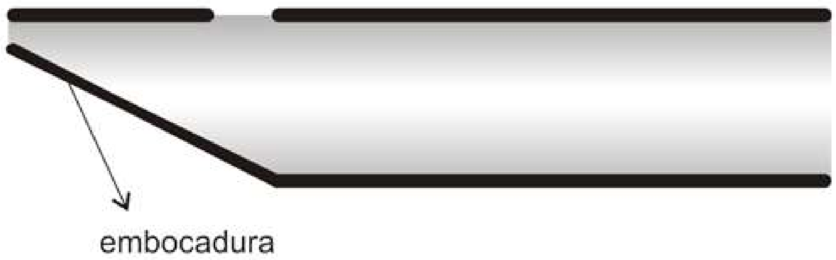
# Tubos sonoros

Apresentação, orientação e tarefa: **fisicasp.com.br**

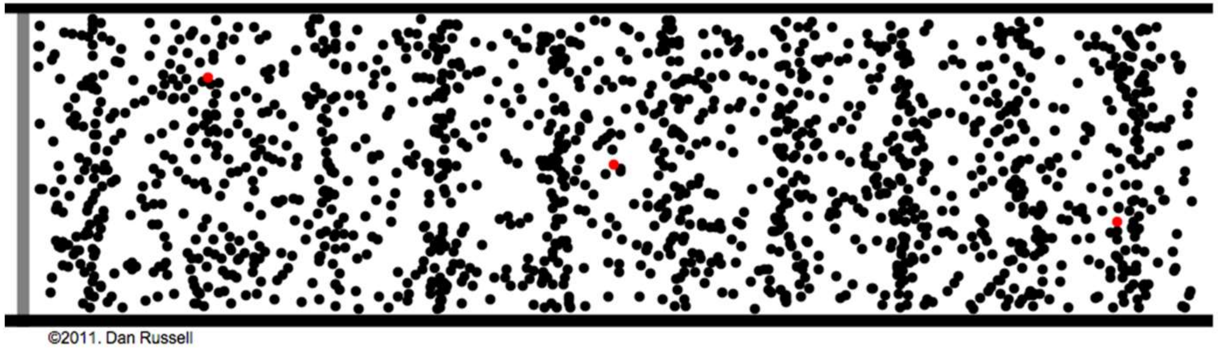
Prof. Caio Gomes

Flauta Andina

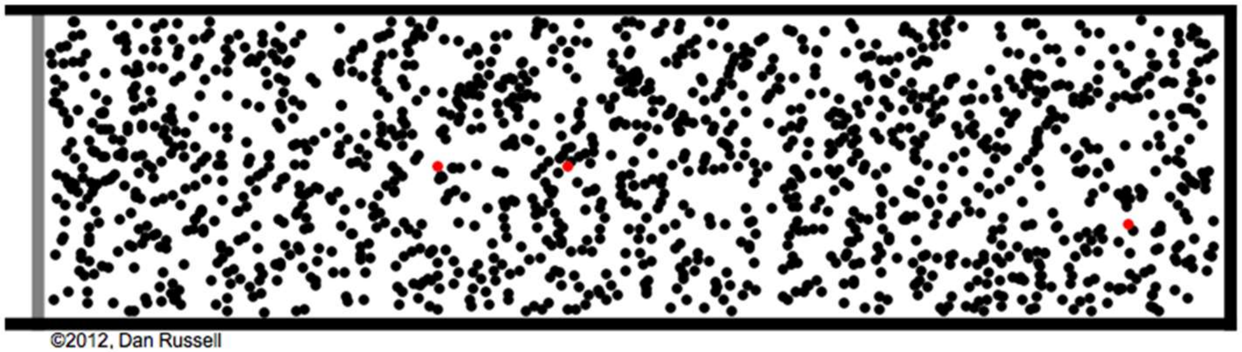
Flauta Doce



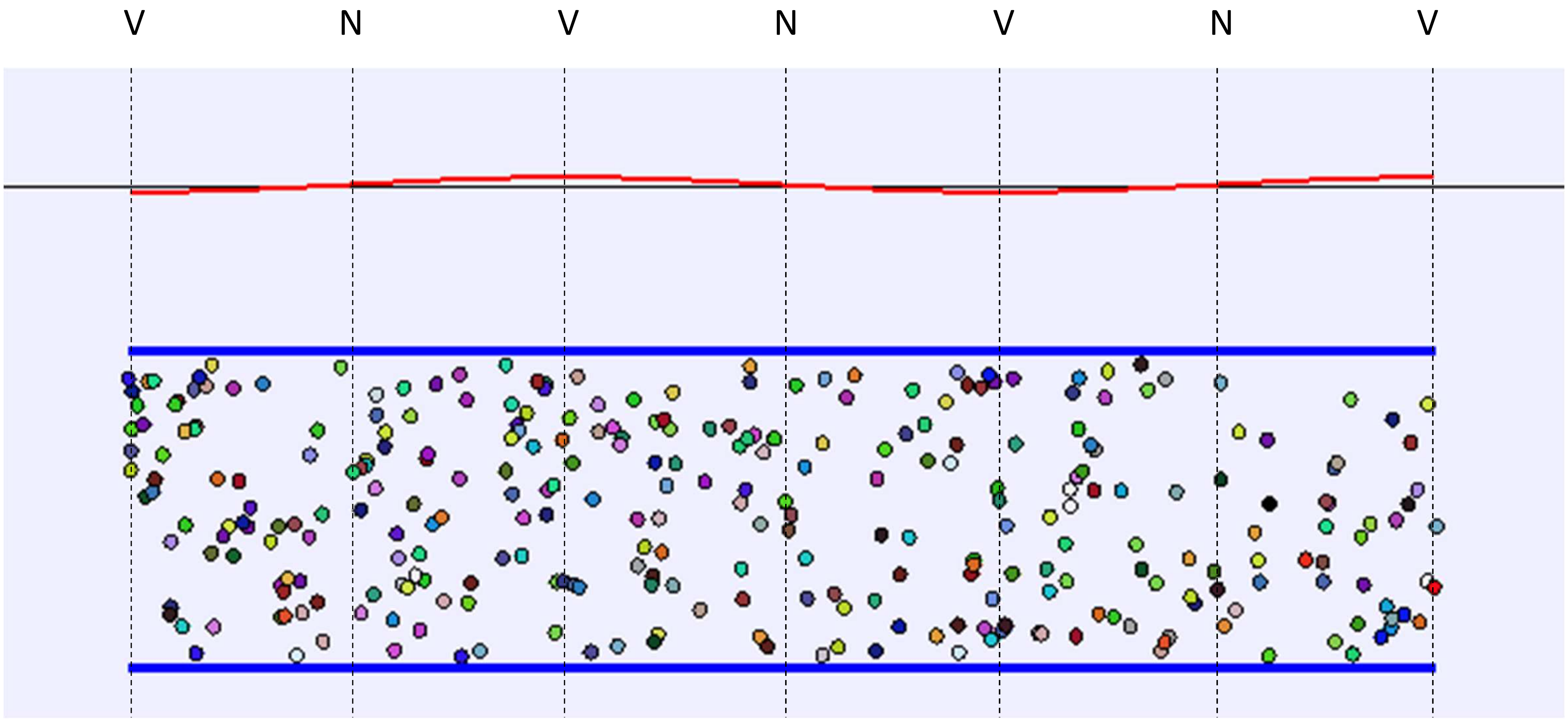
**Onda sonora progressiva** oscilação propagação



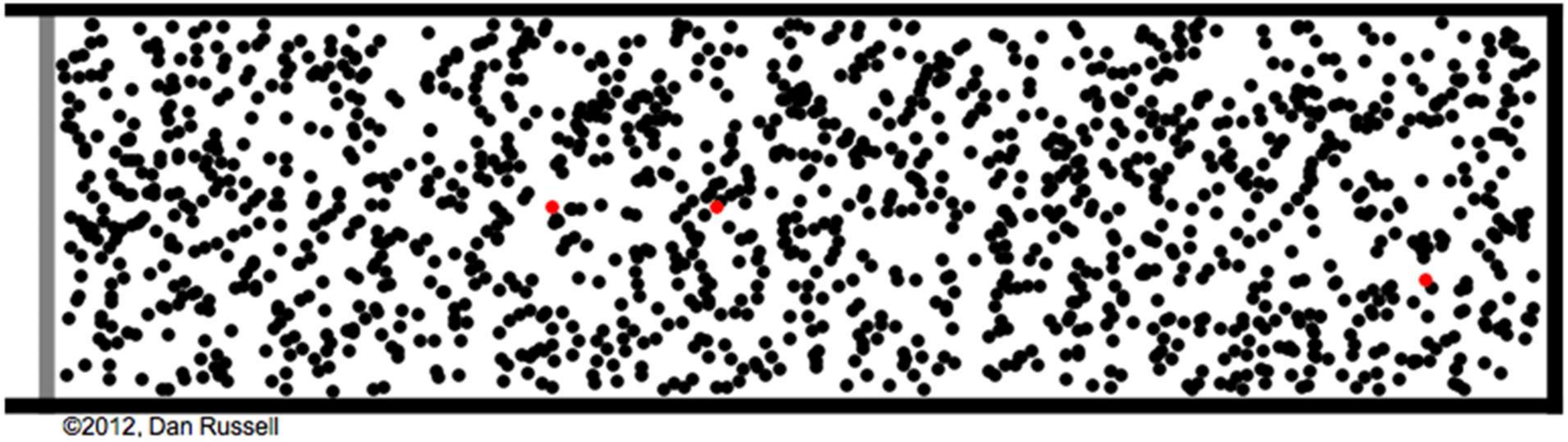

**Onda sonora estacionária** oscilação



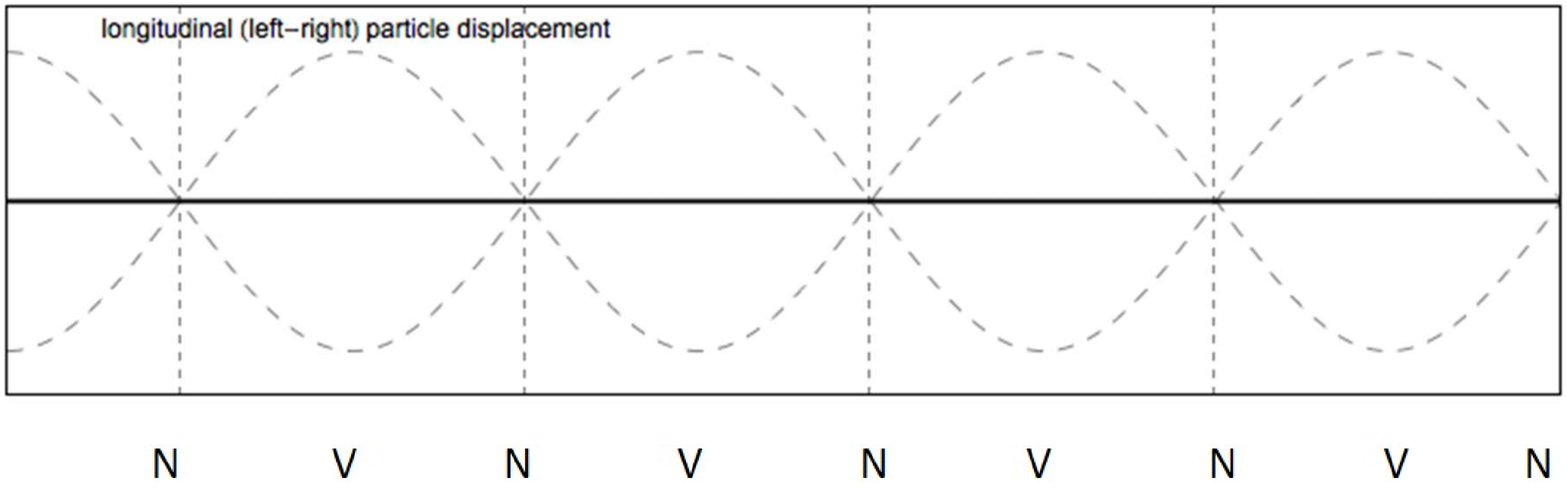
## Onda de deslocamento: tubo aberto



## Onda de deslocamento: tubo fechado

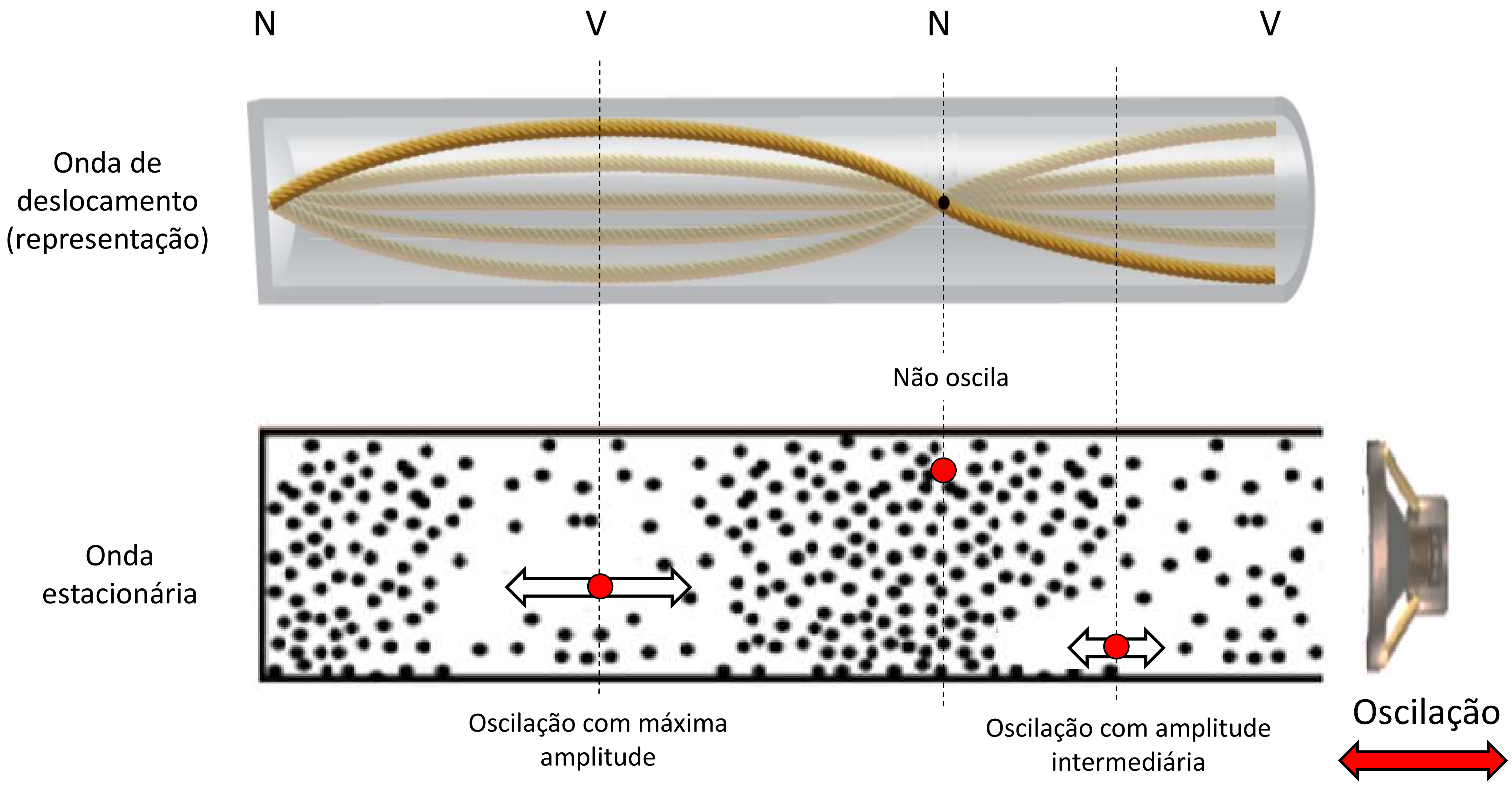



Onda estacionária

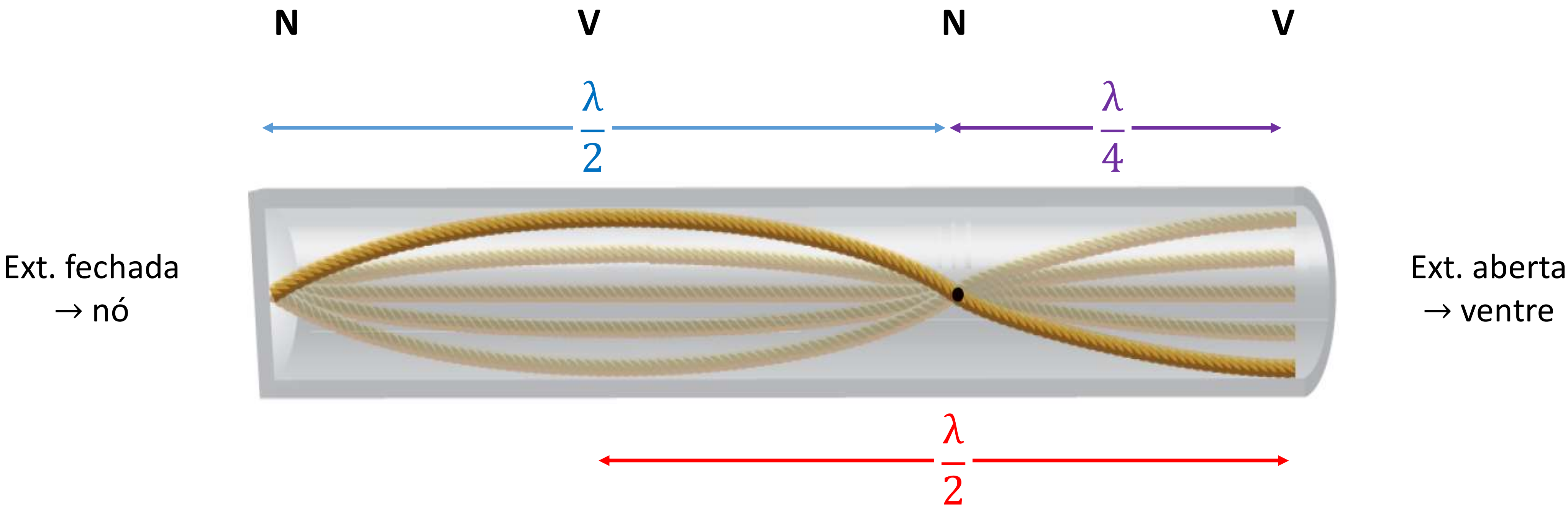



Onda de deslocamento (representação)

## 1. Representação por meio de onda de deslocamento

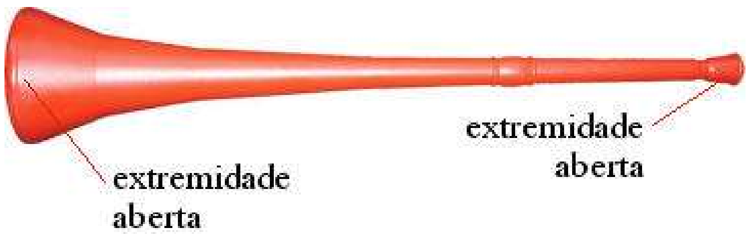


## 2. Nós, ventres e comprimento de onda




- N: nó → interferência destrutiva
- V: ventre → interferência construtiva

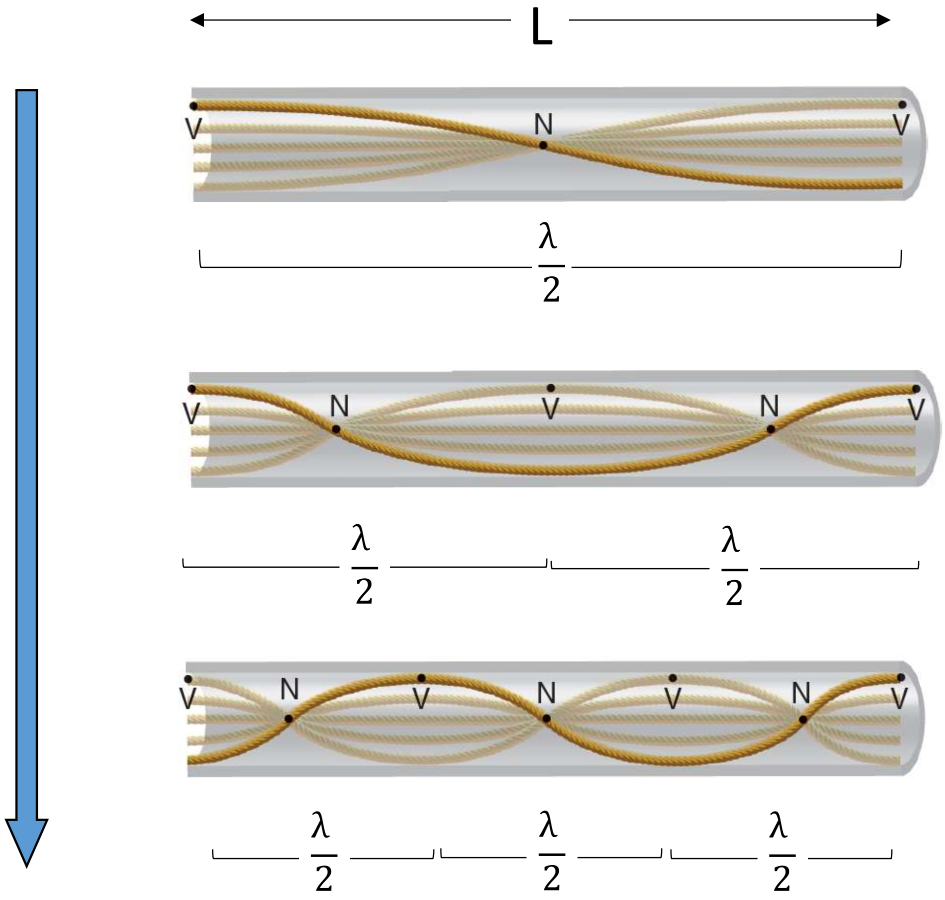
*Vuvuzela*




*Berrante*

# Modos de vibração – tubo aberto

n = 1, 2, 3, 4 ...




Primeiro harmônico (fundamental)

n = 1

$$L = (1)\,.\,\frac{\lambda_1}{2} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{2L}{(1)}$$

Segundo harmônico

n = 2

$$L = (2)\,.\,\frac{\lambda_2}{2} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{2L}{(2)}$$

Terceiro harmônico

n = 3

$$L = (3)\,.\,\frac{\lambda_3}{2} \Rightarrow \lambda_3 = \frac{2L}{(3)}$$

---

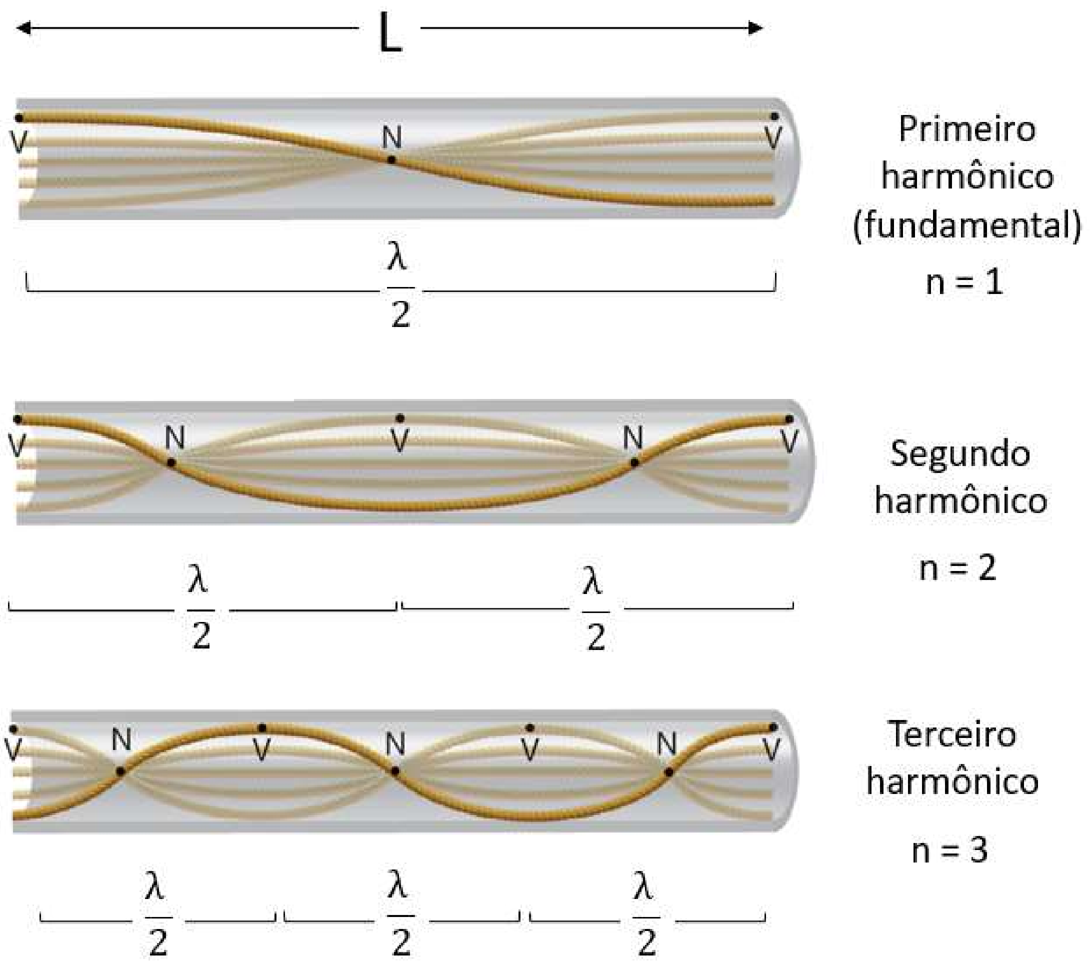
$$L = (n)\,.\,\frac{\lambda_n}{2} \Rightarrow \lambda_n = \frac{2L}{(n)}$$

$$f_n = \frac{V}{\lambda_n} \Rightarrow f_n = \frac{V}{\frac{2L}{(n)}} \Rightarrow f_n = (n)\,\frac{V}{2L}$$

f : aumenta
V: constante
λ: diminui

$$\uparrow f_n = \frac{V_{cte}}{\lambda_n}\downarrow$$

$$\uparrow f_n = \uparrow(n)\,\overset{\text{cte}}{\boxed{\frac{V}{2L}}}$$




## Modos de vibração – tubo aberto

Os harmônicos também são denominados modos normais / naturais de oscilação do sistema ou frequências de ressonância.

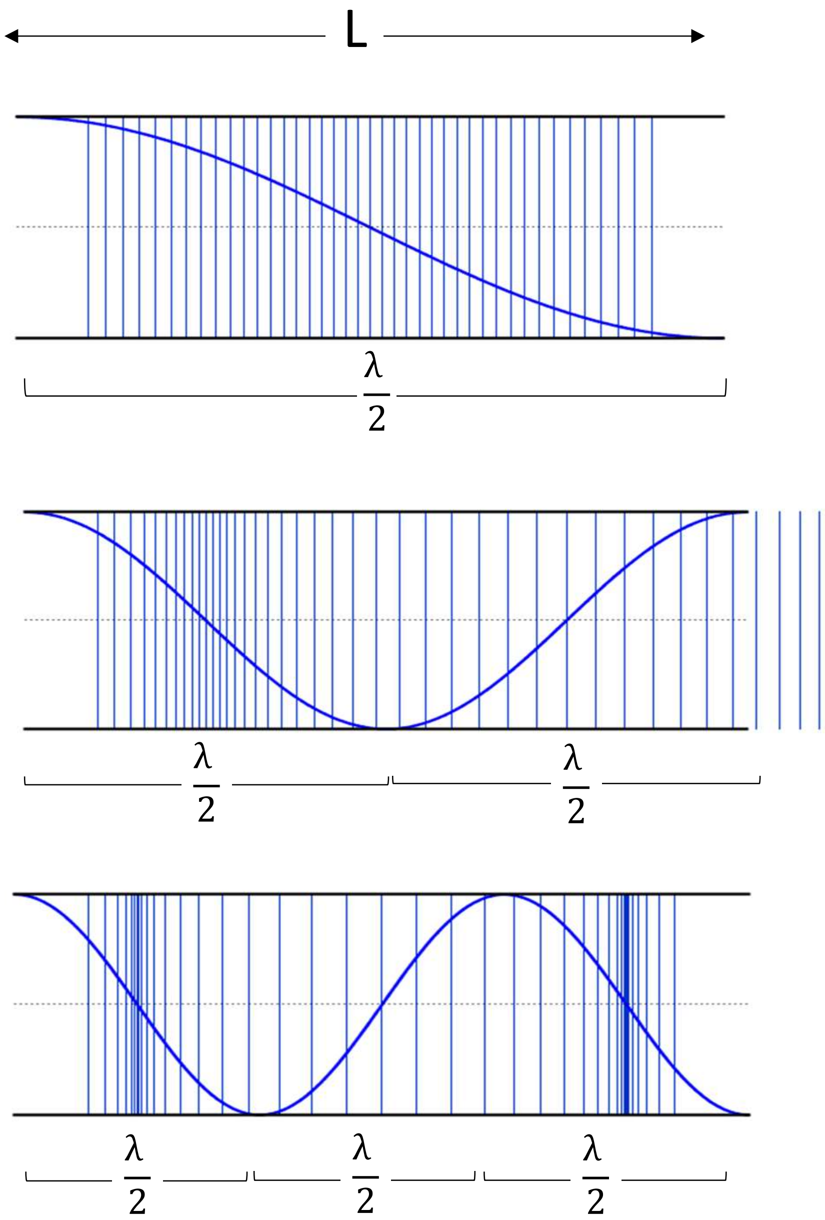
Somente ocorrerá a formação dos harmônicos quando a fonte oscilar em umas das frequências naturais do sistema:

$$f_n = (n)\frac{V}{2L} \qquad (n = 1, 2, 3, 4 ...)$$

Nesses casos, o ar e a fonte estarão em ressonância.

## Modos de vibração – tubo aberto

n = 1, 2, 3, 4 ...




Primeiro harmônico (fundamental)

n = 1

Segundo harmônico

n = 2

Terceiro harmônico

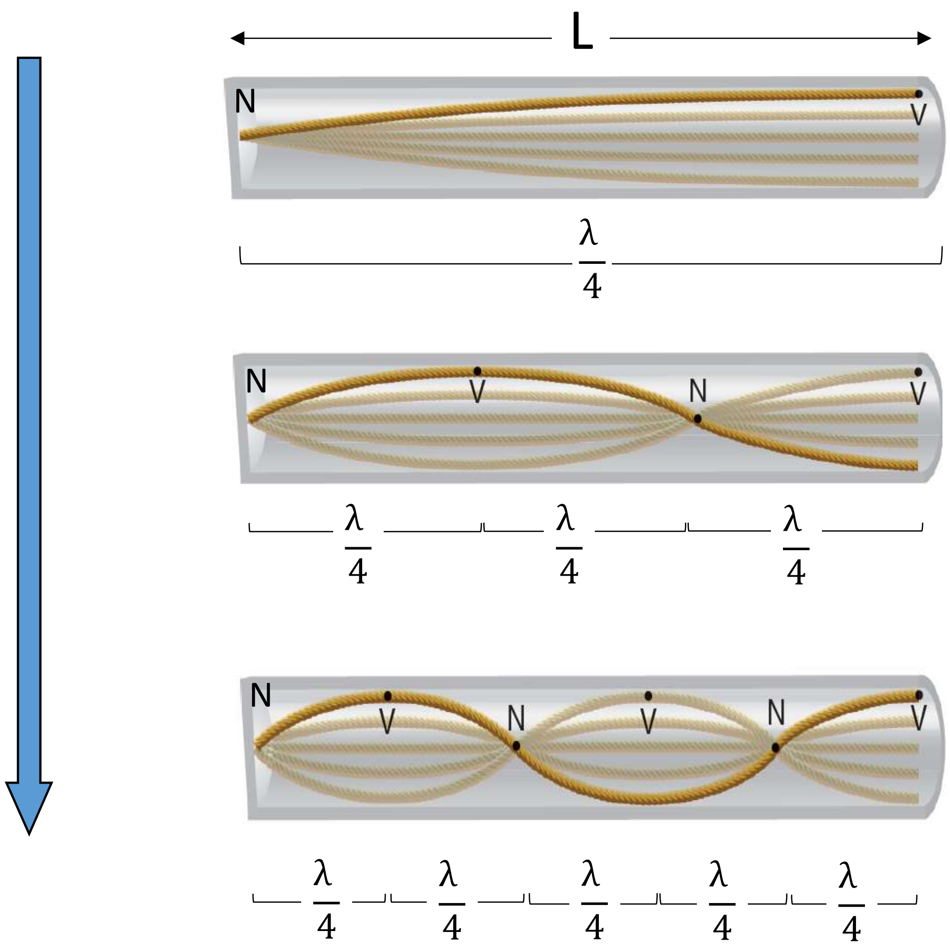
n = 3

***Flauta andina***

***Garrafas***

## Modos de vibração – tubo fechado

n = 1, 3, 5, 7 ... (ímpar)




Primeiro harmônico (fundamental)

n = 1

$$L = (1) \cdot \frac{\lambda_1}{4} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{4L}{(1)}$$

Terceiro harmônico

n = 3

$$L = (3) \cdot \frac{\lambda_3}{4} \Rightarrow \lambda_3 = \frac{4L}{(3)}$$

Quinto harmônico

n = 5

$$L = (5) \cdot \frac{\lambda_5}{4} \Rightarrow \lambda_5 = \frac{4L}{(5)}$$

---

$$L = (n) \cdot \frac{\lambda_n}{4} \Rightarrow \lambda_n = \frac{4L}{(n)}$$

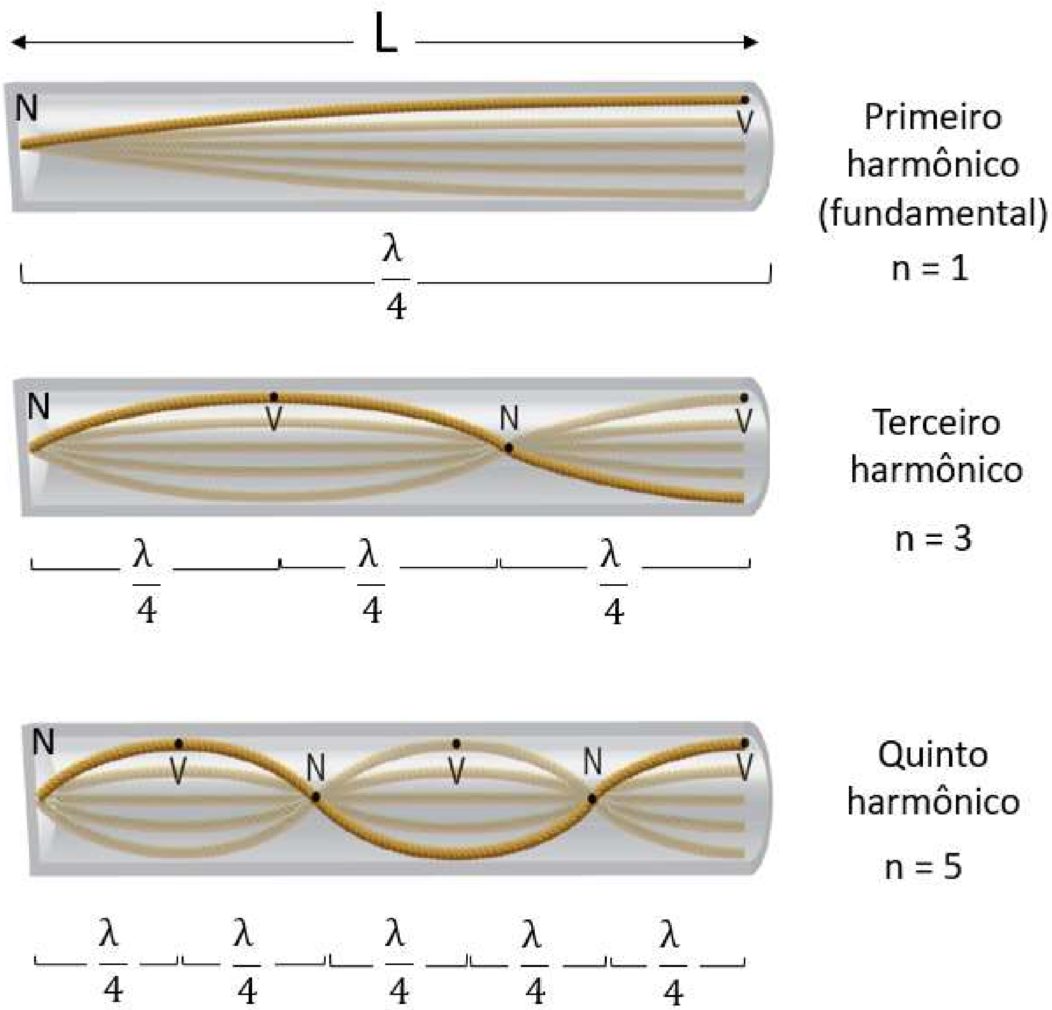
$$f_n = \frac{V}{\lambda_n} \Rightarrow f_n = \frac{V}{\frac{4L}{(n)}} \Rightarrow f_n = (n)\,\frac{V}{4L}$$

f : aumenta

V: constante

λ: diminui

## Modos de vibração – tubo fechado




Os harmônicos também são denominados modos normais / naturais de oscilação do sistema ou frequências de ressonância.

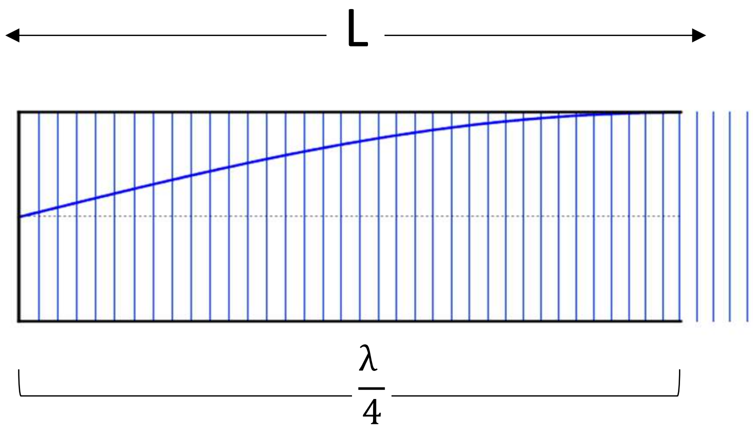
Somente ocorrerá a formação dos harmônicos quando a fonte oscilar em umas das frequências naturais do sistema:

$$f_n = (n)\frac{V}{4L} \qquad (n = 1, 3, 5, 7 \ldots)$$

Nesses casos, o ar e a fonte estarão em ressonância.

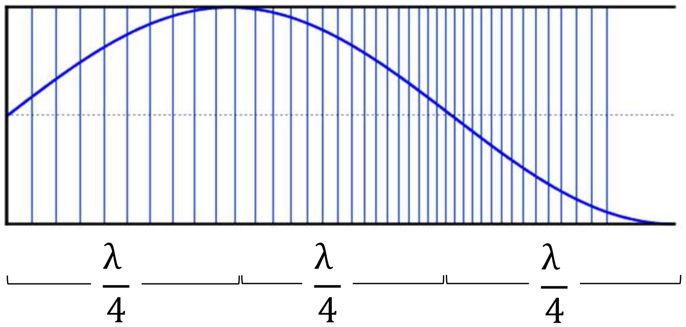
## Modos de vibração – tubo fechado

n = 1, 3, 5, 7 ... (ímpar)



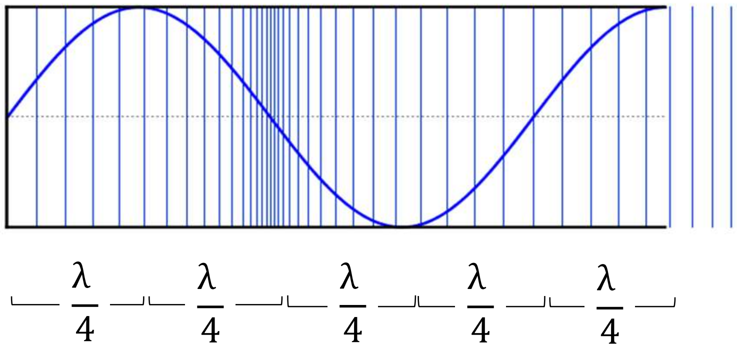

Primeiro harmônico (fundamental)

n = 1




Terceiro harmônico

n = 3

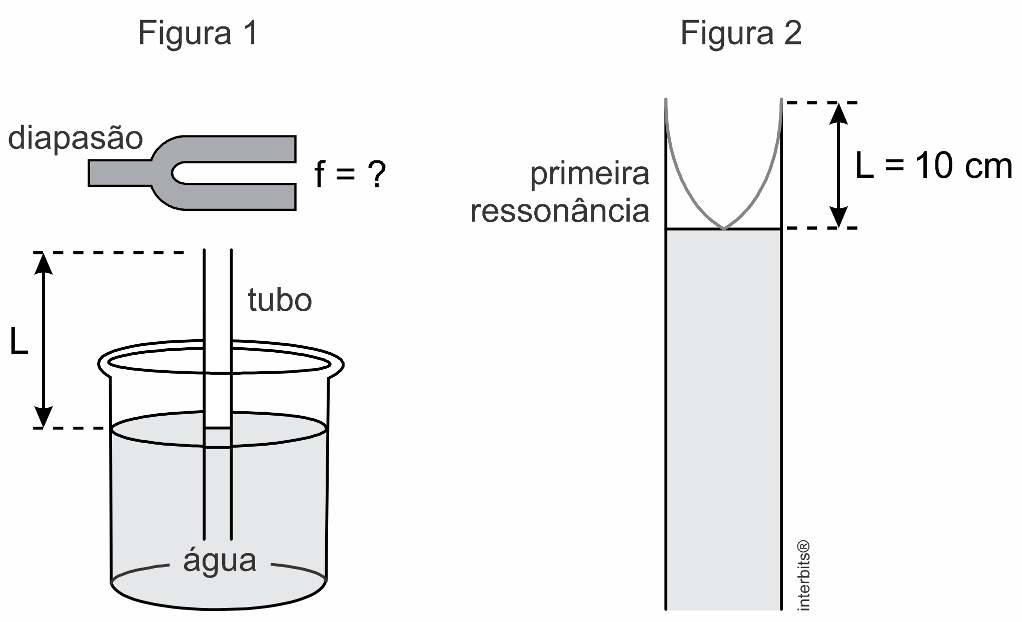



Quinto harmônico

n = 5

# Exercícios

1. (Unesp 2016) Um experimento foi feito com a finalidade de determinar a frequência de vibração de um diapasão. Um tubo cilíndrico aberto em suas duas extremidades foi parcialmente imerso em um recipiente com água e o diapasão vibrando foi colocado próximo ao topo desse tubo, conforme a figura 1. O comprimento L da coluna de ar dentro do tubo foi ajustado movendo-o verticalmente. Verificou-se que o menor valor de L, para o qual as ondas sonoras geradas pelo diapasão são reforçadas por ressonância dentro do tubo, foi de conforme a figura 2.




Considerando a velocidade de propagação do som no ar igual a 340 m/s, é correto afirmar que a frequência de vibração do diapasão, em Hz é igual a

a) 425 b) 850 c) 1360 d) 3400 e) 1700

2. (Albert Einstein – adaptada) Em 1816 o médico francês René Laënnec, durante um exame clínico numa senhora, teve a ideia de enrolar uma folha de papel bem apertada e colocar seu ouvido numa das extremidades, deixando a outra livre para ser encostada na paciente. Dessa forma, não só era evitado o contato indesejado com a paciente, como os sons se tornavam muito mais audíveis. Estava criada assim a ideia fundamental do estetoscópio [do grego, *stêthos* (peito) *skopéo* (olhar)]. A folha de papel enrolada pelo médico francês René Laënnec pode ser interpretada como um tubo sonoro aberto. Considerando o comprimento desse tubo igual a 34 cm e que, ao examinar um paciente, houve a formação, no interior desse tubo, de uma onda estacionária longitudinal de segundo harmônico e que se propagava com uma velocidade de 340 m/s qual a frequência dessa onda, em hertz?

a) 250
b) 500
c) 1000
d) 2000

2. (Albert Einstein – adaptada) Em 1816 o médico francês René Laënnec, durante um exame clínico numa senhora, teve a ideia de enrolar uma folha de papel bem apertada e colocar seu ouvido numa das extremidades, deixando a outra livre para ser encostada na paciente. Dessa forma, não só era evitado o contato indesejado com a paciente, como os sons se tornavam muito mais audíveis. Estava criada assim a ideia fundamental do estetoscópio [do grego, *stêthos* (peito) *skopéo* (olhar)]. A folha de papel enrolada pelo médico francês René Laënnec pode ser interpretada como um tubo sonoro aberto. Considerando o comprimento desse tubo igual a 34 cm e que, ao examinar um paciente, houve a formação, no interior desse tubo, de uma onda estacionária longitudinal de segundo harmônico e que se propagava com uma velocidade de 340 m/s qual a frequência dessa onda, em hertz?

a) 250 b) 500 c) 1000 d) 2000

2° harmônico para tubo aberto

0,34 m


$\frac{\lambda}{2}$ $\frac{\lambda}{2}$

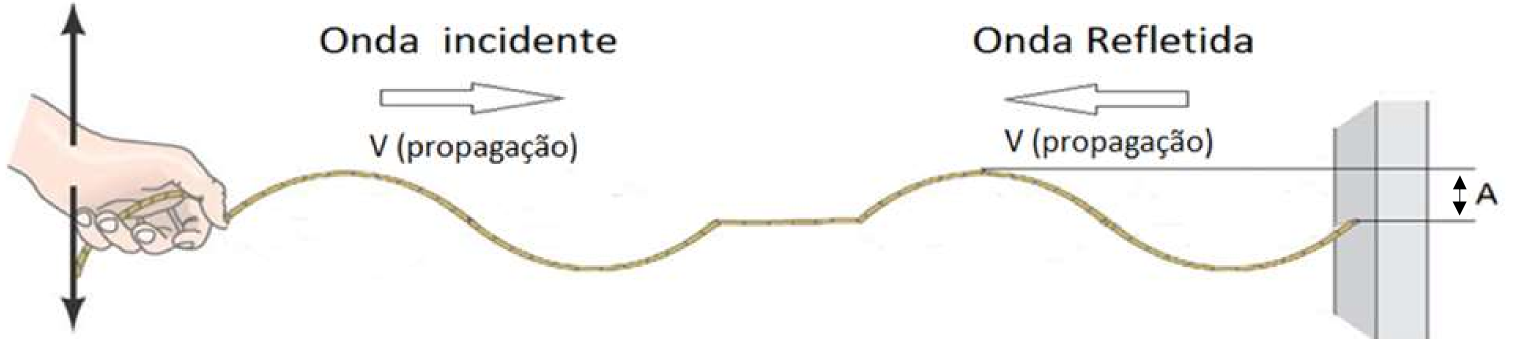
$\cancel{2}.\frac{\lambda}{\cancel{2}} = 0,34m \Rightarrow \lambda = 0,34m$

$V = \lambda.f \Rightarrow f = \frac{V}{\lambda}$

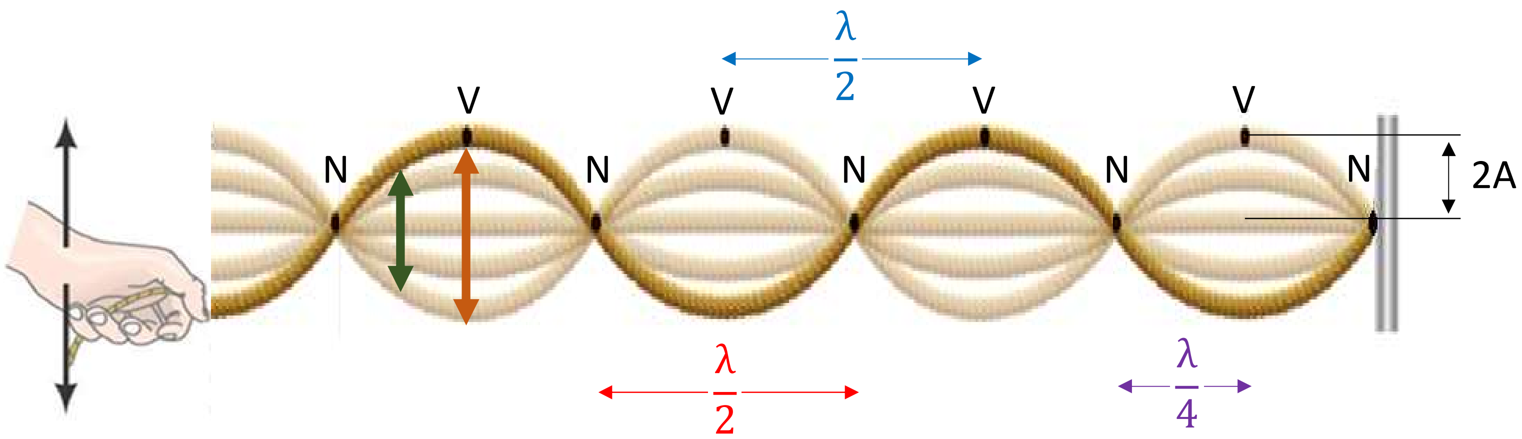
$$\boxed{f = \frac{340}{0,34} = 1000 \text{ Hz}}$$

# Revisão

## Onda estacionária




- Nó: interferência destrutiva
- Ventre: interferência construtiva



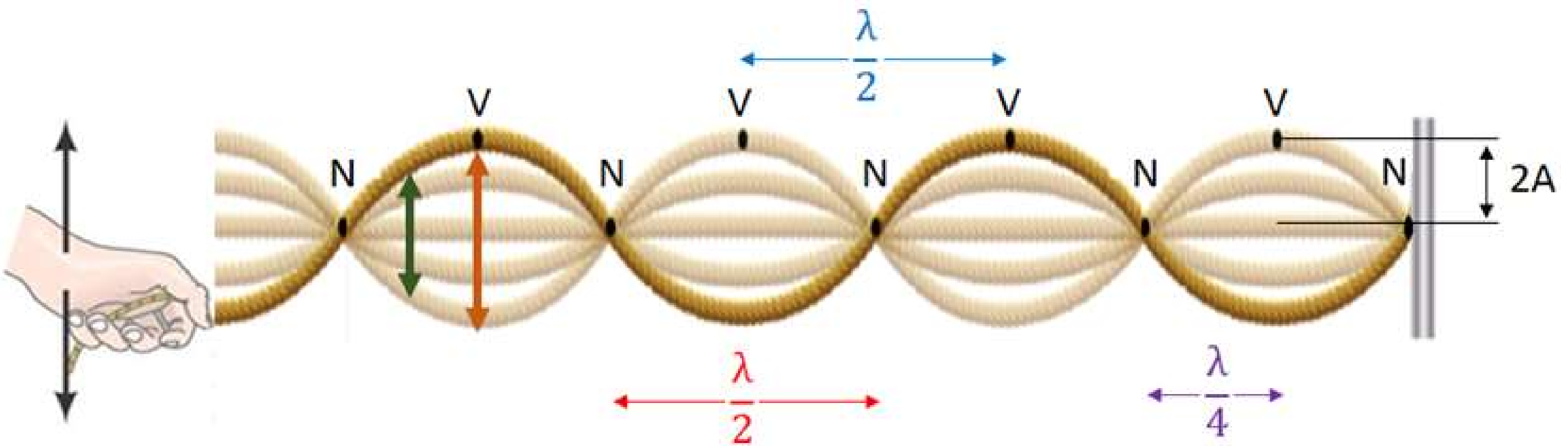
# Onda estacionária

Onda estacionária
- Reflexão
- Interferência

| | Ondas originais | Onda estacionária |
|---|---|---|
| Amplitude | A | 2A |
| Comp. de onda | λ | λ |
| Frequência | f | f |

$$V = \lambda \, . \, f$$

- Nó: interferência destrutiva
- Ventre: interferência construtiva



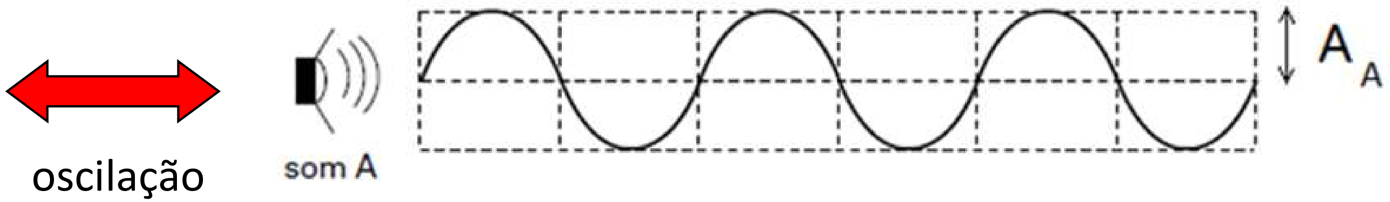
## Intensidade

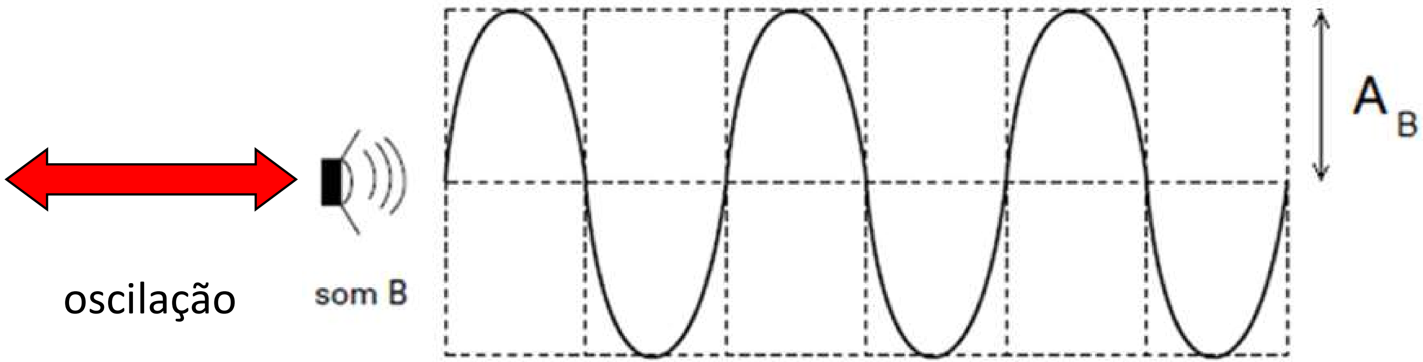
**Intensidade do som:** característica associada à amplitude

Volume do som ⇕ intensidade

Som mais intenso → som forte → maior amplitude
Som menos intenso → som fraco → menor amplitude

**Exemplo:**

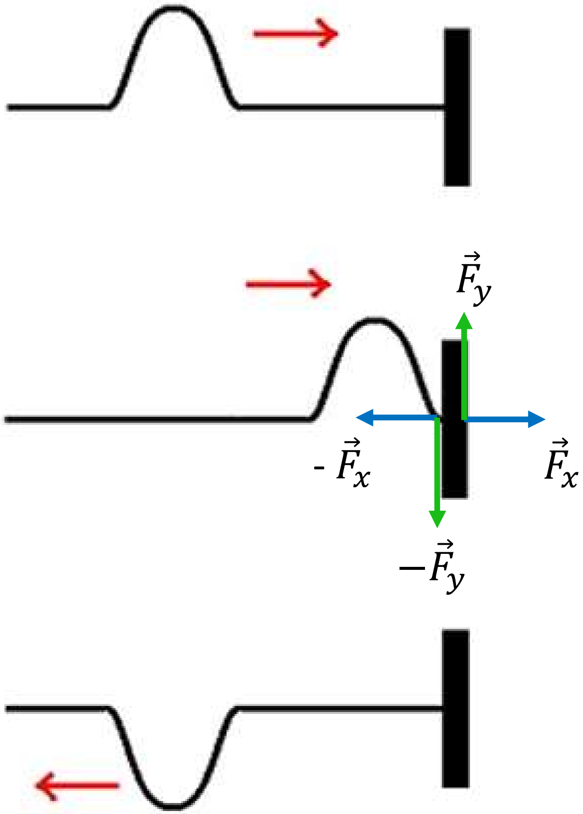


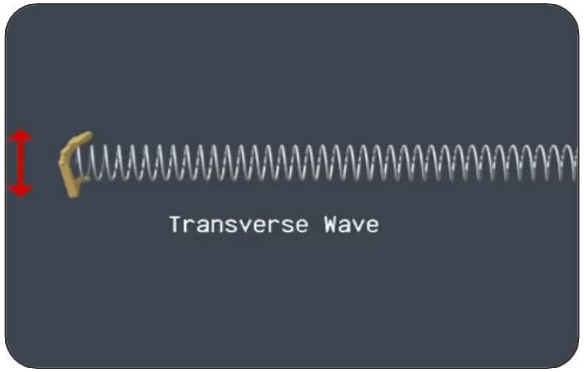




- $A_B > A_A$
- O som B é mais intenso do que o som A
- O som B é mais forte do que o som A

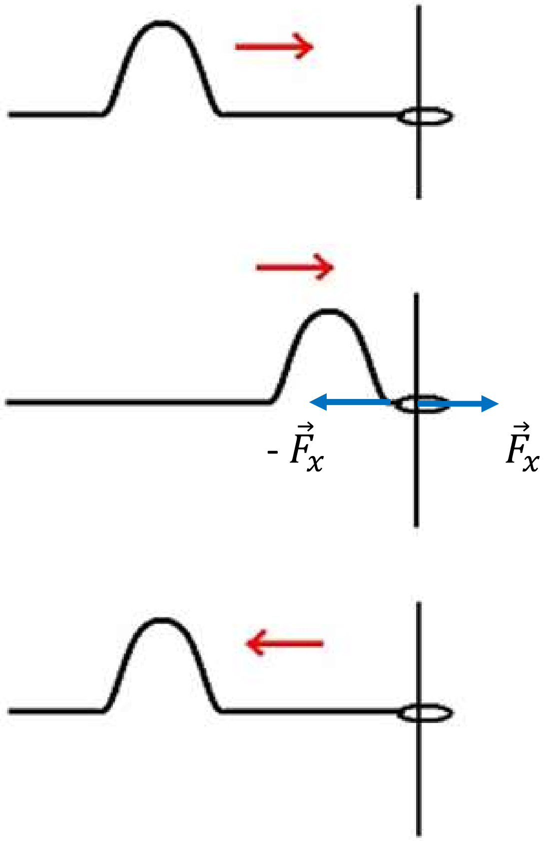
## Reflexão de pulsos

Extremidade fixa




Extremidade livre




Reflexão com inversão de fase

Reflexão sem inversão de fase

## Reflexão de pulsos

Extremidade fixa

Reflexão com inversão de fase

Extremidade livre

Reflexão sem inversão de fase

**Refração de pulsos**

$\mu_B > \mu_A$

Reflexão com inversão de fase

Reflexão sem inversão de fase

Os pulsos refratados não sofrem inversão de fase.