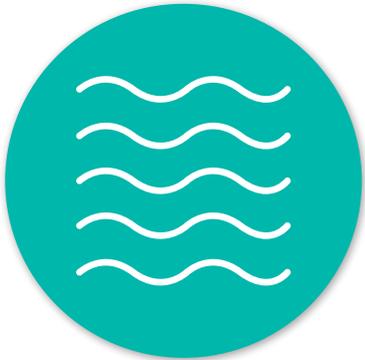




# ONDULATÓRIA



EXERCÍCIOS APROFUNDADOS 2020 - 2022



# ONDULATÓRIA

Saiba o que são ondas, como elas são classificadas, os principais fenômenos ondulatórios e veja tópicos de acústica, onde o som é o protagonista.

**Esta subárea é composta pelos módulos:**

- 1. Exercícios Aprofundados: Estudo das Ondas e Equação Fundamental da Ondulatória**
- 2. Exercícios Aprofundados: Ondas Estacionárias**



# ESTUDO DAS ONDAS E EQUAÇÃO FUNDAMENTAL DA ONDULATÓRIA

1. (Fac. Albert Einstein - Medicina 2017)  
Ecos do Corpo Humano



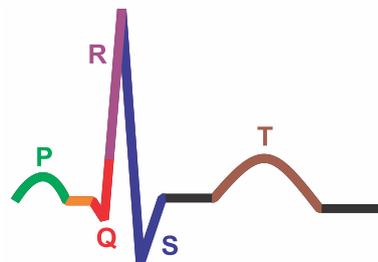
A imagem ultrassonográfica é um método de visualização da anatomia, que mostra na tela do monitor os reflexos das ondas sonoras de alta frequência. As imagens de ultrassom de diagnóstico são obtidas com um risco mínimo para o paciente, especialmente quando comparadas com outras técnicas de imagem. Uma imagem ultrassonográfica é composta de um grande número de linhas informativas de eco que são geradas uma a uma em rápida sucessão. Um pulso de energia ultrassonográfica é transmitido no corpo ao longo do eixo de cada linha do transdutor. Os ecos são criados quando a onda encontra um tecido de diferente impedância acústica. O ultrassom vai do transdutor até o alvo e então o eco retorna ao transdutor novamente.

O eco também tem sua frequência alterada; medindo as diferenças entre as frequências da transmissão do pulso e do eco, pode-se determinar a velocidade do sangue, por exemplo, entre outras informações. O tempo entre a transmissão inicial do pulso e o recebimento do eco pelo transdutor é de aproximadamente 13 microssegundos para o som percorrer

um alvo que tem 1 cm de profundidade.

Os algoritmos de medição e processamento de imagens de ultrassom de diagnóstico assumem que a velocidade do som no tecido corporal é praticamente constante. Tipos diferentes de tecido corporal têm diferentes velocidades do som. No tecido mole há um erro de aproximadamente 2%; este pode ser de até 5%, especialmente se houver tecido gorduroso na área da imagem que está sendo medida.

O aparelho mostrado na figura segue padrões modernos e, como tal, apresenta mais de uma função, pois, além de trabalhar com ultrassonografia, também permite calcular a Frequência Cardíaca (FC) em um eletrocardiograma (ECG), o que é de grande importância diagnóstica. Determinar uma taquicardia ou uma bradicardia pode trazer suspeitas sobre certas patologias e sua gravidade. A maneira mais fácil de calcular a FC é observar o valor da análise automática do ECG. As ondas de um eletrocardiograma normal são denominadas P, Q, R, S, T nessa ordem e são ligadas entre si por uma linha isométrica.



O papel de ECG é um papel milimetrado, onde cada quadrado pequeno mede 1mm. Cada 5 quadrados pequenos são demarcados por uma linha mais grossa



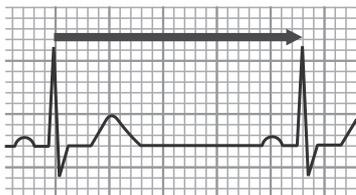
que define um quadrado grande de 5 mm. O eixo vertical mede a amplitude da corrente elétrica e como regra geral, 10 mm de altura é igual a 1mV. O eixo horizontal mede o tempo.

Em um ECG padrão, o papel tem uma velocidade de 25 mm/s, portanto 1 mm horizontal equivale a 0,04 s e um quadrado grande é equivalente a 0,20 s.

Em um ECG normal, em cada segundo, existem cinco quadrados grandes, e em um minuto, 300 quadrados grandes, o que torna esse número, 300, um número mágico para a Frequência Cardíaca.

[http://www4.anvisa.gov.br/base/visadoc/REL/REL\[8125-2-2\].PDF](http://www4.anvisa.gov.br/base/visadoc/REL/REL[8125-2-2].PDF) (Adaptado)

Conforme a figura abaixo, considere que, de uma onda R (batimento zero) até a próxima onda R (batimento 1), o ECG é de uma pessoa com FC de aproximadamente 65 bpm.



a. Determine, em cm, a profundidade máxima aproximada obtida por um pulso ultrassônico em um tecido (alvo), cujo tempo desde sua emissão até o retorno de seu eco ao transdutor seja igual a  $130\mu\text{s}$ .

b. Calcule a Frequência Cardíaca (FC) de um paciente cujo ECG está indicado abaixo.



---

---

---

---

---

---

---

2. (EBMSP 2017) No exame de ultrassom, um breve pulso sonoro é emitido por um transdutor constituído por um cristal piezoelétrico. Nesse cristal, um pulso elétrico provoca uma deformação mecânica na sua estrutura, que passa a vibrar, originando uma onda sonora – de modo análogo a um alto-falante. O pulso de ultrassom enviado através do corpo é parcialmente refletido nas diferentes estruturas do corpo, diferenciando tumores, tecidos anômalos e bolsas contendo fluidos. O pulso é detectado de volta pelo mesmo transdutor, que transforma a onda sonora em um pulso elétrico, visualizado em um monitor de vídeo.

PENTEADO, Paulo César Martins, Física: Conceitos e Aplicações; volume 2. São Paulo: Moderna, 1998, p. 434.

Sabendo que a velocidade de propagação das ondas de ultrassom nos tecidos humanos é de 1.540 m/s e que pode ser detectada uma estrutura de dimensão igual a 1,5 mm, determine a frequência do pulso elétrico utilizado na formação da imagem no monitor de vídeo.

---

---

---

---

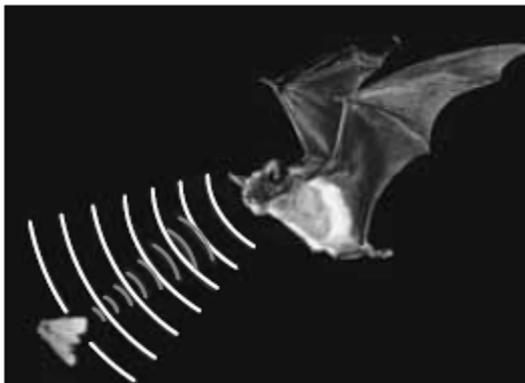
---

---

3. (UNESP 2015) Em ambientes sem claridade, os morcegos utilizam a ecolocalização para caçar insetos ou localizar obstáculos. Eles emitem ondas de ultrassom que, ao atingirem um objeto, são refletidas de volta e permitem estimar as dimensões desse objeto e a que distância se encontra. Um morcego pode



detectar corpos muito pequenos, cujo tamanho seja próximo ao do comprimento de onda do ultrassom emitido.



(<http://oreinodosbichos.blogspot.com.br>. Adaptado.)

Suponha que um morcego, parado na entrada de uma caverna, emita ondas de ultrassom na frequência de 60 kHz, que se propagam para o interior desse ambiente com velocidade de 340 m/s. Estime o comprimento, em mm, do menor inseto que esse morcego pode detectar e, em seguida, calcule o comprimento dessa caverna, em metros, sabendo que as ondas refletidas na parede do fundo do salão da caverna são detectadas pelo morcego 0,2s depois de sua emissão.

---

---

---

---

---

---

4. (UERJ 2014) Considere uma onda sonora que se propaga na atmosfera com frequência igual a 10 Hz e velocidade igual a 340 m/s. Determine a menor distância entre dois pontos da atmosfera nos quais, ao longo da direção de propagação, a amplitude da onda seja máxima.

---

---

---

---

---

---

5. (UERJ 2013) Vulcões submarinos são fontes de ondas acústicas que se propagam no mar com frequências baixas, da ordem de 7,0 Hz, e comprimentos de onda da ordem de 220 m.

Utilizando esses valores, calcule a velocidade de propagação dessas ondas.

---

---

---

---

### TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Dados:

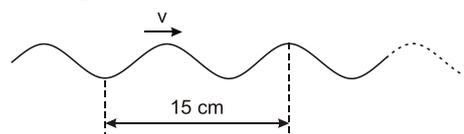
Aceleração da gravidade: 10 m/s<sup>2</sup>.

Densidade do mercúrio: 13,6 g/cm<sup>3</sup>.

Pressão atmosférica: 1,0.10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>.

Constante eletrostática:  $k_0 = 1/4 \pi \epsilon_0 = 9,0.10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ .

6. (UFPE 2012) Na figura abaixo, mostra-se uma onda mecânica se propagando em um elástico submetido a uma certa tensão, na horizontal. A frequência da onda é  $f = 740 \text{ Hz}$ . Calcule a velocidade de propagação da onda, em m/s.



---

---

---

---



7. (UERJ 2011) A sirene de uma fábrica produz sons com frequência igual a 2640 Hz.

Determine o comprimento de onda do som produzido pela sirene em um dia cuja velocidade de propagação das ondas sonoras no ar seja igual a 1188 km/h.

---

---

---

---

---

8. (UFBA 2011) A maioria dos morcegos possui ecolocalização — um sistema de orientação e localização que os humanos não possuem. Para detectar a presença de presas ou de obstáculos, eles emitem ondas ultrassônicas que, ao atingirem o obstáculo, retornam na forma de eco, percebido por eles. Assim sendo, ao detectarem a direção do eco e o tempo que demora em retornar, os morcegos conseguem localizar eventuais obstáculos ou presas.

Um dispositivo inspirado nessa estratégia é a trena sônica, a qual emite uma onda sonora que é refletida por um obstáculo situado a uma distância que se deseja medir.

Supondo que uma trena emite uma onda ultrassônica com frequência igual a 22,0 kHz e comprimento de onda igual a 1,5 cm, que essa onda é refletida em um obstáculo e que o seu eco é detectado 0,4 s após sua emissão, determine a distância do obstáculo, considerando que as propriedades do ar não mudam durante a propagação da onda e, portanto, a velocidade do som permanece constante.

---

---

---

---

9. (UFRJ 2011) Um brinquedo muito divertido é o telefone de latas. Ele é feito com duas latas abertas e um barbante que tem suas extremidades presas às bases das latas. Para utilizá-lo, é necessário que uma pessoa fale na “boca” de uma das latas e uma outra pessoa ponha seu ouvido na “boca” da outra lata, mantendo os fios esticados.

Como no caso do telefone comum, também existe um comprimento de onda máximo em que o telefone de latas transmite bem a onda sonora.



Sabendo que para um certo telefone de latas o comprimento de onda máximo é 50 cm e que a velocidade do som no ar é igual a 340 m/s, calcule a frequência mínima das ondas sonoras que são bem transmitidas pelo telefone.

---

---

---

---

---

10. (UFRJ 2010) Antenas de transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas operam eficientemente quando têm um comprimento igual à metade do comprimento de onda da onda transmitida ou recebida.

Usando esse fato e o valor  $c = 3,0 \times 10^8$  m/s para a velocidade da luz, calcule o valor que deve ter o comprimento da antena de um telefone celular que opera eficientemente com ondas de frequência igual a  $1,5 \times 10^9$  Hz.



---

---

---

---

---

---

**11.** (UFOP 2010) Uma criança está brincando com um xilofone ao lado de uma piscina. Num dado instante, com uma baqueta, ela bate em uma das varetas metálicas do instrumento musical, produzindo, assim, uma nota musical de frequência 160 Hz. Considerando que a velocidade do som é de 340 m/s no ar e de 1450 m/s na água, determine:

- a. o comprimento de onda desse som no ar;
- b. a frequência desse som ao atingir o ouvido do pai da criança, que está totalmente submerso na piscina;
- c. o comprimento de onda desse som na água.

---

---

---

---

---

---

**12.** (UERJ 2009) É possível investigar a estrutura de um objeto com o uso da radiação eletromagnética. Para isso, no entanto, é necessário que o comprimento de onda dessa radiação seja da mesma ordem de grandeza das dimensões do objeto a ser investigado.

Os raios laser são um tipo específico de radiação eletromagnética, cujas frequências se situam entre  $4,6 \times 10^{14}$  hertz e  $6,7 \times 10^{14}$  hertz.

Considerando esses dados, demonstre por que não é possível utilizar fontes

de laser para investigar o interior de um núcleo atômico esférico que tem um raio da ordem de  $10^{-15}$ m.

---

---

---

---

---

---

**13.** (UERJ 2008) Uma onda harmônica propaga-se em uma corda longa de densidade constante com velocidade igual a 400 m/s. A figura a seguir mostra, em um dado instante, o perfil da corda ao longo da direção x.



Calcule a frequência dessa onda

---

---

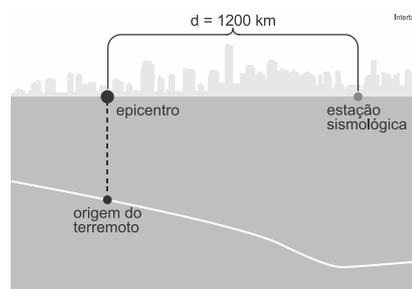
---

---

---

---

**14.** (UERJ 2017) Sabe-se que, durante abalos sísmicos, a energia produzida se propaga em forma de ondas, em todas as direções pelo interior da Terra. Considere a ilustração a seguir, que representa a distância de 1.200 km entre o epicentro de um terremoto e uma estação sismológica.



Nesse evento, duas ondas, P e S, propagaram-se com velocidades de 8 km/s e 5 km/s, respectivamente, no percurso entre o epicentro e a estação.



Estime, em segundos, a diferença de tempo entre a chegada da onda P e a da onda S à estação sismológica.

---

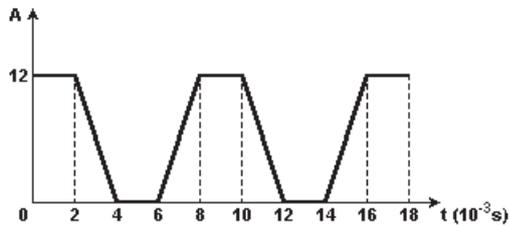
---

---

---

15. (UFU 2006) Considere o gráfico adiante, que representa a grandeza A em função do tempo t (em unidades de  $10^{-3}$ s).

- a. Se a grandeza A representar a amplitude de uma onda sonora, determine sua frequência.
- b. Se a grandeza A representar o módulo da quantidade de movimento (em kg.m/s) de um corpo de massa  $m = 3$  kg, determine a variação da energia cinética desse corpo entre os instantes  $t = 0$ s e  $t = 6 \times 10^{-3}$ s.

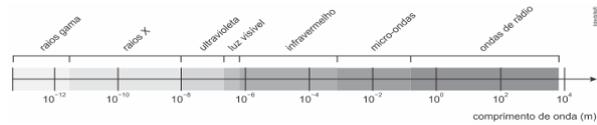


---

---

---

16. (UERJ 2018) Em uma antena de transmissão, elétrons vibram a uma frequência de  $3 \times 10^6$  Hz. Essa taxa produz uma combinação de campos elétricos e magnéticos variáveis que se propagam como ondas à velocidade da luz. No diagrama abaixo, estão relacionados tipos de onda e seus respectivos comprimentos.



Com base nessas informações, identifique o tipo de onda que está sendo transmitida pela antena na frequência mencionada, justificando sua resposta a partir dos cálculos.

Dado: velocidade da luz no ar:  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

---

---

---

---

ANOTAÇÕES

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



# GABARITO



**1.** [Resposta do ponto de vista da disciplina de Física]

a. Teremos:

$$13 \cdot 10^{-6} \text{ s} \text{ — } 1 \text{ cm}$$

$$130 \cdot 10^{-6} \text{ s} \text{ — } x$$

$$x = 10 \text{ cm}$$

b. O ECG mostra que cada batimento possui correspondência com 5 quadrados grandes, e 1 min corresponde a 300 quadrados grandes. Logo, a frequência será:

$$f = \frac{300}{5} \Rightarrow f = 60 \text{ bpm.}$$

[Resposta do ponto de vista da disciplina de Matemática]

a. Se o tempo entre a transmissão inicial do pulso e o recebimento do eco pelo transdutor é de aproximadamente 13 microssegundos para o som percorrer um alvo que tem 1 cm de profundidade, então a profundidade máxima aproximada obtida por um pulso em um tecido, cujo tempo de ida e volta seja igual a 130 microssegundos é  $130/13 = 10 \text{ cm}$ .

b. Do ECG sabemos que a cada batimento correspondem cinco quadrados grandes. Desse modo, como cada minuto corresponde a trezentos quadrados grandes, segue que o resultado é

$$\frac{300}{5} = 60 \text{ bpm.}$$

**2.**

$$v = \lambda f$$

$$1540 = 1,5 \cdot 10^{-3} f$$

$$f = \frac{1540}{1,5 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow f = \frac{1,54 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow f = 1,02 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$f = 1,02 \text{ MHz}$$

**3.** Dados:  $v = 340 \text{ m/s}$ ;  $f = 60 \text{ kHz} = 60 \times 10^3 \text{ Hz}$ ;  $\Delta t = 2 \text{ s}$ .

O comprimento do inseto (L) é próximo ao comprimento de onda ( $\lambda$ ).

$$L \cong \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{60 \times 10^3} \Rightarrow L \cong 5,7 \times 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow \boxed{L \cong 5,7 \text{ mm.}}$$

O comprimento (d) da caverna é igual à metade da distância percorrida pela onda em 0,2 s.

$$d = \frac{v \Delta t}{2} = \frac{340 \times 0,2}{2} \Rightarrow \boxed{d = 34 \text{ m.}}$$

**4.** A menor distância (d) entre dois pontos de amplitude máxima é o próprio comprimento de onda ( $\lambda$ ). Da equação fundamental da ondulatória:

$$d = \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{10} \Rightarrow d = 34 \text{ m.}$$

**5.**  $v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = 220,7$

$$\therefore \boxed{v = 1540 \text{ m/s}}$$

**6.** Da figura, temos:

$$\lambda = \frac{2}{3} \text{ de } 15 \text{ cm}$$

$$\lambda = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

Da equação fundamental da ondulatória:

$$V = \lambda f \rightarrow V = 0,1740$$

$$V = 74 \text{ m/s.}$$

**7.** Dados:  $v = 1.188 \text{ km/h} = 330 \text{ m/s}$ ;  $f = 2.640 \text{ Hz}$ .

Da equação fundamental da ondulatória:

$$v = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{330}{2.640} \Rightarrow \lambda = 0,125 \text{ m.}$$

**8.** Dados:  $f = 22,0 \text{ kHz} = 22 \times 10^3 \text{ Hz}$ ;  $\lambda = 1,5 \text{ cm} = 1,5 \times 10^{-2} \text{ m}$ ;  $\Delta t = 0,4 \text{ s}$ .

Da equação fundamental da ondulatória:

$$v = \lambda f = 1,5 \times 10^{-2} \times 22 \times 10^3 \rightarrow v = 330 \text{ m/s}$$

O intervalo de tempo dado é o de ida e volta do sinal sonoro, portanto a distância percorrida é duas vezes a distância (d) da trena até o obstáculo. Assim:

$$2 d = v \Delta t \Rightarrow d = \frac{330 \times 0,4}{2} \Rightarrow$$

$$d = 66 \text{ m.}$$

**9.** Dados:  $v = 340 \text{ m/s}$ ;  $\lambda = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$ .

Da equação fundamental da ondulatória:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0,5} \Rightarrow f = 680 \text{ Hz.}$$



**10.** Dados:  $c = 3 \times 10^8$  m/s;  $f = 1,5 \times 10^9$  Hz.

Equação fundamental da ondulatória:

$$c = \lambda f \Rightarrow$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{3 \times 10^8}{1,5 \times 10^9} \Rightarrow \lambda = 0,2 \text{ m.}$$

Seja L o comprimento da antena:

$$L = \frac{\lambda}{2} = \frac{0,2}{2} \Rightarrow$$

$$L = 0,10 \text{ m.}$$

**11. a.** Dados:  $v_{ar} = 340$  m/s;  $f = 160$  Hz.

Da equação fundamental da ondulatória:

$$v_{ar} = \lambda_{ar} f \Rightarrow$$

$$\lambda_{ar} = \frac{v_{ar}}{f} = \frac{340}{160}$$

$$\Rightarrow \lambda_{ar} \cong 2,1 \text{ m.}$$

**b.** Quando uma onda sofre refração, sua frequência não se altera. Assim:

$$f_{ar} = f = 160 \text{ Hz.}$$

**c.** Dado:  $v_{ag} = 1450$  m/s.

$$\lambda_{ag} = \frac{v_{ag}}{f} = \frac{1.450}{160}$$

$$\Rightarrow \lambda_{ag} \cong 9,1 \text{ m.}$$

**12.** Pela equação fundamental da ondulatória  $v = \lambda.f$  e considerando que a velocidade da onda é a velocidade da luz  $c$ , temos que  $c = \lambda.f \rightarrow \lambda = c/f$ .

Levando em consideração os limites de frequência do laser:

$$\lambda = (3 \times 10^8) / (4,6 \times 10^{14}) = 0,65 \times 10^{-6} \text{ m} = 6,5 \times 10^{-7} \text{ m.}$$

$$\lambda = (3 \times 10^8) / (6,7 \times 10^{14}) = 0,45 \times 10^{-6} \text{ m} = 4,5 \times 10^{-7} \text{ m.}$$

Isto significa que o laser pode investigar estruturas da ordem de grandeza de  $10^{-7}$  m.

Como o núcleo atômico tem a ordem de grandeza de  $10^{-15}$  m, não é possível investigar o núcleo com laser.

**13.** Pela figura pode-se ver que o comprimento de onda é  $\lambda = 0,5$  m.

Com a equação fundamental  $v = \lambda.f$ , temos:

$$400 = 0,5 \cdot f$$

$$f = 400/0,5 = 800 \text{ Hz}$$

**14:**

$$t = \frac{d}{v}$$

$$t_1 = \frac{1200}{8} \Rightarrow t_1 = 150 \text{ s}$$

$$t_2 = \frac{1200}{5} \Rightarrow t_2 = 240 \text{ s}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta t = 240 - 150$$

$$\Delta t = 90 \text{ s}$$

**15. a.**  $T = 8 \cdot 10^{-3} \text{ s} \Rightarrow f = 1/T = 125 \text{ Hz}$

**b.**  $t = 0 \Rightarrow q = 12 = 3 \cdot v \Rightarrow v = 4 \text{ m/s}$

$$t = 6 \cdot 10^{-3} \text{ s} \Rightarrow q = 0 \Rightarrow v = 0$$

$$\Delta E_c = 0 - 3 \cdot 4^2 / 2 = -48 / 2 = -24 \text{ J}$$

**16.** Da equação fundamental da ondulatória:

$$c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^6} \Rightarrow \lambda = 10^2 \text{ m.}$$

Consultando a tabela dada, conclui-se que a antena está transmitindo ondas de rádio.

### ANOTAÇÕES

---



---



---



---