

# Ondulatória

## Assunto: Ondas

### Aula 10 – Tubos Sonoras

Para acompanhar esta aula em vídeo, vá à aba “Aulas” e clique em Ondulatória – aula 10

## Tubos Sonoros

Existem alguns instrumentos musicais em que o som é produzido quando o músico assopra o ar para dentro do instrumento, por isso, são chamados de instrumentos de sopro. Estão nesta categoria a flauta, o trombone, a tuba e muitos outros.



O Trombone de vara que você vê na figura por exemplo, consiste num tubo sonoro, cuja frequência é alterada pelo músico através da variação do comprimento do tubo.

Os vários instrumentos usam tubos de dois tipos: tubo aberto, que é aberto nas duas extremidades, e tubo fechado, que é fechado em uma extremidade e aberto na outra. Então para estudarmos os tubos sonoros, iremos representar os dois tipos da seguinte maneira.



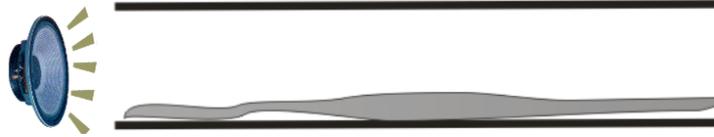
Tubo fechado



Tubo aberto

As ondas que se propagam no ar dentro do tubo são ondas sonoras, sendo, portanto, longitudinais e o som produzido são de ondas estacionárias como veremos mais adiante. Mas quando estudamos anteriormente ondas estacionárias, estudamos elas em uma corda, com ondas transversais. Então para estudarmos estas ondas, longitudinais estacionárias, não só é um pouco mais complexo como também são ondas que não enxergamos, como acontece com as cordas sonoras. Então para se fazer o estudo destas ondas, costuma-se usar o seguinte recurso:

Espalha-se dentro do tubo sonoro, partículas de algum material bem leve como isopor, limalha de ferro, grafite em pó, ou outro material qualquer bem leve. Depois coloque a extremidade aberta virada para uma fonte sonora, como mostra a figura.



Irá surgir uma configuração do tipo da figura abaixo:



A conclusão em que se chega é que são formadas ondas estacionárias dentro do tubo. Em regiões de grandes vibrações o pó vai se espalhando e se acumulando nas regiões que não vibram, identificando aí os pontos onde ocorrem as interferências destrutivas das ondas, ou seja, os nós. Então representamos simbolicamente as ondas formadas nos tubos das seguintes maneiras:

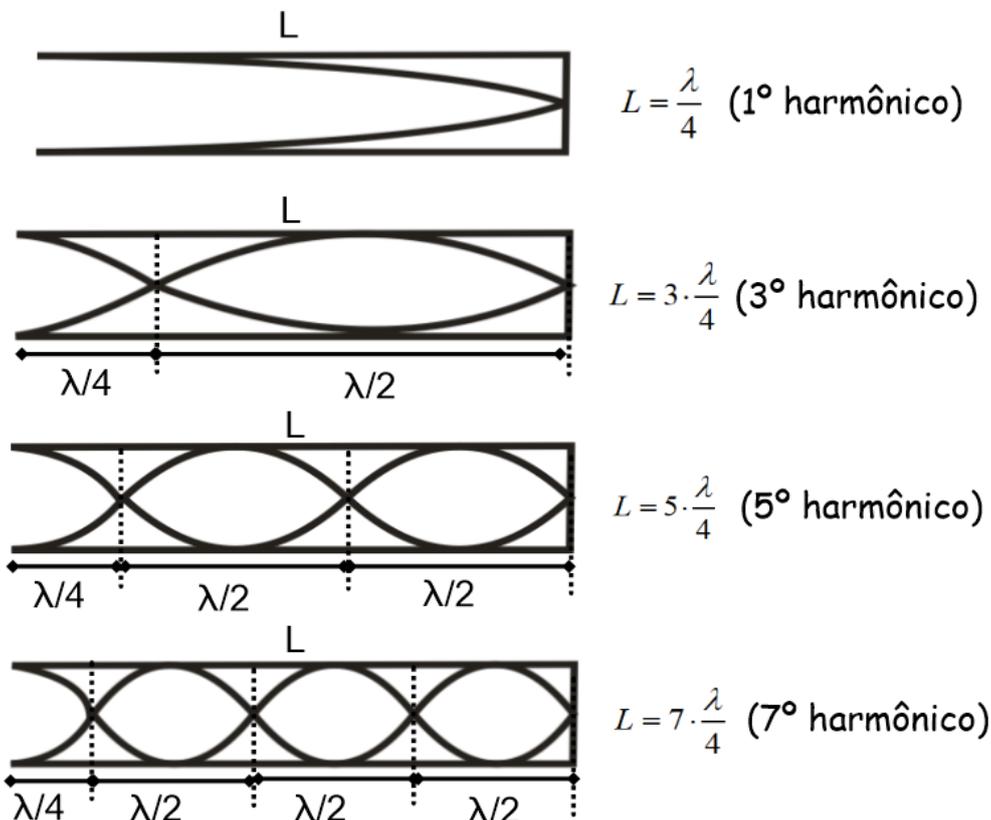


1º harmônico no tubo fechado



1º harmônico no tubo aberto

Primeiramente vamos estudar o tubo fechado:



Nos tubos fechados não haverá harmônico par, somente harmônico ímpar.

$$L = (2n - 1) \cdot \frac{\lambda}{4}$$

(2n - 1) = número do harmônico  
 L = comprimento do tubo  
 n = número de nós  
 λ = comprimento de onda

É importante estudarmos a frequência do som que os tubos fornecerão. Então a partir da equação fundamental da onda, é fácil calcular:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (1)$$

$$L = (2n - 1) \cdot \frac{\lambda}{4}$$

$$\lambda = \frac{4L}{2n - 1} \quad (2)$$

Substituímos (2) em (1) teremos:

$$f = \frac{v}{\frac{4L}{2n - 1}} \longrightarrow f = (2n - 1) \cdot \frac{v}{4L}$$

Para n = 1  $\longrightarrow f_1 = \frac{v}{4L}$

Para n = 2  $\longrightarrow f_3 = 3 \cdot \frac{v}{4L} \longrightarrow f_3 = 3 \cdot f_1$

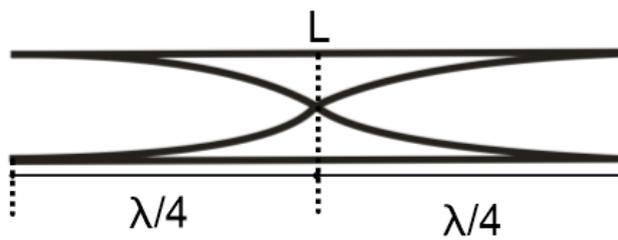
Para n = 3  $\longrightarrow f_5 = 5 \cdot \frac{v}{4L} \longrightarrow f_5 = 5 \cdot f_1$

⋮

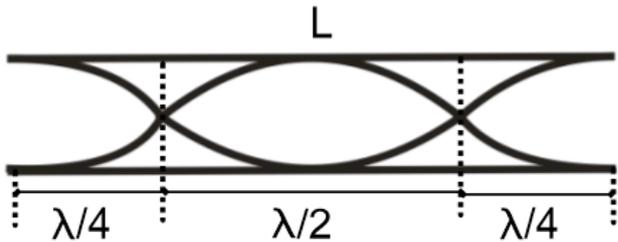
Para n = n  $\longrightarrow f_{(2n-1)} = (2n - 1) \cdot \frac{v}{4L} \longrightarrow f_{(2n-1)} = (2n - 1) \cdot f_1$

**Atenção:** O estudo acima foi para tubos fechados. Não existirá harmônico para, somente harmônico ímpar. O "n" equivale ao número de nós, diferentemente das cordas sonoras que equivaliam ao número de ventres. O valor de (2n-1) equivale ao número do harmônico, ou seja, (2n-1)<sup>o</sup> harmônico.

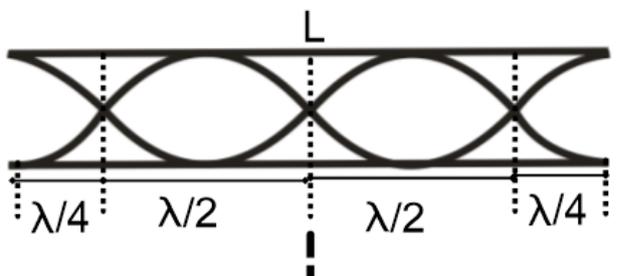
Agora vamos estudar o tubo aberto:



$$L = \frac{\lambda}{2} \quad (1^\circ \text{ harm\^o nico})$$



$$L = 2 \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (2^\circ \text{ harm\^o nico})$$



$$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (3^\circ \text{ harm\^o nico})$$

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (\text{para o "n"}^\circ \text{ harm\^o nico})$$

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$L$  = comprimento do tubo  
 $n$  = número do harmônico ( $n^\circ$  nós)  
 $\lambda$  = comprimento de onda

Do mesmo jeito que fizemos para os tubos fechados, vamos determinar a frequência para os tubos abertos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{2L}{n} \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1) teremos:

$$f = \frac{\frac{v}{2L}}{n} \longrightarrow \boxed{f = n \cdot \frac{v}{2L}}$$

Para  $n = 1 \longrightarrow f_1 = \frac{v}{2L}$

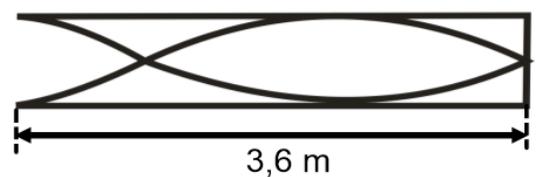
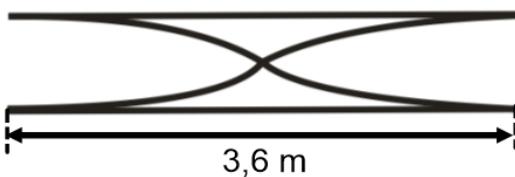
Para  $n = 2 \longrightarrow f_2 = 2 \cdot \frac{v}{2L} \longrightarrow f_2 = 2 \cdot f_1$

Para  $n = 3 \longrightarrow f_3 = 3 \cdot \frac{v}{2L} \longrightarrow f_3 = 3 \cdot f_1$

⋮  
Para  $n = n \longrightarrow f_n = n \cdot \frac{v}{2L} \longrightarrow \boxed{f_n = n \cdot f_1}$

**Exercício de aprendizagem:**

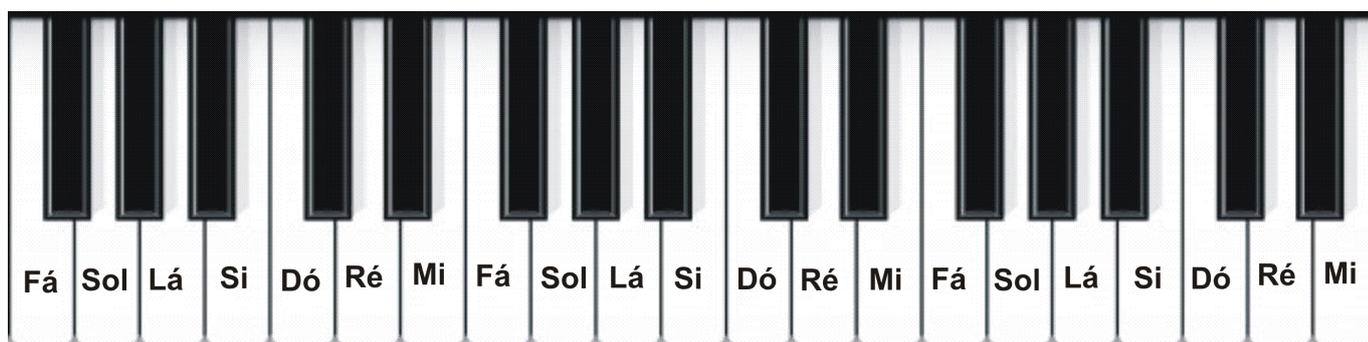
1) As figuras representam, em cada caso, uma onda estacionária que se forma num tubo sonoro. A velocidade do som no ar é de 340 m/s. Determine a frequência do som emitido pelo tubo em cada caso e a frequência que cada tubo emitiria no 5º harmônico.



Resposta: 1) a)  $f_1 = 47,2 \text{ Hz}$   $f_5 = 236 \text{ Hz}$  b)  $f_3 = 70,8 \text{ Hz}$   $f_5 = 118 \text{ Hz}$

### Observações:

- 1) Na verdade, quando uma corda de violão por exemplo é tocada, ela vibra no modo fundamental e simultaneamente, em vários harmônicos. Então a forma da corda vibrar é muito mais complexa do que a forma correspondente a cada harmônico, como vimos. Mas para efeitos de cálculo aqui no ensino médio trabalhamos com esse dado fixo em um dos harmônicos. Então você não precisa de se preocupar com isso. Se for cobrado provavelmente você terá o valor do harmônico.
- 2) Outro termo técnico que costuma aparecer em provas de Física é a "oitava". Você já deve ter ouvido falar que as notas musicais são Dó Ré Mi Fá Sol Lá Si Dó. Então em um teclado de piano por exemplo temos o seguinte esquema:



Então por exemplo, a distância de uma nota **Dó** para a próxima nota **Dó** são exatamente 8 teclas, contando com a própria tecla. E a frequência de um **Dó** para o outro na sequência é exatamente o dobro da anterior. Isto ocorre com todas as notas, **Ré** para **Ré**, **Mi** para **Mi**, etc. Então quando se quer um som mais agudo diz-se subir uma oitava ou duas oitavas.

**Por exemplo:** Uma das notas **fá** tem frequência 349,2 Hz. Qual a frequência da nota situada duas oitavas acima desse **fá**?

**Solução:** Para subir uma oitava teremos que dobrar a frequência (x2). O resultado teremos que dobrar novamente, pois são duas oitavas (x2). Portanto deveremos multiplicar por 4.

**Resposta:**  $349,2 \times 4 = 1396,8 \text{ Hz}$

### Exercícios de aprendizagem:

2) Uma corda de piano em aço tem 50 cm de comprimento e 6g de massa. Se ela é submetida a uma força tensora de 30 N, determine:

- a) A frequência do som fundamental;
- b) A frequência do som fundamental de uma corda que esteja uma oitava acima.

2) Este dispositivo foi utilizado para medir a velocidade do som num gás. Um tubo de vidro com esse gás em seu interior, contém bolinhas de isopor. Quando um som de 1.500 Hz é dirigido para dentro do tubo, as bolinhas formam pequenos montes, espaçados 15 cm um do outro. Qual a velocidade do som no gás, segundo essa experiência.



Resposta:  $v = 450 \text{ m/s}$

**Exercícios de Fixação:**

1) (ITA) – Dois tubos de órgão, **A** e **B**, tem o mesmo comprimento **L**, sendo que **A** é fechado e **B** é aberto. Sejam **F<sub>A</sub>** e **F<sub>B</sub>** as frequências fundamentais emitidas respectivamente, por **A** e **B**. Designando por **v** a velocidade do som no ar, podemos afirmar que:

- a) **F<sub>A</sub> = 2 . F<sub>B</sub>**    b) **F<sub>A</sub> = v/2L**    c) **F<sub>B</sub> = v/4L**    d) **F<sub>A</sub> = 4 . F<sub>B</sub>**    e) **F<sub>A</sub> = v/4L**

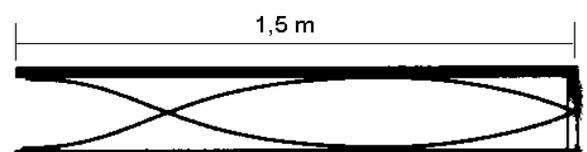
2) (UNISA) Um tubo sonoro aberto de 50 cm de comprimento emite um som cuja frequência é de 1360 Hz. Sendo o módulo da velocidade de propagação do som no ar igual a 340 m/s, o som emitido é o \_\_\_\_\_ harmônico.

- a) **segundo**    b) **terceiro**    c) **quarto**    d) **quinto**    e) **sexto**

3) Um tubo sonoro aberto mede 1,70m. Supondo a velocidade do som no ar igual a 340m/s, determine para o som fundamental emitido pelo tubo:

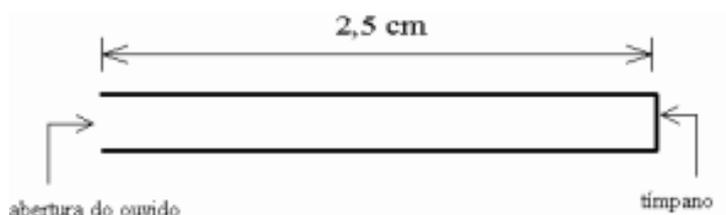
- a) o comprimento de onda;  
b) a frequência.

4) Uma onda estacionária se forma num tubo sonoro fechado, como ilustra a figura. Admitindo ser de 340 m/s a velocidade do som no ar, determine para a onda sonora emitida:



- a) o comprimento de onda;
- b) a ordem do harmônico;
- c) a frequência.

5) (UFJF) - O "conduto auditivo" humano pode ser representado de forma aproximada por um tubo cilíndrico de **2,5 cm** de comprimento (veja a figura).



A frequência fundamental do som que forma ondas estacionárias nesse tubo é:  
(Dado  $v_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$ )

- a) 340 Hz.    b) 3,4 kHz.    c) 850 Hz.    d) 1,7 kHz.

6) Sendo uma onda mecânica, o som pode sofrer:

- a) reflexão e refração, mas não sofre difração.
- b) reflexão e difração, mas não sofre refração.
- c) reflexão, refração e difração, mas não interferência.
- d) reflexão, refração, difração e interferência.
- e) n.r.a.

7) (UFJF) - Uma garrafa de vidro, cheia de água até a metade, produz som de determinada frequência ao receber uma leve pancada com um bastão. Se você quisesse obter um som mais grave, deveria retirar ou acrescentar água na garrafa?  
**Justifique sua resposta.**

8) (UFRJ-RJ) O grupo brasileiro Uakti constrói seus próprios instrumentos musicais. Um deles consiste em vários canos de PVC de comprimentos variados. Uma das pontas dos canos é mantida fechada por uma membrana que emite sons característicos ao ser percutida pelos artistas, enquanto a outra é mantida aberta. Sabendo-se que o módulo da velocidade do som no ar vale  $340 \text{ m/s}$ , é correto afirmar que as duas frequências mais baixas emitidas por um desses tubos, de comprimento igual a  $50 \text{ cm}$ , são:

- a) 170 Hz e 340 Hz
- b) 170 Hz e 510 Hz
- c) 200 Hz e 510 Hz
- d) 340 Hz e 510 Hz
- e) 200 Hz e 340 Hz

9) (UFJF-MG) Considerando que a velocidade do som no ar é igual a 340 m/s e que o canal auditivo humano pode ser comparado a um tubo de órgão com uma extremidade aberta e a outra fechada, qual deveria ser o comprimento do canal auditivo para que a frequência fundamental de uma onda sonora estacionária nele produzida seja de 3400 Hz?

- a) 2,5 m
- b) 2,5 cm
- c) 0,25 cm
- d) 0,10 m
- e) 0,10 cm

10) (Udesc) Dois tubos sonoros de um órgão têm o mesmo comprimento, um deles é aberto e o outro fechado. O tubo fechado emite o som fundamental de 500 Hz na temperatura de 20°C e na pressão atmosférica. Entre as frequências a seguir, indique a que esse tubo não é capaz de emitir.

- a) 1500 Hz   b) 4500 Hz   c) 1000 Hz   d) 2500 Hz   e) 3500 Hz

**Gabarito:** 1) E   2) C   3) a)  $\lambda = 3,40$  m   b) 100 Hz   4) a) 2m   b) 3º harmônico   c) 170 Hz   5) B  
6) D   7) Para que a frequência diminua, você deverá aumentar o comprimento de onda. Sendo assim deverá tirar água da garrafa para aumentar o tubo fechado. Lembre-se que a garrafa é um tubo fechado e que  $f = (2n-1) \cdot v/4L$  para o tubo fechado. O L é a distância entre o bico da garrafa e o fundo. Se você colocar água, é como se o fundo passasse a ser o nível da água. Portanto para aumentar L (aumentando L diminuirá a frequência) você deve retirar água da garrafa.   8) B  
9) B   10) C (lembre-se que o tubo fechado só fornece harmônico ímpar. Portanto a frequência deve ser um múltiplo ímpar do 1º harmônico.  $1000/500 = 2$ )



**Dificuldade em Física?**  
Conheça o site  
[www.fisicafacil.net](http://www.fisicafacil.net)  
Todo conteúdo de Física do  
**Ensino Médio**, aula a aula, em vídeo +  
listas de exercícios + aulas em pdf + tira  
dúvidas por whatsapp, email ou Skype.