



# LISTA EXTRA RESOLUÇÃO DE QUESTÕES

ONDULATÓRIA I



**Prof. Vinícius Fulconi**

LISTA EXTRA AVANÇADA - Parte 2

## SUMÁRIO

<b>1. LISTA DE QUESTÕES</b>	<b>3</b>
<b>2. GABARITO SEM COMENTÁRIOS</b>	<b>8</b>
<b>3. LISTA DE QUESTÕES COMENTADAS</b>	<b>9</b>





## 1. LISTA DE QUESTÕES

### 1. (ITA 2018)

Em queixa a polícia, um músico depõe ter sido quase atropelado por um carro, tendo distinguido o som em Mi da buzina na aproximação do carro e em Ré, no seu afastamento. Então, com base no fato de ser  $10/9$  a relação das frequências  $\nu_{Mi}/\nu_{Ré}$ , a perícia técnica conclui que a velocidade do carro, em km/h, deve ter sido aproximadamente de

- a) 64
- b) 71
- c) 83
- d) 102
- e) 130

### 2. (ITA-2016)

Um dado instrumento, emitindo um único som de frequência  $f_0$ , é solto no instante  $t = 0$ s de uma altura  $h$  em relação ao chão onde você, imóvel, mede a frequência  $f$  que a cada instante chega aos seus ouvidos. O gráfico resultante de  $\frac{1}{f} \times t$  mostra uma reta de coeficiente angular  $-3 \cdot 10^{-5}$ . Desprezando a resistência do ar, determine o valor de  $f_0$ .

### 3. (ITA-2011)

Uma pessoa de 80,00 kg deixa-se cair verticalmente de uma ponte amarrada a uma corda elástica de “bungee jumping” com 16,0 m de comprimento. Considere que a corda se esticará até 20,0 m de comprimento sob a ação do peso. Suponha que, em todo o trajeto, a pessoa toque continuamente uma vuvuzela, cuja frequência natural é de 235 Hz. Qual(is) é(são) a(s) distância(s) abaixo da ponte em que a pessoa se encontra para que um som de 225 Hz seja percebido por alguém parado sobre a ponte?

- a) 11,4 m
- b) 11,4 m e 14,4 m
- c) 11,4 m e 18,4 m
- d) 14,4 m e 18,4 m
- e) 11,4 m, 14,4 m e 18,4 m



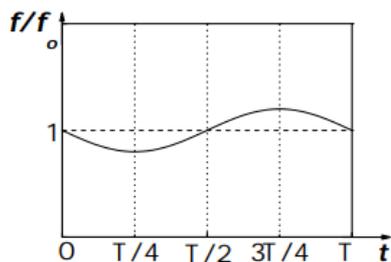
4. (ITA 2011)

O tubo mais curto de um órgão típico de tubos tem um comprimento de aproximadamente 7 cm. Qual é o harmônico mais alto na faixa audível, considerada como estando entre 20 Hz e 20.000 Hz, de um tubo deste comprimento aberto nas duas extremidades?

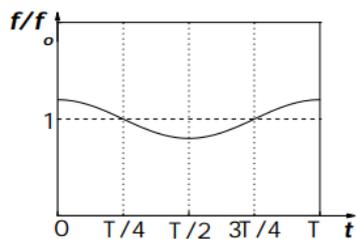
5. (ITA 2010)

Uma jovem encontra-se no assento de um carrossel circular que gira a uma velocidade angular constante com período  $T$ . Uma sirene posicionada fora do carrossel emite um som de frequência  $f_0$  em direção ao centro de rotação. No instante  $t = 0$ , a jovem está à menor distância em relação à sirene. Nesta situação, assinale a melhor representação da frequência  $f$  ouvida pela jovem.

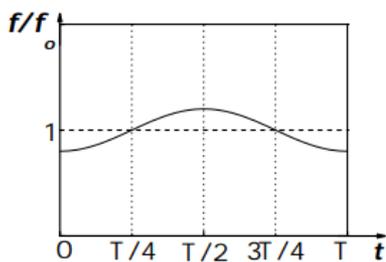
a)



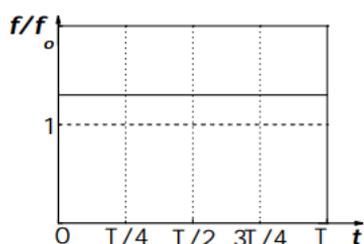
b)



c)

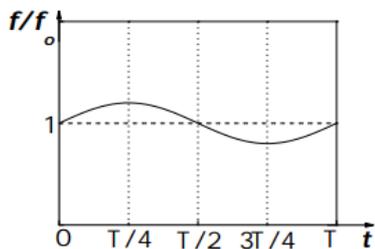


d)



e)





**6. (ITA-2007)**

Numa planície, um balão meteorológico com um emissor e receptor de som é arrastado por um vento forte de 40 m/s contra a base de uma montanha. A frequência do som emitido pelo balão é de 570 Hz e a velocidade de propagação do som no ar é de 340 m/s. Assinale a opção que indica a frequência refletida pela montanha e registrada no receptor do balão.

- a) 450 Hz
- b) 510 Hz
- c) 646 Hz
- d) 722 Hz
- e) 1292 Hz

**7. (ITA-2006)**

Considere duas ondas que se propagam com frequências  $f_1$  e  $f_2$ , ligeiramente diferentes entre si, e mesma amplitude  $A$ , cujas equações são respectivamente  $y_1(t) = A\cos(2\pi f_1 t)$  e  $y_2(t) = A\cos(2\pi f_2 t)$ . Assinale a opção que indica corretamente:

	Amplitude máxima da onda resultante	Frequência da onda resultante	Frequência de batimento
a)	$A\sqrt{2}$	$f_1 + f_2$	$\frac{f_1 - f_2}{2}$
b)	$2A$	$\frac{f_1 + f_2}{2}$	$\frac{f_1 - f_2}{2}$
c)	$2A$	$\frac{f_1 + f_2}{2}$	$f_1 - f_2$
d)	$A\sqrt{2}$	$f_1 + f_2$	$f_1 - f_2$
e)	$A$	$\frac{f_1 + f_2}{2}$	$f_1 - f_2$



**8. (ITA-2004)**

Um tubo sonoro de comprimento  $l$ , fechado numa das extremidades, entra em ressonância, no seu modo fundamental, com o som emitido por um fio, fixado nos extremos, que também vibra no modo fundamental. Sendo  $L$  o comprimento do fio,  $m$  sua massa e  $c$ , a velocidade do som no ar, pode-se afirmar que a tensão submetida ao fio é dada por:

a)  $\left(\frac{c}{2L}\right)^2 ml$

b)  $\left(\frac{c}{2l}\right)^2 mL$

c)  $\left(\frac{c}{l}\right)^2 mL$

d)  $\left(\frac{c}{l}\right)^2 ml$

e) n.d.a

**9. (IME 2002)**

Um corpo realiza um movimento circular uniforme, no sentido horário, com velocidade angular  $\omega = \pi$  rad/s sobre uma circunferência de raio igual a 10 metros emitindo um tom de 1 kHz, conforme a figura abaixo. Um observador encontra-se no ponto de coordenadas (20, 5), escutando o som emitido pelo corpo. Aciona-se um cronômetro em  $t = 0$ , quando o corpo passa pelo ponto (-10, 0). Levando em consideração o efeito Doppler, determine:

- a menor frequência percebida pelo observador;
- a maior frequência percebida pelo observador;
- a frequência percebida em  $t = 1/6$  s.

Dado: velocidade do som = 340 m/s.

**10. (IME 2020 – 1ª Fase)**

Uma fonte sonora de frequência  $f_0$  é arremessada verticalmente para cima, com velocidade inicial  $v_0$ , de um ponto da superfície terrestre no qual a aceleração da gravidade é  $g$ .

Dados:

aceleração da gravidade:  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ; e

velocidade inicial da fonte sonora:  $v_0 = 98 \text{ m/s}$ .

Nota: despreze a resistência do ar e a variação da aceleração da gravidade com a altitude.

A frequência  $f$  percebida 10 segundos mais tarde por um observador estático situado no local do arremesso é tal que

- $0 < f < f_0$
- $f = f_0$
- $f_0 < f < 2 f_0$
- $f = 2 f_0$



e)  $f > 2 f_0$



GABARITO



## 2. GABARITO SEM COMENTÁRIOS

1. A
2. 980 Hz
3. C
4.  $N = 8$
5. A
6. D
7. C
8. B
9. a) 915,4 Hz b) 1101,8 Hz c)  
1048,4 Hz
10. A



ESCLARECENDO!



### 3. LISTA DE QUESTÕES COMENTADAS

#### 1. (ITA 2018)

Em Queixa a polícia, um músico depõe ter sido quase atropelado por um carro, tendo distinguido o som em Mi da buzina na aproximação do carro e em Ré, no seu afastamento. Então, com base no fato de ser 10/9 a relação das frequências  $\nu_{Mi}/\nu_{Ré}$ , a perícia técnica conclui que a velocidade do carro, em km/h, deve ter sido aproximadamente de

- a) 64
- b) 71
- c) 83
- d) 102
- e) 130

#### Comentários:

Pela fórmula baseado no efeito Doppler:

$$f_{aparente} = f \cdot \frac{v_{som} \pm v_{obj}}{v_{som} \pm v_{fonte}}$$

Ajustando os sinais para cada caso, tem-se:

$$\nu_{Mi} = f \cdot \frac{v_{som}}{v_{som} - v}$$

$$\nu_{Ré} = f \cdot \frac{v_{som}}{v_{som} + v}$$

$$\frac{\nu_{Mi}}{\nu_{Ré}} = \frac{v_{som} + v}{v_{som} - v}$$

$$\frac{10}{9} = \frac{1224 + v}{1224 - v}$$

$$1224 \cdot 10 - 10 \cdot v = 9 \cdot 1224 + 9 \cdot v$$

$$1224 = 19 \cdot v$$

$$v \cong 64,42 \text{ km/h}$$

**Gabarito: A**

#### 2. (ITA-2016)



Um dado instrumento, emitindo um único som de frequência  $f_0$ , é solto no instante  $t = 0$ s de uma altura  $h$  em relação ao chão onde você, imóvel, mede a frequência  $f$  que a cada instante chega aos seus ouvidos. O gráfico resultante de  $\frac{1}{f} \times t$  mostra uma reta de coeficiente angular  $-3 \cdot 10^{-5}$ . Desprezando a resistência do ar, determine o valor de  $f_0$ .

**Comentários:**

Conforme a equação:

$$f_{ap} = f_0 \cdot \frac{v_s \pm v_{obs}}{v_s \pm v_f}$$

No caso do problema:

$$f_{ap} = f_0 \cdot \frac{v_s}{v_s - g \cdot t}$$

$$\frac{1}{f_{ap}} = \frac{1}{f_0} \cdot \frac{v_s - g \cdot t}{v_s}$$

$$\frac{1}{f_{ap}} = \frac{1}{f_0} \cdot \left(1 - \frac{g \cdot t}{v_s}\right)$$

Considerando o coeficiente angular igual a  $-3 \cdot 10^{-5}$ :

$$\frac{g}{f_0 \cdot v_s} = 3 \cdot 10^{-5}$$

$$f_0 = \frac{g}{3 \cdot 10^{-5} \cdot v_s} = \frac{10}{3 \cdot 10^{-5} \cdot 340} \cong 980 \text{ Hz}$$

**Gabarito: 980 Hz**

**3. (ITA-2011)**

Uma pessoa de 80,00 kg deixa-se cair verticalmente de uma ponte amarrada a uma corda elástica de “bungee jumping” com 16,0 m de comprimento. Considere que a corda se esticará até 20,0 m de comprimento sob a ação do peso. Suponha que, em todo o trajeto, a pessoa toque continuamente uma vuvuzela, cuja frequência natural é de 235 Hz. Qual(is) é(são) a(s) distância(s) abaixo da ponte em que a pessoa se encontra para que um som de 225 Hz seja percebido por alguém parado sobre a ponte?

- a) 11,4 m
- b) 11,4 m e 14,4 m
- c) 11,4 m e 18,4 m
- d) 14,4 m e 18,4 m
- e) 11,4 m, 14,4 m e 18,4 m

**Comentários:**



Para que a frequência percebida pelo observador sobre a ponte seja menor do que a frequência emitida, considerando que o observador está parado, é deduzido que a pessoa que pulou de da ponte está com velocidade para baixo. A pessoa acelera até em que a força elástica se iguala ao peso, passando então a desacelerar até atingir velocidade nula no ponto mais baixo de sua trajetória. Portanto, todos os possíveis valores de velocidade são percorridos duas vezes com exceção da velocidade no ponto em que a força resultante é nula. Assim, calculando a velocidade necessária para que a frequência percebida seja igual a 225 hz e a velocidade quando a força resultante é nula:

$$f_{ap} = f \cdot \frac{v_s}{v_s + v_f}$$

$$225 = 235 \cdot \frac{340}{340 + v_f}$$

$$340 \cdot 10 = 225 \cdot v_f$$

$$v_f \cong 15,1 \text{ m/s}$$

Calculando o  $k$  por energia para o caso do ponto mais baixo da trajetória:

$$\frac{k \cdot x^2}{2} = m \cdot g \cdot h$$

$$\frac{k}{2} \cdot 16 = 800 \cdot 20$$

$$k = 2 \cdot 10^3 \text{ N/m}$$

Verificando primeiramente se há ocorrência dessa velocidade durante o movimento de queda livre:

$$m \cdot g \cdot h = m \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$10 \cdot h = \frac{15,1^2}{2}$$

$$h = \frac{15,1^2}{20} = 11,4 \text{ m}$$

Agora, verifica-se quando ocorre essa velocidade para o caso em que o elástico está esticado.

$$m \cdot g \cdot h = m \cdot \frac{v^2}{2} + k \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$800 \cdot h = 80 \cdot \frac{15,1^2}{2} + 2 \cdot 10^3 \cdot \frac{(h - 16)^2}{2}$$

$$h^2 - 32 \cdot h + 256 - 0,8 \cdot h + 9,12 = 0$$

$$h^2 - 32,8 \cdot h + 265,12 = 0$$

$$h_1 = 18,4 \text{ m}$$

$$h_2 = 14,4 \text{ m}$$

Como a suposição era de que o elástico estava esticado,  $h \geq 16$  era condição. Portanto, somente  $h_1$  é válido. Assim as respostas são  $h = 11,4 \text{ m}$  e  $h = 18,4 \text{ m}$ .



**Gabarito: C****4. (ITA 2011)**

O tubo mais curto de um órgão típico de tubos tem um comprimento de aproximadamente 7 cm. Qual é o harmônico mais alto na faixa audível, considerada como estando entre 20 Hz e 20.000 Hz, de um tubo deste comprimento aberto nas duas extremidades?

**Comentários:**

O tubo de um órgão sendo tratado como aberto em ambas as extremidades:

$$f_n = n \cdot \frac{v_s}{2 \cdot l}$$

Onde:

- $f_n$  é a frequência do harmônico;
- $n$  é o número do harmônico;
- $v_s$  é a velocidade do som;
- $l$  é o comprimento do tubo.

Substituindo:

$$n \cdot \frac{v_s}{2 \cdot l} \leq 20000$$

$$n \leq 20000 \cdot 2 \cdot \frac{0,07}{340}$$

$$n \leq 8,23$$

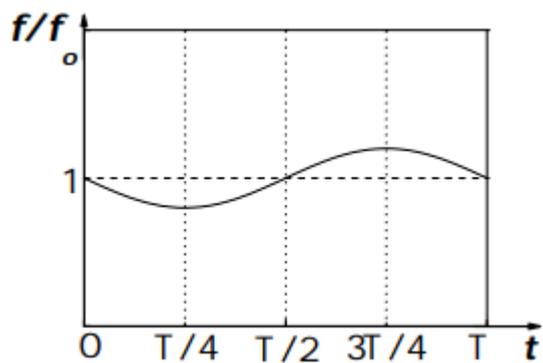
Logo, o harmônico mais alto é o oitavo ( $n = 8$ ).

**Gabarito: N = 8****5. (ITA 2010)**

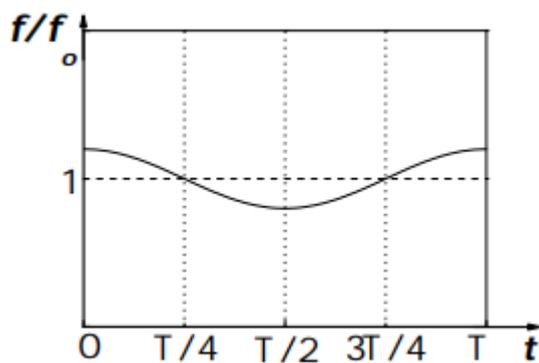
Uma jovem encontra-se no assento de um carrossel circular que gira a uma velocidade angular constante com período  $T$ . Uma sirene posicionada fora do carrossel emite um som de frequência  $f_0$  em direção ao centro de rotação. No instante  $t = 0$ , a jovem está à menor distância em relação à sirene. Nesta situação, assinale a melhor representação da frequência  $f$  ouvida pela jovem.

a)

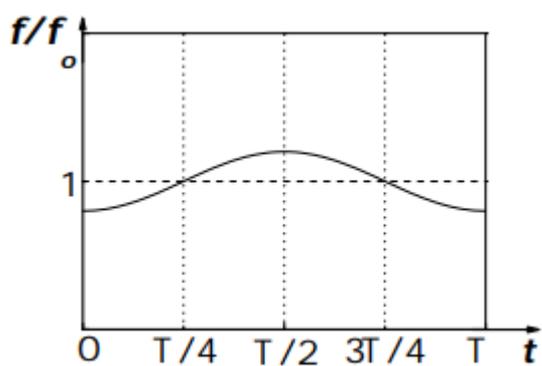




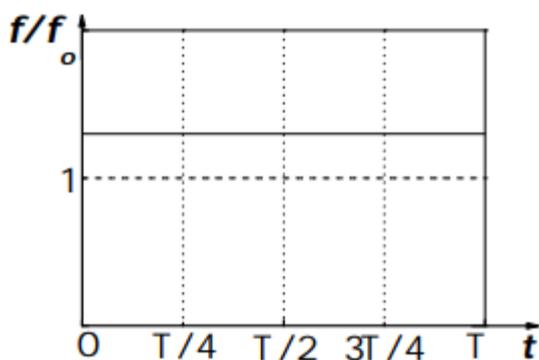
b)



c)

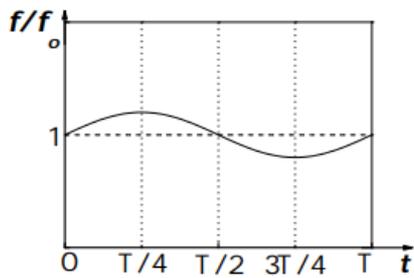


d)



e)





**Comentários:**

Para o efeito Doppler:

$$f = f_0 \cdot \frac{v_s \pm v_o}{v_s \pm v_f}$$

Onde:

- $v_s$  é a velocidade do som;
- $v_f$  é a velocidade da fonte;
- $v_o$  é a velocidade do observador;
- $f$  é a frequência percebida.

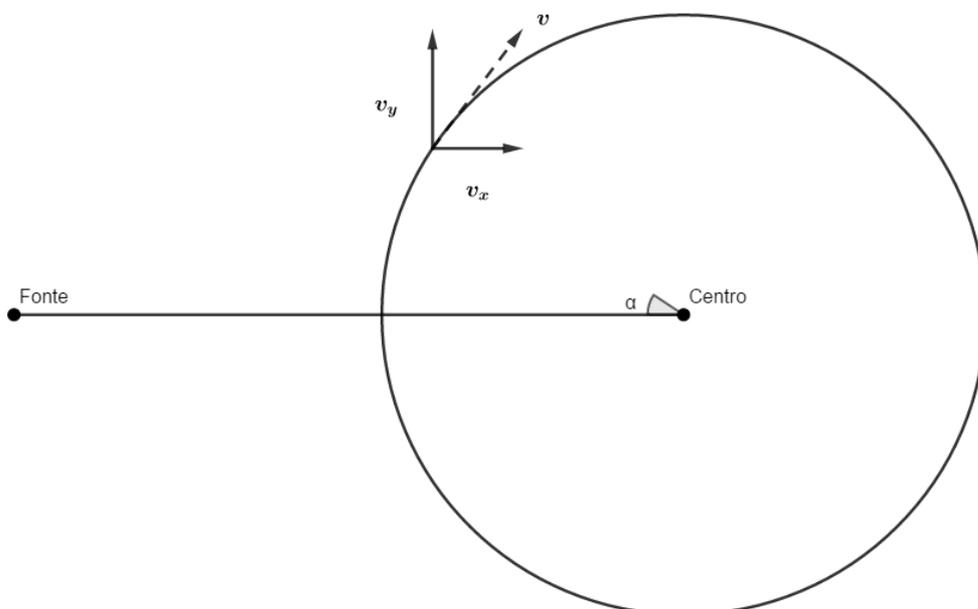
Para este caso,  $v_f = 0$ :

$$\frac{f}{f_0} = \frac{v_s \pm v_o}{v_s} \Rightarrow \frac{f}{f_0} = 1 \pm \frac{v_o}{v_s}$$

Analisando a cinética da jovem:

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

Analisando a figura abaixo:



$$\alpha = \omega \cdot t$$

$$v_o = v \cdot \text{sen } \alpha$$

$$v_o = v \cdot \text{sen } (\omega \cdot t)$$

$$v_o = v \cdot \text{sen} \left( \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t \right)$$

Assim, ajustando o sinal:

$$\frac{f}{f_0} = 1 - \frac{v}{v_s} \cdot \text{sen} \left( \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t \right)$$

Dessa forma, a melhor representação está na alternativa A.

**Gabarito: A**

---

**6. (ITA-2007)**

Numa planície, um balão meteorológico com um emissor e receptor de som é arrastado por um vento forte de 40 m/s contra a base de uma montanha. A frequência do som emitido pelo balão é de 570 Hz e a velocidade de propagação do som no ar é de 340 m/s. Assinale a opção que indica a frequência refletida pela montanha e registrada no receptor do balão.

- a) 450 Hz
- b) 510 Hz
- c) 646 Hz
- d) 722 Hz
- e) 1292 Hz

**Comentários:**

A onda recebida pela montanha é refletida e retorna ao balão. Portanto ocorre efeito Doppler para a frequência que chega à montanha (balão é uma fonte móvel) e em seguida efeito Doppler para a frequência que chega a balão (balão é um observador móvel).

$$f_1 = f_0 \cdot \frac{v_s}{v_s - 40}$$

$$f_2 = f_1 \cdot \frac{v_s + 40}{v_s}$$

$$f_2 = f_0 \cdot \frac{v_s + 40}{v_s - 40} = 570 \cdot \frac{380}{300} = 722 \text{ Hz}$$

**Gabarito: D**

---

**7. (ITA-2006)**



Considere duas ondas que se propagam com frequências  $f_1$  e  $f_2$ , ligeiramente diferentes entre si, e mesma amplitude  $A$ , cujas equações são respectivamente  $y_1(t) = A\cos(2\pi f_1 t)$  e  $y_2(t) = A\cos(2\pi f_2 t)$ . Assinale a opção que indica corretamente:

	Amplitude máxima da onda resultante	Frequência da onda resultante	Frequência de batimento
a)	$A\sqrt{2}$	$f_1 + f_2$	$\frac{f_1 - f_2}{2}$
b)	$2A$	$\frac{f_1 + f_2}{2}$	$\frac{f_1 - f_2}{2}$
c)	$2A$	$\frac{f_1 + f_2}{2}$	$f_1 - f_2$
d)	$A\sqrt{2}$	$f_1 + f_2$	$f_1 - f_2$
e)	$A$	$\frac{f_1 + f_2}{2}$	$f_1 - f_2$

**Comentários:**

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) + A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t)$$

Utilizando a transformação de soma em produto:

$$y(t) = A \cdot 2 \cdot \cos(\pi \cdot t \cdot (f_1 + f_2)) \cdot \cos(\pi \cdot t \cdot (f_1 - f_2))$$

A amplitude portanto é  $2 \cdot A$ . A frequência da função que envolve a onda é:

$$\frac{f_1 + f_2}{2} = f$$

A frequência de batimento é:

$$f' = f_1 - f_2$$

**Gabarito: C**

**8. (ITA-2004)**

Um tubo sonoro de comprimento  $l$ , fechado numa das extremidades, entra em ressonância, no seu modo fundamental, com o som emitido por um fio, fixado nos extremos, que também vibra no modo fundamental. Sendo  $L$  o comprimento do fio,  $m$  sua massa e  $c$ , a velocidade do som no ar, pode-se afirmar que a tensão submetida ao fio é dada por:

a)  $\left(\frac{c}{2L}\right)^2 ml$

b)  $\left(\frac{c}{2l}\right)^2 mL$

c)  $\left(\frac{c}{l}\right)^2 mL$



d)  $\left(\frac{c}{l}\right)^2 ml$

e) n.d.a

**Comentários:**

Para um tubo fechado em uma das extremidades, ressoando no seu modo fundamental

$$\left(\lambda = \frac{l}{4}\right);$$

$$c = \lambda \cdot f = 4 \cdot l \cdot f$$

$$f = \frac{c}{4 \cdot l}$$

A frequência da onda é a mesma frequência da onda estacionária no fio que vibra no modo fundamental ( $\lambda = 2L$ ). A velocidade da onda no fio é:

$$v = \lambda' \cdot f = 2 \cdot L \cdot \frac{c}{4 \cdot l} = \frac{c}{2} \cdot \frac{L}{l}$$

Mas, a velocidade também é dada por:

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

$$\frac{c^2}{4} \cdot \frac{L^2}{l^2} = T \cdot \frac{L}{m}$$

$$T = \frac{m \cdot c^2 \cdot L}{4 \cdot l^2}$$

**Gabarito: B****9. (IME 2002)**

Um corpo realiza um movimento circular uniforme, no sentido horário, com velocidade angular  $w = \pi$  rad/s sobre uma circunferência de raio igual a 10 metros emitindo um tom de 1 kHz, conforme a figura abaixo. Um observador encontra-se no ponto de coordenadas (20, 5), escutando o som emitido pelo corpo. Aciona-se um cronômetro em  $t = 0$ , quando o corpo passa pelo ponto (-10, 0). Levando em consideração o efeito Doppler, determine:

- a menor frequência percebida pelo observador;
- a maior frequência percebida pelo observador;
- a frequência percebida em  $t = 1/6$  s.

Dado: velocidade do som = 340 m/s

**Comentários:**

Pelo efeito Doppler para um observador fixo:



$$f = f_0 \cdot \frac{v_s}{v_s \pm v_f}$$

A frequência mínima é percebida quando a fonte se move na direção do observador com sentido afastando-se do observador. Nesse caso:

$$v_f = 10 \cdot \pi$$

$$f = 1000 \cdot \frac{340}{340 + 10 \cdot \pi} = 915,4 \text{ Hz}$$

A frequência máxima é percebida quando a fonte se move na direção do observador com sentido aproximando-se do observador. Nesse caso:

$$v_f = 10 \cdot \pi$$

$$f = 1000 \cdot \frac{340}{340 - 10 \cdot \pi} = 1101,8 \text{ Hz}$$

Para  $t = \frac{1}{6}$  s, a partícula está na posição:

$$P = (-5 \cdot \sqrt{3}; 5)$$

Sua velocidade é dada pelo vetor:

$$v = 10 \cdot \pi \cdot \left( \frac{1}{2}; \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

O vetor que une o observador e a fonte é paralelo à horizontal. Portanto, a velocidade da fonte considerada é somente à que está nessa direção:

$$v_{f_x} = 5 \cdot \pi$$

A frequência é dada por:

$$f = 1000 \cdot \frac{340}{340 - 5 \cdot \pi} = 1048,4 \text{ Hz}$$

**Gabarito: a) 915,4 Hz b) 1101,8 Hz c) 1048,4 Hz**

### 10. (IME 2020 – 1ª Fase)

Uma fonte sonora de frequência  $f_0$  é arremessada verticalmente para cima, com velocidade inicial  $v_o$ , de um ponto da superfície terrestre no qual a aceleração da gravidade é  $g$ .

Dados:

aceleração da gravidade:  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ; e

velocidade inicial da fonte sonora:  $v_o = 98 \text{ m/s}$ .

Nota: despreze a resistência do ar e a variação da aceleração da gravidade com a altitude.

A frequência  $f$  percebida 10 segundos mais tarde por um observador estático situado no local do arremesso é tal que

a)  $0 < f < f_0$



- b)  $f = f_0$
- c)  $f_0 < f < 2 f_0$
- d)  $f = 2 f_0$
- e)  $f > 2 f_0$

**Comentários:**

$$v = v_0 - gt = 98 - 9,8 \cdot 10 = 0$$

Quando a frequência foi ouvida, o objeto estava parado, logo, quando a frequência foi emitida, o objeto estava subindo, de modo que  $f_{ap} < f_0$

**Gabarito: A**

---

