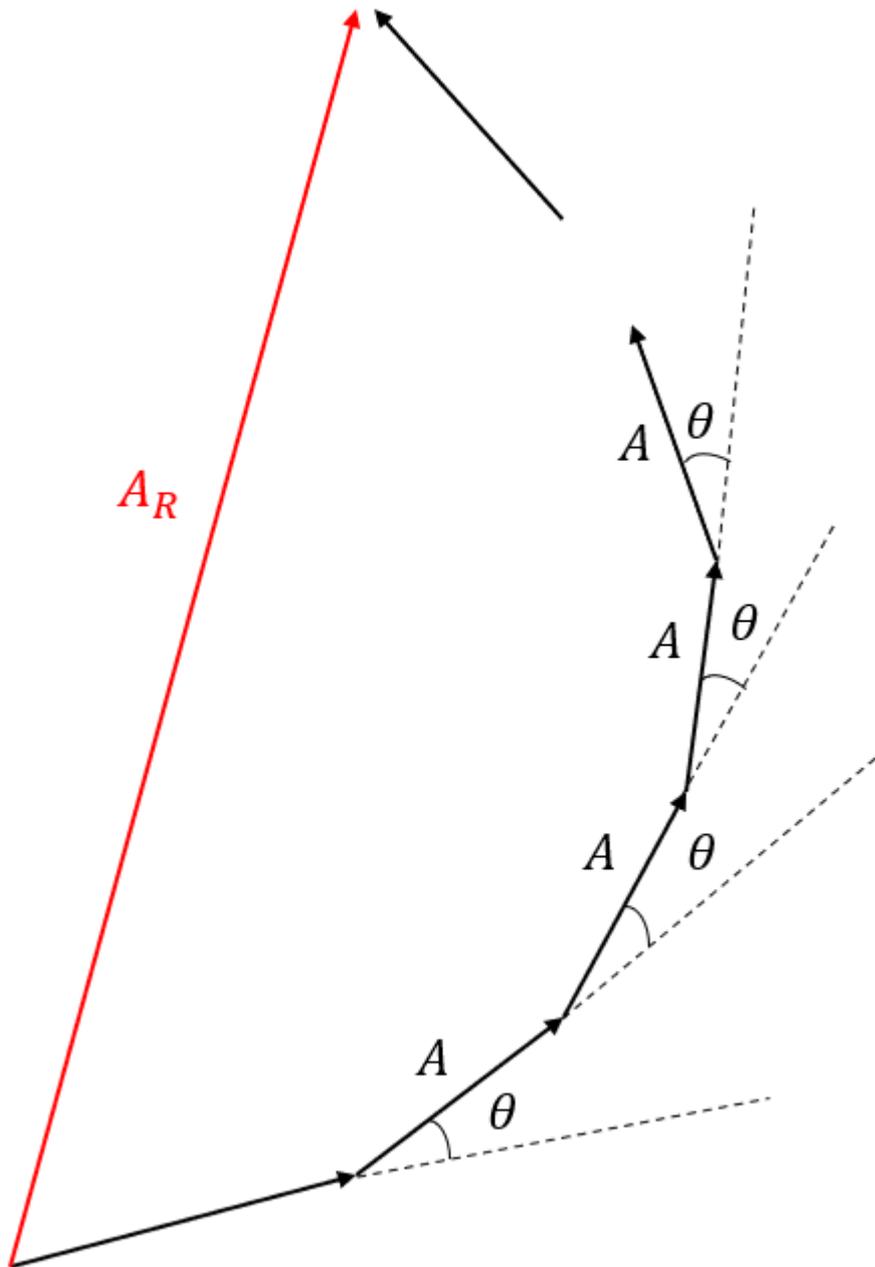
$$\boxed{T = 0,117 \text{ N}}$$

**Questão 8.**

Encontre a amplitude resultante de um ponto no qual N ondas senoidais interferem. Todas as ondas têm a mesma frequência e a mesma amplitude A e suas fases estão progredindo de acordo com uma progressão aritmética de razão  $\theta$ .

**Comentários:**

Podemos fazer a representação vetorial dessas ondas e, portanto, temos:



Cada um desses vetores é dado por:

$$\vec{V}_1 = \vec{A} \cdot \text{cis}0^\circ$$

$$\vec{V}_2 = \vec{A} \cdot \text{cis}\theta$$

$$\vec{V}_3 = \vec{A} \cdot \text{cis}2\theta$$

⋮

$$\vec{V}_n = \vec{A} \cdot \text{cis}(n - 1)\theta$$

Devemos somar todos esses vetores e encontrar o módulo da resultante.



$$\vec{V}_R = \sum_{n=1}^n \vec{A} \cdot \text{cis}(n-1)\theta$$

Podemos fazer como:

$$\vec{V}_R = \vec{A} \cdot [\text{cis}0 + \text{cis}\theta + \text{cis}^2\theta + \text{cis}^3\theta + \dots + \text{cis}^{n-1}\theta]$$

É a soma de um P.G

$$\vec{V}_R = \vec{A} \cdot \frac{\text{cis}0 \cdot (\text{cis}^n\theta - 1)}{\text{cis}\theta - 1}$$

$$\vec{V}_R = \vec{A} \cdot \frac{\text{cis}n\theta - 1}{\text{cis}\theta - 1} = \vec{A} \cdot \frac{2i \cdot \text{sen}\left(\frac{n\theta}{2}\right) \cdot \text{cis}\left(\frac{n\theta}{2}\right)}{2i \cdot \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \text{cis}\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

$$\vec{V}_R = \vec{A} \cdot \frac{\text{sen}\left(\frac{n\theta}{2}\right)}{\text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)} \cdot \text{cis}\left(\frac{(n-1)\theta}{2}\right)$$

Desta maneira, a amplitude resultante é dada por:

$$A_R = A \frac{\text{sen}\left(\frac{n\theta}{2}\right)}{\text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

### Questão 9.

Uma onda é representada pela equação  $y = 10\cos(5x + 25t)$ , em que  $x$  e  $y$  estão em metros e  $t$  está em segundos. Uma segunda onda de equação  $y = 20\cos\left(5x + 25t + \frac{\pi}{3}\right)$  interfere com a primeira onda. Qual é a fase e a amplitude resultante da onda resultante?

#### Comentários:

Como as ondas possuem a mesma frequência, podemos fazer a aplicação de fasores.

A primeira onda pode ser representada como:

$$\vec{V}_1 = 10 \cdot \text{cis}0^\circ$$

A segunda onda pode ser representada como:

$$\vec{V}_2 = 20 \cdot \text{cis}60^\circ$$

Fazendo a soma, temos:

$$\vec{V}_R = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$$

$$\vec{V}_R = 10 \cdot \text{cis}0^\circ + 20 \cdot \text{cis}60^\circ$$

$$\vec{V}_R = 10 + 20 \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{i\sqrt{3}}{2}\right)$$



$$\vec{V}_R = 20 + 10i\sqrt{3}$$

Para encontrar o módulo, temos:

$$|\vec{V}_R| = \sqrt{400 + 300}$$

$$|\vec{V}_R| = 10\sqrt{7} \text{ m}$$

### Questão 10.

Uma corda de densidade linear de massa  $\mu$  está presa em suas duas extremidades. Uma das extremidades está fixa em  $x = 0$  e a outra em  $x = L$ . Quando a corda vibra na sua frequência fundamental seu ponto médio apresenta uma amplitude  $A$ . Se a tensão na corda é  $T$ , encontre a energia total de oscilações armazenada na corda.

Comentários:

A densidade de energia por volume de uma corda é dada por:

$$u = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2$$

Para um trecho fundamental, entre dois nós, temos que o comprimento da corda vale meio comprimento de onda.

$$L = \frac{\lambda}{2}$$

Desta maneira, temos a energia:

$$E = u \cdot S \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Em que  $S$  é a área de secção da corda.

$$E = \frac{1}{4} \rho S \lambda \omega^2 A^2$$

$$E = 2\pi^2 \rho S L f^2 A^2$$

Para encontrar a frequência, temos:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{\lambda}{2} \cdot f$$

$$f^2 = \frac{T}{\mu L^2}$$

$$E = 2\pi^2 \rho S L \frac{T}{\mu L^2} A^2$$



$$E = \frac{2\pi^2 \rho S T A^2}{\mu L}$$

---



## Considerações finais

Querido aluno(a),

Se as dúvidas persistirem, não se esqueça de acessar o Fórum de Dúvidas! Responderei suas dúvidas o mais rápido possível!



Você também pode me encontrar nas redes sociais! 😊

Conte comigo,  
Vinícius Fulconi



@viniciusfulconi



vinicius.fulconi