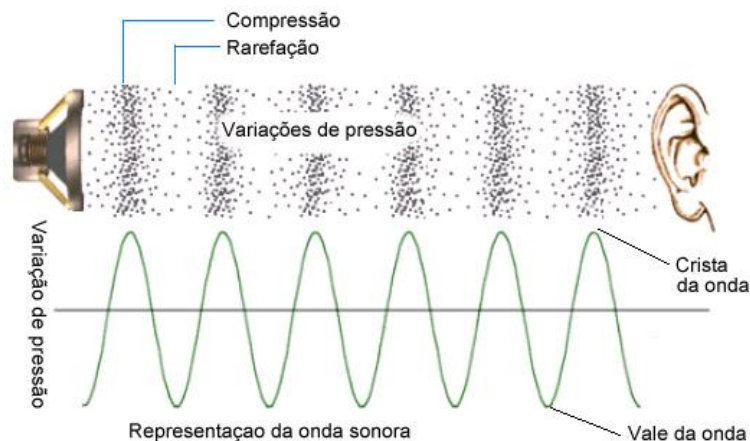


Ondulatória

Resumo

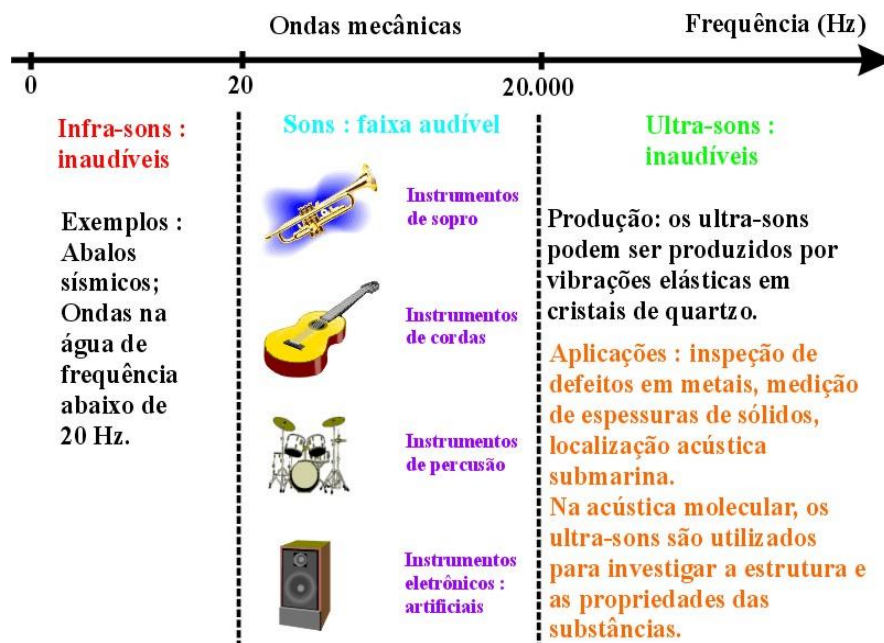
Acústica e Fenômenos Ondulatórios

Na acústica, vamos estudar especificamente o som, bem como, sua geração, propagação e captação pelo ouvido humano. O som é uma onda mecânica longitudinal que é audível para o ser humano no intervalo de 20Hz até 2000Hz.



As ondas sonoras, após se propagarem no ar e atingirem o ouvido de um observador, provocam vibrações em seu tímpano (membrana do aparelho auditivo). Começa, então, o processo fisiológico de audição, que permite essas impressões até o cérebro, permitindo-nos ouvir um som.

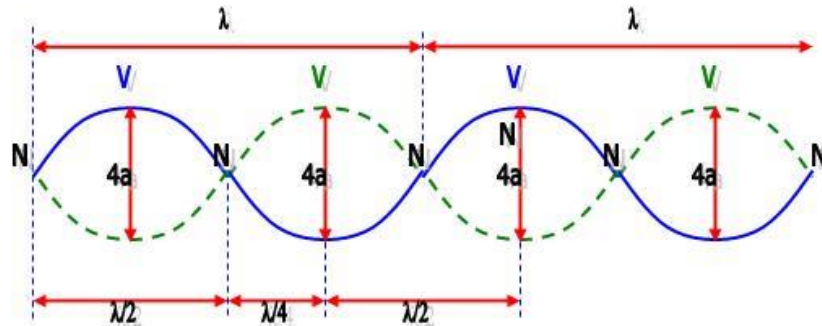
Espectro do Som



1) Ondas estacionárias

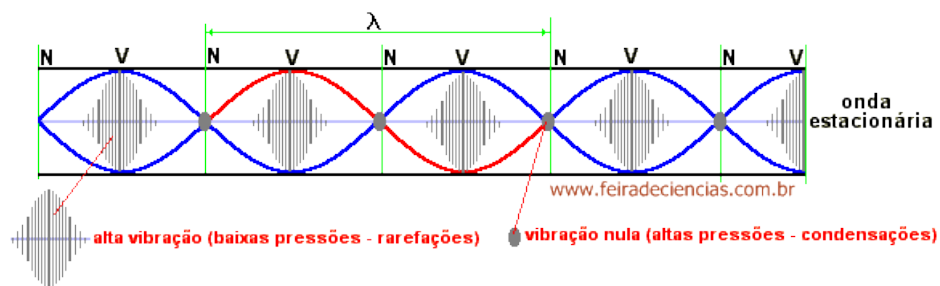
São resultantes da superposição de ondas iguais que se propagam em sentidos opostos em um meio.

Elas são portadoras de energia, mas não a transmitem, pois têm velocidade de propagação nula.



V: Ventres → Interferência construtiva; Vibram com amplitude $2a$

N: Nós → Interferência destrutiva; Vibram com amplitude nula.



2) Velocidade do Som

$$V_{\text{sólido}} > V_{\text{líquido}} > V_{\text{gasoso}}$$

No ferro → 5100m/s

À 20°C: Na água → 1450m/s

No ar → 343m/s

*Obs.1:

Demonstra-se experimentalmente que a velocidade do som nos gases é diretamente proporcional à raiz quadrada da temperatura absoluta.

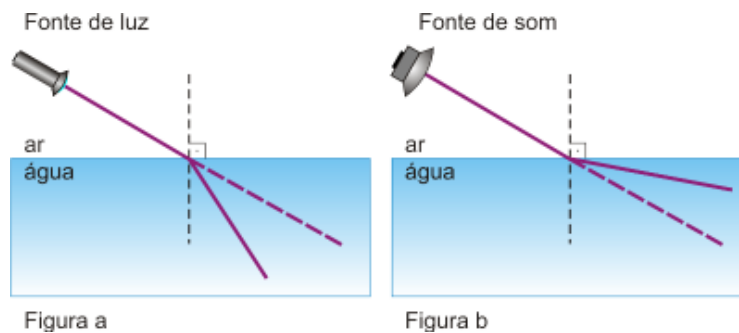
$$V = \sqrt{KT} - \text{Fórmula de Laplace}$$

K : constante que depende da natureza do gás.

Temperatura		Velocidade do som no ar
°C	K	m/s
-17	256	317,76
0	273	328,14
10	283	334,10
16	289	337,62
20	293	339,95

***Obs.2:**

Dióptro ar-água e a refração da luz e do som



Do ar para a água:

- V_{som} aumenta \rightarrow afasta da normal.
- V_{luz} diminui \rightarrow aproxima da normal.

3) Qualidades Fisiológicas do Som

a) Altura

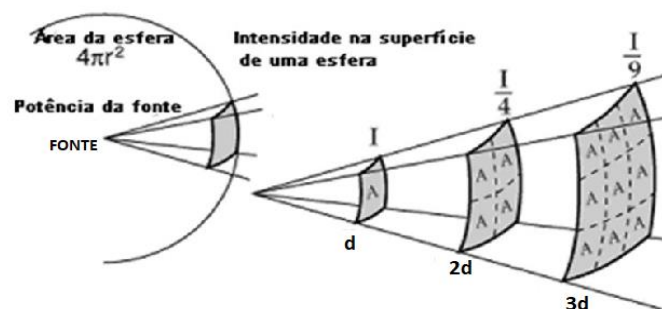
Permite diferenciar sons graves de sons agudos.

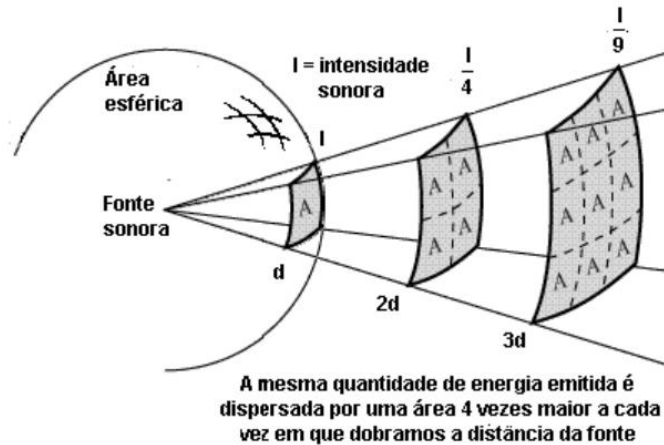
Som alto \rightarrow agudo \rightarrow maior frequência.

Som baixo \rightarrow grave \rightarrow menor frequência.

b) Intensidade

Permite diferenciar sons fortes (volume alto) e sons fracos (volume baixo). Pode ser chamada também de nível sonoro.





$$I = \frac{E}{A \cdot \Delta t}$$

E : Energia que atravessa uma superfície.

A : Área da superfície.

Δt : intervalo de tempo

Lembre-se que: $P = \frac{E}{\Delta t}$. Logo:

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

Unidade de Intensidade I :

$$U[I]_{SI} = \frac{W}{m^2}$$

-Mínima intensidade do som audível (limiar de audição) = 10^{-12} W/m^2 .

-Máxima intensidade do som audível (limiar da dor) = 1 W/m^2 .

***Obs.1:**

Para uma superfície esférica de raio R

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

***Obs.2:**

No caso de ondas sonoras em um meio e com uma certa frequência.

A intensidade é proporcional ao quadrado da amplitude.

***Obs.3:**

Experimentalmente verifica-se que o nível sonoro do som deve ser medido com uma escala logarítmica.

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

- β : intensidade auditiva ou nível sonoro.
- I_0 : menor intensidade audível (10^{-12} W/m^2).
- I : intensidade que se quer medir.

Unidade de β = bel (B)

$$1 \text{ dB} = \frac{1}{10} B = 10^{-1} B$$

Logo: $\beta = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$, em que β está em dB.

SOM	Nível sonoro	SOM	Nível sonoro
Silêncio absoluto	0 dB	Aspirador de pó	80 dB
interior de uma igreja	10 dB	Interior de fábrica têxtil	90 dB
Conversa em voz baixa	20 dB	Buzina de caminhão	100 dB
Respiração ofegante	30 dB	Britadeira	110 dB
Bairro residencial à noite	40 dB	Conjunto de rock	120 dB
Automóvel bem regulado	50 dB	Trovão	130 dB
Conversa em voz normal	60 dB	Decolagem de avião	140 dB
Interior de um restaurante	70 dB	Aterrisagem de avião a jato	150 dB

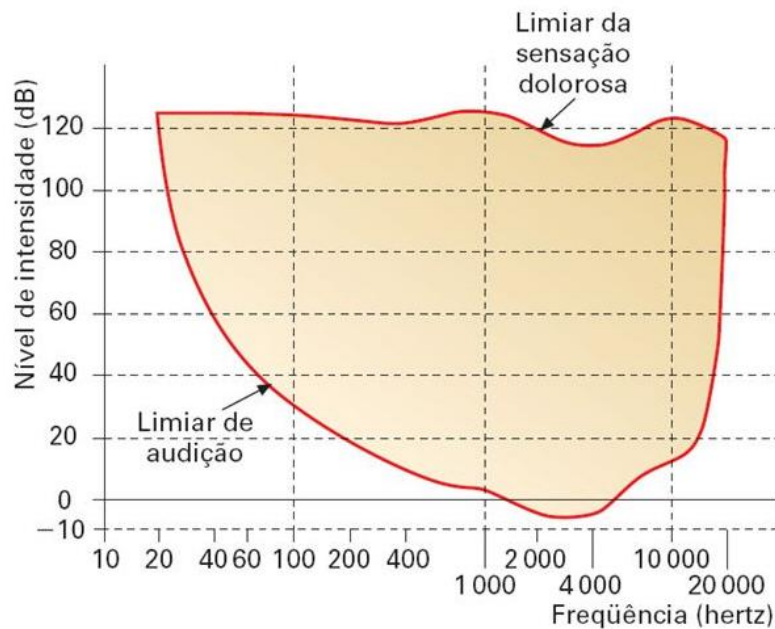
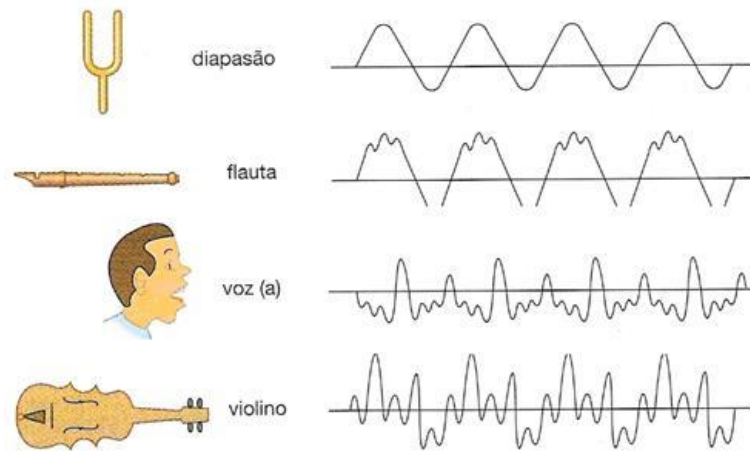


Gráfico da audibilidade média do ouvido humano. Por meio dele pode-se delimitar a faixa entre o limiar da dor e o nível mínimo de audição.

c) **Timbre**

Permite diferenciar dois sons de mesma altura e mesma intensidade, emitidos por fontes distintas.

Uma nota musical emitida por um piano é diferente da mesma nota emitida por um violino.



4) **Eco, Reverberação e Reforço.**

A reflexão do som pode dar origem ao reforço, à reverberação ou ao eco, dependendo do intervalo de tempo entre a percepção, pelo ouvinte, do som direto e do som refletido.

a) **Eco**

Para que ocorra o eco, é preciso que o intervalo de tempo entre a emissão do som e o retorno ao ouvido seja no mínimo de 0,1s (*persistência auditiva*).

Como a onda sonora percorre uma distância de $2x$ entre a ida e a volta, e considerando que a velocidade do som no ar é de 340m/s, temos:

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow 340 = \frac{2x}{0,1} \rightarrow x = 17m$$

Seguindo esse raciocínio, podemos concluir que para a ocorrência do eco o som deve ser emitido a uma distância mínima de 17m do obstáculo.

b) **Reforço**

Em geral os ecos se misturam aos sons originais e assim não conseguimos distinguir essas duas modalidades de ondas sonoras.

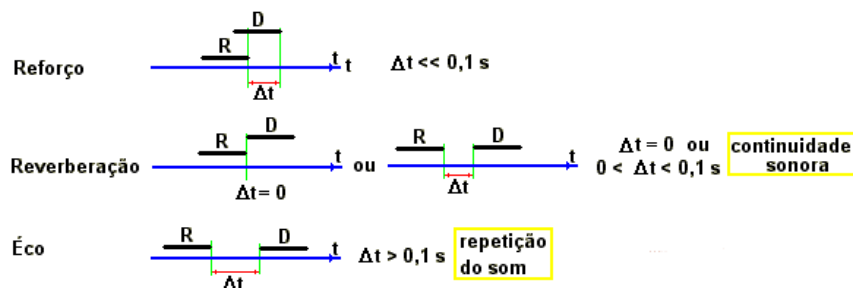
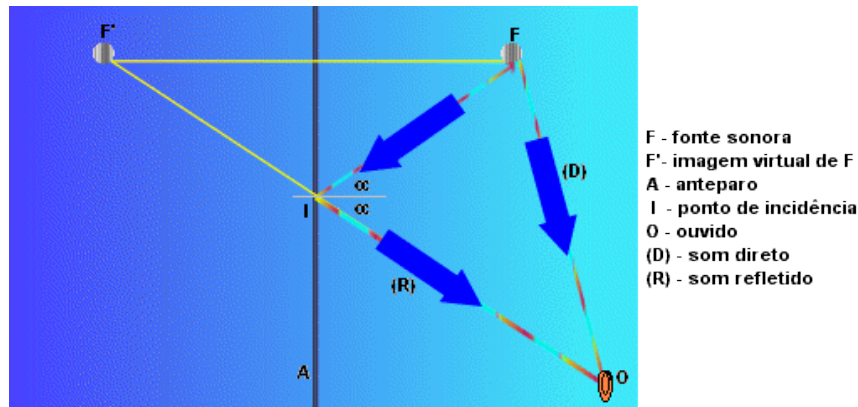
Raramente um eco chega a nosso ouvido em tempo bem distinto do som que o produziu. Quando o som original e o som refletido chegam ao ouvinte quase simultaneamente, ocorre o fenômeno do reforço, comum em pequenos recintos.

O reforço contribui para uma boa qualidade acústica do ambiente, pois permite um prolongamento do som original.

c) Reverberação

Comum nos ambientes amplos e com superfícies lisas, a reverberação é a persistência de som depois de haver cessado sua emissão pela fonte.

A reverberação acontece quando o som original e o refletido chegam ao ouvinte com um intervalo um pouco menor que 0,1s. Para isso, a distância entre o ouvinte e a superfície refletora deve ser menor que 17m, ou seja, menor que a distância exigida para a ocorrência do eco.



5) Difração Sonora

A difração do som possibilita que as ondas sonoras contornem obstáculos com dimensões de até 20m.

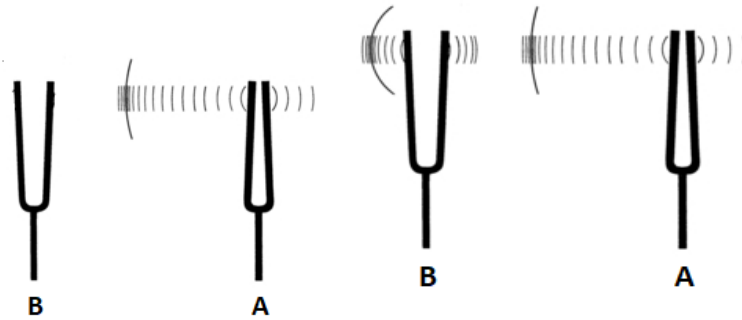
Considerando que a velocidade do som no ar, em determinadas condições, é $v = 340\text{m/s}$, e que o sistema auditivo humano distingue sons de frequência $f_{\min} = 20\text{Hz}$ até $f_{\max} = 20000\text{Hz}$, o comprimento de onda do som no ar pode variar entre:

$$\lambda_{\max} = \frac{v}{f_{\min}} = \frac{340}{20} \rightarrow \lambda_{\max} = 17\text{m}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{v}{f_{\max}} = \frac{340}{20000} \rightarrow \lambda_{\min} = 1,7\text{cm}$$

Na prática considera-se essa vibração entre 2cm e 20m. Assim, a difração das ondas sonoras audíveis no ar é bem perceptível quando os obstáculos a serem contornados têm dimensões dessa ordem de grandeza.

6) Ressonância



Nas figuras, A e B são diapasões idênticos. Batendo-se apenas no diapasão A, observamos que o diapasão B também vibra. Isso ocorre porque B é excitado pelas ondas sonoras provenientes de A, cuja frequência é igual à sua frequência de vibração natural. Esse fenômeno é a ressonância.



O copo foi excitado continuamente por um som bastante intenso e de frequência adequada. Desse modo, ele entrou em ressonância com o som, passando a vibrar cada vez mais intensamente até se estilhaçar.

Vale a pena assistir uma animação desse efeito, basta clicar [aqui!](#) Não é vírus 😊

7) Interferência Sonora

Ocorre quando um ponto do meio recebe dois ou mais sons originados por várias fontes ou por reflexões em obstáculos.

Atenção!

Fontes em *concordância de fase* (ou em fase)

$$-\Delta d = n \frac{\lambda}{2} \text{ (sendo } n = 0, 2, 4, 6 \dots \text{); interferência construtiva.}$$

$$-\Delta d = n \frac{\lambda}{2} \text{ (sendo } n = 1, 3, 5, 7 \dots \text{); interferência destrutiva.}$$

Fontes em *oposição de fase*

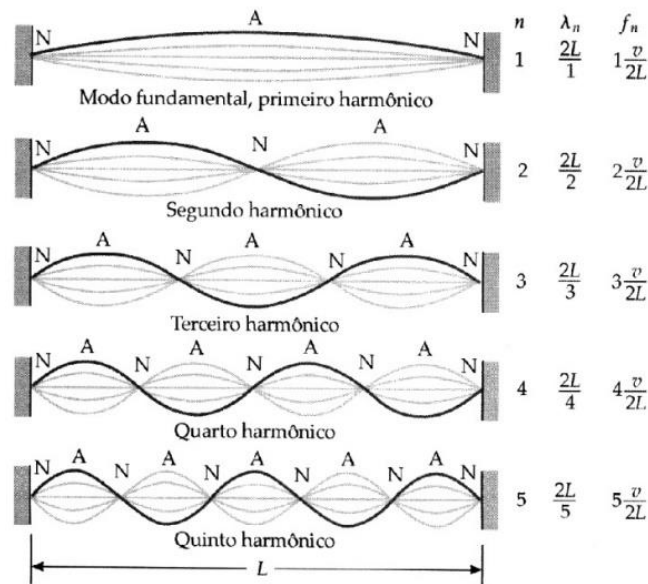
$$-\Delta d = n \frac{\lambda}{2} \text{ (sendo } n = 0, 2, 4, 6 \dots \text{); interferência destrutiva.}$$

$$-\Delta d = n \frac{\lambda}{2} \text{ (sendo } n = 1, 3, 5, 7 \dots \text{); interferência construtiva.}$$

8) Principais Fontes Sonoras

a) Cordas vibrantes

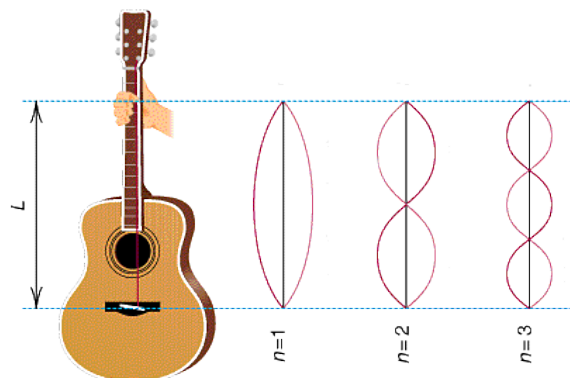
Quando uma corda presa nas extremidades é posta a vibrar ela se torna uma fonte sonora. Nos instrumentos musicais de cordas, como violões e violinos, as cordas em vibração transferem energia para o ar através de ondas, cuja frequência é a mesma da fonte.



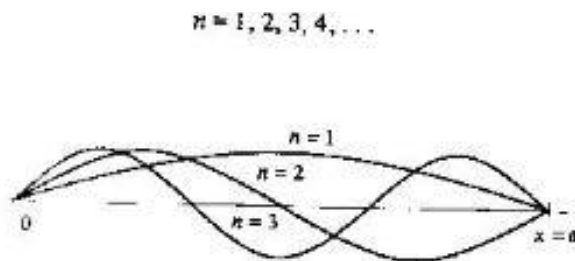
Logo: $\lambda_n = \frac{2L}{n}$ ($n = 1, 2, 3, 4, 5 \dots$), onde n é a ordem do harmônico ou o número de ventres da onda estacionária considerada.

Sendo $v = \lambda f$, temos:

$$v = \frac{2L}{n} f_n \rightarrow f_n = \frac{nv}{2L}$$



Quando uma corda de violão é tangida, ela vibra simultaneamente em diversas frequências, o que caracteriza o timbre do som emitido. A ilustração mostra os modos de vibração correspondentes aos três primeiros harmônicos.



As ondas ficam sobrepostas.

b) Tubos Sonoros

Tubo sonoro é um recipiente que contém ar em seu interior; a extremidade aberta, onde está a fonte de ondas, chama-se embocadura e a extremidade oposta pode ser aberta ou fechada.

Os instrumentos musicais de sopro, como flautas, saxofones e clarinetes, entre outros, fundamentam-se em tubos sonoros.



Trombone



Tuba



Saxofone



Flauta



Oboé



Clarinete



fagote

O fato de a extremidade oposta à embocadura ser aberta ou fechada origina dois tipos de tubos sonoros. São eles:

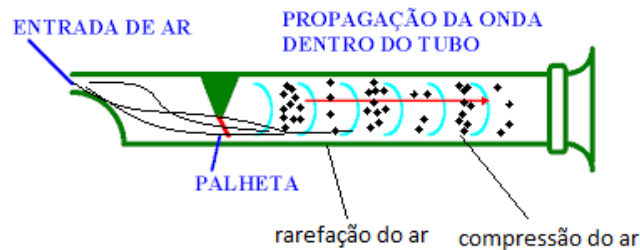
-Tubos sonoros abertos → as duas extremidades são abertas.



-Tubos sonoros fechados → possuem uma extremidade aberta e outra fechada.



O ar é forçado para dentro do tubo sonoro através da embocadura e encontra pela frente um obstáculo que provoca um turbilhão na corrente de ar. Parte desse ar escapa por um orifício e o restante provoca ondas de pressão que são caracterizadas por regiões de concentração e de rarefação de ar, como mostra a figura.

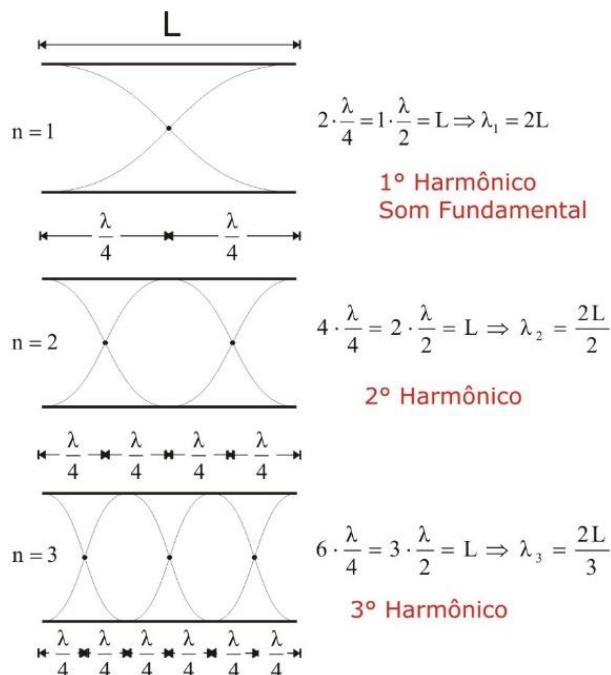


As ondas de pressão na extremidade oposta são refletidas e interferem-se juntamente com as ondas emitidas que caminham em sentido oposto, podendo provocar ondas estacionárias.

Essas ondas estacionárias acontecem quando nas extremidades ocorrer formação de nó ou ventre. Quando a extremidade for fechada, forma-se um nó (extremidade fixa), e quando for aberta a parcela das ondas refletidas na superfície que divide regiões de temperaturas, pressão e concentração diferentes (regiões interna e externa) provoca a formação de ventre.

a) Tubo sonoro aberto

Os tubos abertos possuem suas duas extremidades abertas, e a configuração de onda mais simples desse tubo apresenta um nó.

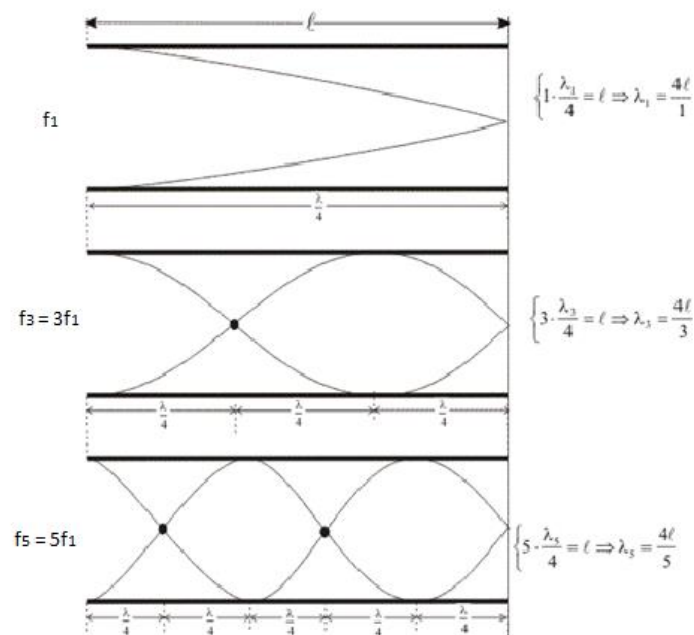


$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad (n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots)$$

$$f_n = \frac{nv}{2L} \quad (n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots)$$

b) Tubo sonoro fechado

Nesses tubos, a extremidade oposta à embocadura é fechada.



$$\lambda_n = \frac{4L}{n} \quad (n = 1, 3, 5, 7, \dots)$$

$$f_n = n \frac{v}{4L} \quad (n = 1, 3, 5, 7, \dots)$$



Órgão de tubos

Cada um dos vários tubos desse órgão de igreja emite um som fundamental diferente, e cada um deles corresponde a uma nota musical distinta. Os tubos maiores emitem os sons mais graves, e os menores, os mais agudos.

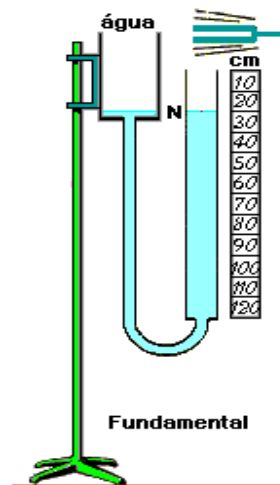
***Obs.1:**

Tubos fechados só emitem harmônicos ímpares.

***Obs.2:**

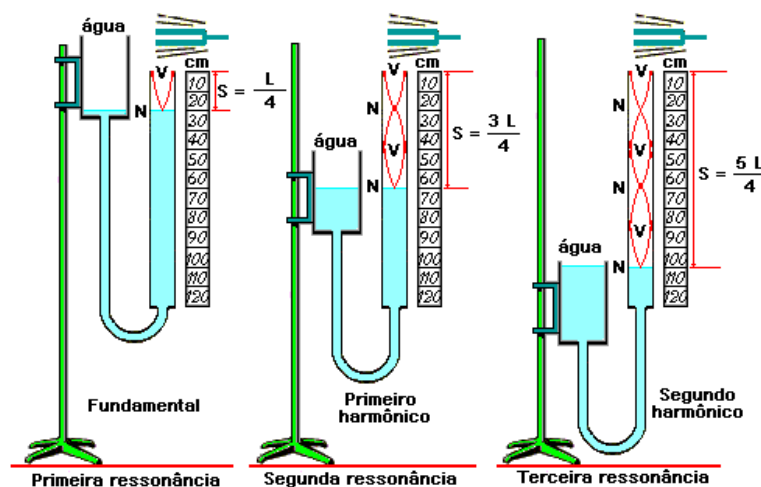
Tubo de ressonância

A necessidade da determinação da velocidade do som fez com que fosse desenvolvido um sistema chamado tubo de ressonância.



Esse dispositivo consiste em um tubo cilíndrico e graduado preenchido por água e com algum dispositivo que permite a diminuição do nível da coluna de água. Acrescenta-se ao dispositivo uma fonte sonora, que pode ser um diapasão, como mostra a figura.

Com a fonte sonora ligada e a variação da coluna de água por meio do escoamento da água para o reservatório, observa-se que a onda sonora emitida pela fonte interfere juntamente com a onda refletida na superfície da água. Caso as ondas resultantes que se encaixam no comprimento da coluna de ar formem um nó na superfície da água e um ventre na abertura do tubo, elas determinarão ondas estacionárias.

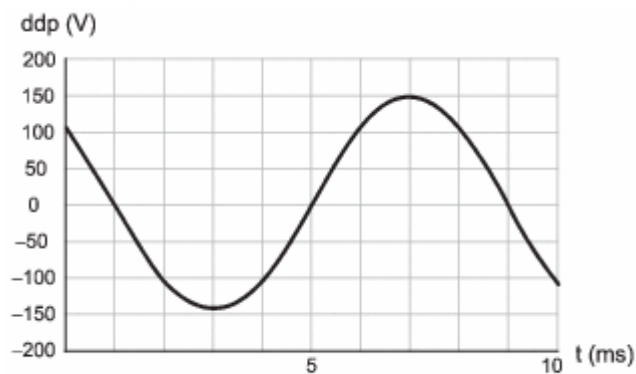


Quando ocorrem as ondas estacionárias, o ar no tubo entra em ressonância com a fonte de ondas e o experimentador próximo ouve um reforço no som emitido pela fonte.

Conhecendo-se a frequência da fonte sonora e medindo-se as colunas de ar no interior do tubo no qual ocorrem ressonâncias, podemos calcular a velocidade do som por meio da equação fundamental da ondulatória.

Exercícios

1. (Enem PPL 2017) O osciloscópio é um instrumento que permite observar uma diferença de potencial (ddp) em um circuito elétrico em função de tempo ou em função de outra ddp. A leitura do sinal é feita em uma tela sob a forma de um gráfico tensão \times tempo.

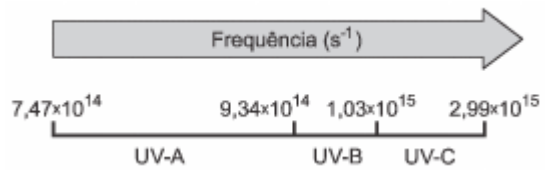


BOMFIM, M. Disponível em: www.ufpr.br. Acesso em: 14 ago. 2012 (adaptado).

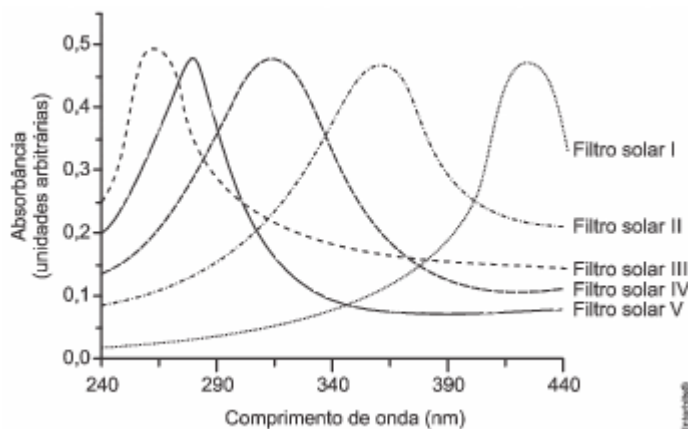
A frequência de oscilação do circuito elétrico estudado é mais próxima de

- a) 300 Hz.
- b) 250 Hz.
- c) 200 Hz.
- d) 150 Hz.
- e) 125 Hz.

2. (Enem 2015) A radiação ultravioleta (UV) é dividida, de acordo com três faixas de frequência, em UV-A, UV-B e UV-C, conforme a figura.



Para selecionar um filtro solar que apresente absorção máxima na faixa UV-B, uma pessoa analisou os espectros de absorção da radiação UV de cinco filtros solares:



Considere: velocidade da luz = $3,0 \times 10^8$ m/s e $1 \text{ nm} = 1,0 \times 10^{-9}$ m.

O filtro solar que a pessoa deve selecionar é o

- a) V.
 - b) IV.
 - c) III.
 - d) II.
 - e) I.
3. (Enem 2ª aplicação 2016) As notas musicais podem ser agrupadas de modo a formar um conjunto. Esse conjunto pode formar uma escala musical. Dentre as diversas escalas existentes, a mais difundida é a escala diatônica, que utiliza as notas denominadas dó, ré, mi, fá, sol, lá e si. Essas notas estão organizadas em ordem crescente de alturas, sendo a nota dó a mais baixa e a nota si a mais alta.
- Considerando uma mesma oitava, a nota si é a que tem menor
- a) amplitude.
 - b) frequência.
 - c) velocidade.
 - d) intensidade.
 - e) comprimento de onda.

4. (Enem PPL 2016) Em mídias ópticas como CDs, DVDs e blue-rays, a informação é representada na forma de bits (zeros e uns) e é fisicamente gravada e lida por feixes de luz laser. Para gravar um valor “zero”, o laser brilha intensamente, de modo a “queimar” (tornar opaca) uma pequena área do disco, de tamanho comparável a seu comprimento de onda. Ao longo dos anos, as empresas de tecnologia vêm conseguindo aumentar a capacidade de armazenamento de dados em cada disco; em outras palavras, a área usada para se representar um bit vem se tornando cada vez mais reduzida.

Qual alteração da onda eletromagnética que constitui o laser permite o avanço tecnológico citado no texto?

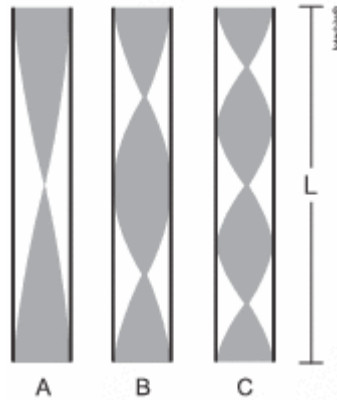
- a) A diminuição de sua energia.
 - b) O aumento de sua frequência.
 - c) A diminuição de sua amplitude.
 - d) O aumento de sua intensidade.
 - e) A diminuição de sua velocidade.
5. (Enem PPL 2016) Em 26 de dezembro de 2004, um tsunami devastador, originado a partir de um terremoto na costa da Indonésia, atingiu diversos países da Ásia, matando quase 300 mil pessoas. O grau de devastação deveu-se, em boa parte, ao fato de as ondas de um tsunami serem extremamente longas, com comprimento de onda de cerca de 200 km. Isto é muito maior que a espessura da lâmina de líquido, d , típica do Oceano Índico, que é de cerca de 4 km. Nessas condições, com boa aproximação, a sua velocidade de propagação toma-se dependente de d , obedecendo à relação $v = \sqrt{gd}$. Nessa expressão, g é a aceleração da gravidade, que pode ser tomada como 10 m/s^2 .

SILVEIRA, F. L.; VARRIALE, M. C. Propagação das ondas marítimas e dos tsunamis. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, n. 2, 2005 (adaptado).

Sabendo-se que o tsunami consiste em uma série de ondas sucessivas, qual é o valor mais próximo do intervalo de tempo entre duas ondas consecutivas?

- a) 1 min
- b) 3,6 min
- c) 17 min
- d) 60 min
- e) 216 min

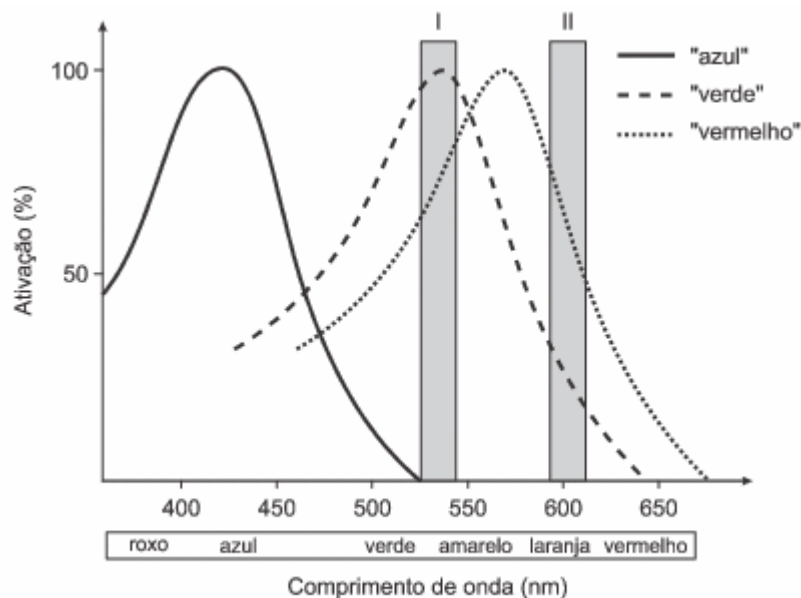
6. (Enem PPL 2015) Em uma flauta, as notas musicais possuem frequência e comprimento de onda (λ) muito bem definidos. As figuras mostram esquematicamente um tubo de comprimento L , que representa de forma simplificada uma flauta, em que estão representados em A o primeiro harmônico de uma nota musical (comprimento de onda λ_A), em B seu segundo harmônico (comprimento de onda λ_B) e em C o seu terceiro harmônico (comprimento de onda λ_C), onde $\lambda_A > \lambda_B > \lambda_C$.



Em função do comprimento do tubo, qual o comprimento de onda da oscilação que forma o próximo harmônico?

- a) $L/4$
 - b) $L/5$
 - c) $L/2$
 - d) $L/8$
 - e) $6L/8$
7. (Enem PPL 2013) Em um violão afinado, quando se toca a corda Lá com seu comprimento efetivo (harmônico fundamental), o som produzido tem frequência de 440 Hz. Se a mesma corda do violão é comprimida na metade do seu comprimento, a frequência do novo harmônico
- a) se reduz à metade, porque o comprimento de onda dobrou.
 - b) dobra, porque o comprimento de onda foi reduzido à metade.
 - c) quadruplica, porque o comprimento de onda foi reduzido à metade.
 - d) quadruplica, porque o comprimento de onda foi reduzido à quarta parte.
 - e) não se modifica, porque é uma característica independente do comprimento da corda que vibra.

8. (Enem 2018) Muitos primatas, incluindo nós humanos, possuem visão tricromática: têm três pigmentos visuais na retina sensíveis à luz de uma determinada faixa de comprimentos de onda. Informalmente, embora os pigmentos em si não possuam cor, estes são conhecidos como pigmentos “azul”, “verde” e “vermelho” e estão associados à cor que causa grande excitação (ativação). A sensação que temos ao observar um objeto colorido decorre da ativação relativa dos três pigmentos. Ou seja, se estimulássemos a retina com uma luz na faixa de 530 nm (retângulo I no gráfico), não excitaríamos o pigmento “azul”, o pigmento “verde” seria ativado ao máximo e o “vermelho” seria ativado em aproximadamente 75%, e isso nos daria a sensação de ver uma cor amarelada. Já uma luz na faixa de comprimento de onda de 600 nm (retângulo II) estimularia o pigmento “verde” um pouco e o “vermelho” em cerca de 75%, e isso nos daria a sensação de ver laranja-avermelhado. No entanto, há características genéticas presentes em alguns indivíduos, conhecidas coletivamente como Daltonismo, em que um ou mais pigmentos não funcionam perfeitamente.

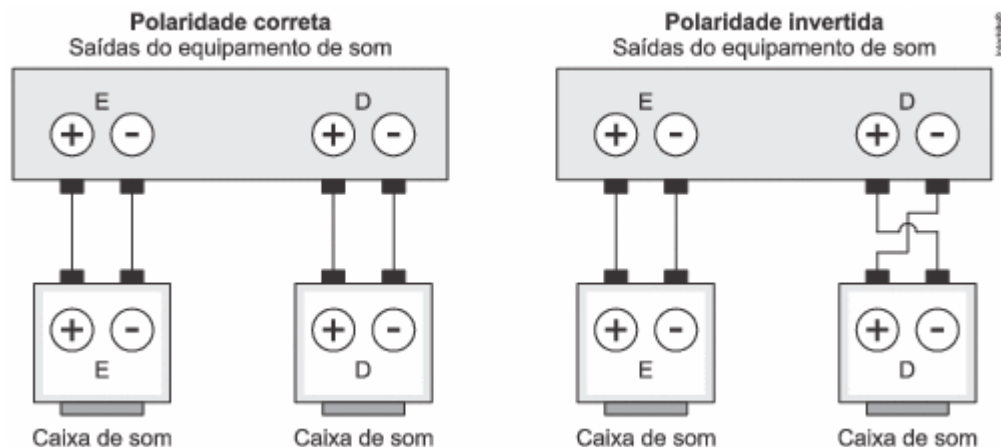


Disponível em: www.comprehensivephysiology.com. Acesso em: 3 ago. 2012 (adaptado).

Caso estimulássemos a retina de um indivíduo com essa característica, que não possuísse o pigmento conhecido como “verde”, com as luzes de 530 nm e 600 nm na mesma intensidade luminosa, esse indivíduo seria incapaz de

- a) identificar o comprimento de onda do amarelo, uma vez que não possui o pigmento “verde”.
- b) ver o estímulo de comprimento de onda laranja, pois não haveria estimulação de um pigmento visual.
- c) detectar ambos os comprimentos de onda, uma vez que a estimulação dos pigmentos estaria prejudicada.
- d) visualizar o estímulo do comprimento de onda roxo, já que este se encontra na outra ponta do espectro.
- e) distinguir os dois comprimentos de onda, pois ambos estimulam o pigmento “vermelho” na mesma intensidade.

9. (Enem 2018) Nos manuais de instalação de equipamentos de som há o alerta aos usuários para que observem a correta polaridade dos fios ao realizarem as conexões das caixas de som. As figuras ilustram o esquema de conexão das caixas de som de um equipamento de som mono, no qual os alto-falantes emitem as mesmas ondas. No primeiro caso, a ligação obedece às especificações do fabricante e no segundo mostra uma ligação na qual a polaridade está invertida.



O que ocorre com os alto-falantes E e D se forem conectados de acordo com o segundo esquema?

- O alto-falante E funciona normalmente e o D entra em curto-circuito e não emite som.
 - O alto-falante E emite ondas sonoras com frequências ligeiramente diferentes do alto-falante D provocando o fenômeno de batimento.
 - O alto-falante E emite ondas sonoras com frequências e fases diferentes do alto-falante D provocando o fenômeno conhecido como ruído.
 - O alto-falante E emite ondas sonoras que apresentam um lapso de tempo em relação às emitidas pelo alto-falante D provocando o fenômeno de reverberação.
 - O alto-falante E emite ondas sonoras em oposição de fase às emitidas pelo alto-falante D provocando o fenômeno de interferência destrutiva nos pontos equidistantes aos alto-falantes.
10. (Enem PPL 2018) Alguns modelos mais modernos de fones de ouvido contam com uma fonte de energia elétrica para poderem funcionar. Esses novos fones têm um recurso, denominado "Cancelador de Ruídos Ativo", constituído de um circuito eletrônico que gera um sinal sonoro semelhante ao sinal externo de frequência fixa. No entanto, para que o cancelamento seja realizado, o sinal sonoro produzido pelo circuito precisa apresentar simultaneamente características específicas bem determinadas. Quais são as características do sinal gerado pelo circuito desse tipo de fone de ouvido?
- Sinal com mesma amplitude, mesma frequência e diferença de fase igual a 90° em relação ao sinal externo.
 - Sinal com mesma amplitude, mesma frequência e diferença de fase igual a 180° em relação ao sinal externo.
 - Sinal com mesma amplitude, mesma frequência e diferença de fase igual a 45° em relação ao sinal externo.
 - Sinal de amplitude maior, mesma frequência e diferença de fase igual a 90° em relação ao sinal externo.
 - Sinal com mesma amplitude, mesma frequência e mesma fase do sinal externo.

Gabarito

1. E

Se medimos a distância horizontal entre um mínimo (3 ms) e um máximo (7 ms) no gráfico, teremos metade do período. Sendo assim:

$$\frac{T}{2} = 7 - 3 \Rightarrow T = 8 \text{ ms}$$

Portanto, a frequência de oscilação do circuito é de:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8 \cdot 10^{-3}}$$

$$\therefore f = 125 \text{ Hz}$$

2. B

Usando a equação fundamental da ondulatória, calculamos os comprimentos de ondas mínimo e máximo para a faixa UV-B.

$$c = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow \begin{cases} \lambda_{\text{mín}} = \frac{c}{f_{\text{máx}}} = \frac{3 \times 10^8}{1,03 \times 10^{15}} = 291 \times 10^{-9} \Rightarrow \lambda_{\text{mín}} = 291 \text{ nm} \\ \lambda_{\text{máx}} = \frac{c}{f_{\text{mín}}} = \frac{3 \times 10^8}{9,34 \times 10^{14}} = 321 \times 10^{-9} \Rightarrow \lambda_{\text{máx}} = 321 \text{ nm} \end{cases}$$

Assim: $(291 < \lambda_{\text{UV-B}} < 321) \text{ nm}$.

Nessa faixa, a curva de maior absorção corresponde ao filtro IV.

3. E

Da equação fundamental da ondulatória:

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

A nota mais alta (mais aguda) é a de maior frequência, portanto, a de **menor comprimento de onda**.

4. B

Como o tamanho da área queimada é comparável ao comprimento de onda do *laser*, segue que esta deve ser diminuída para se aumentar a capacidade de armazenamento.

Pela equação da onda de luz:

$$c = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$$

Portanto, para se atingir o objetivo, deve-se aumentar a sua frequência.

5. C

Determinação do período a partir da equação de onda:

$$v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow T = \frac{\lambda}{v} = \frac{\lambda}{\sqrt{gd}} = \frac{200 \cdot 10^3}{\sqrt{10 \cdot 4 \cdot 10^3}} = \frac{2 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^2}$$

$$\therefore T = 1000 \text{ s} = 17 \text{ min}$$

6. C

O próximo é o 4º harmônico. No caso a flauta comporta-se como um tubo aberto, sendo a ordem do harmônico ($n = 4$) igual a do número de fusos. Se o comprimento de um fuso é igual ao de meio comprimento de onda, tem-se:

$$4 \frac{\lambda}{2} = L \Rightarrow \boxed{\lambda = \frac{L}{2}}$$

7. B

O comprimento de onda (λ_1) e a frequência (f_1) do 1º harmônico de uma corda fixa nas duas extremidades são:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 = \frac{v}{\lambda_1} \\ \lambda_1 = 2L \end{array} \right\} \Rightarrow f_1 = \frac{v}{2L}$$

Como a velocidade é constante, não dependendo da ordem do harmônico, se o comprimento da corda é reduzido à metade, o comprimento de onda também se reduz à metade, dobrando a frequência do harmônico fundamental.

8. E

Caso o indivíduo não possuísse o pigmento “verde”, os comprimentos de onda relativos aos retângulos I e II da figura (referentes aos comprimentos de onda de 530 nm e 600 nm respectivamente) estimulariam apenas o pigmento “vermelho” e com praticamente a mesma porcentagem de ativação, o que resultaria numa incapacidade de distinguir ambos os comprimentos de onda.

9. E

Com a inversão da polaridade da caixa de som D, as ondas passam a ser emitidas em oposição de fase, o que causa uma interferência destrutiva em pontos equidistantes dos alto-falantes.

10. B

Para que o cancelamento seja realizado tem que haver interferência destrutiva. Para tal, os pulsos têm que ter mesma amplitude, mesma frequência e estar em oposição de fases, ou seja, defasados de 180° .