

# Experimento de Acústica

Determinação Experimental da Velocidade do Som no Ar

**Grupo AD 11**

Gabriel Humberto Dias Coelho, 234864

Pedro José Silva dos Santos, 204675

Pedro Sader Azevedo, 243245

Rodrigo Velásquez Solha, 165538

Stella Riko Uchidomari Nakamura, 193953

Yuan Shi Ki, 195766

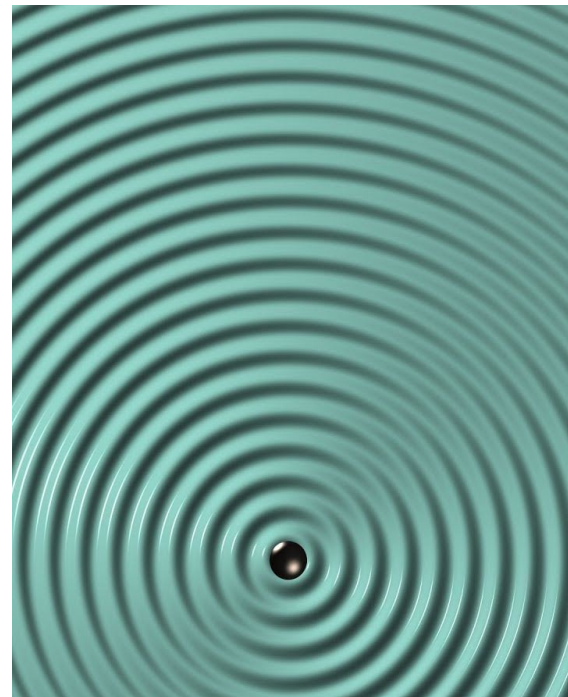
# Objetivo

Determinar a velocidade de propagação do som no ar (meio translúcido)

$$v = \lambda f$$

Quem dera...

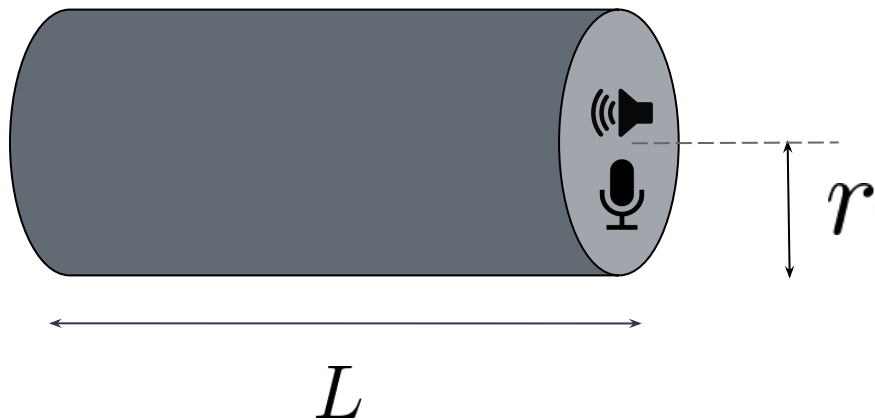
Solução: medir frequências de ressonância!



# Tubos

1. Fundamentação Teórica
2. Metodologia
3. Previsões
4. Resultados

# Fundamentação Teórica – Tubos



Condições:  $r < \lambda \ll L$

$$\gamma = 0$$

**Aproximação:** ondas planas

**Consequências:**

tubos aberto-aberto  $f_{harm} = \frac{nv}{2L}$

tubos aberto-fechado  $f_{harm} = \frac{nv}{4L}$

para n ímpar

**Hipótese:**

picos de pressão para  $f = f_{harm}$

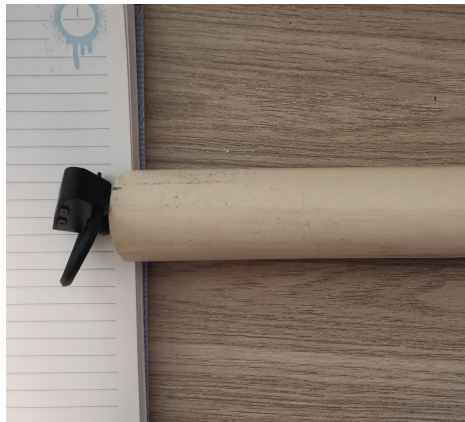
# Metodologia – Tubos

## Materiais

Cano, celular (*Phyphox*), fone de ouvido com microfone, fita adesiva

## Procedimento

1. Medir a geometria do tubo
2. Configurar faixa de frequências
3. Fazer medida de calibração
4. Fazer medida com o aparato experimental



# Previsões – Tubos

$$f_{harm} = \frac{nv}{2L}$$

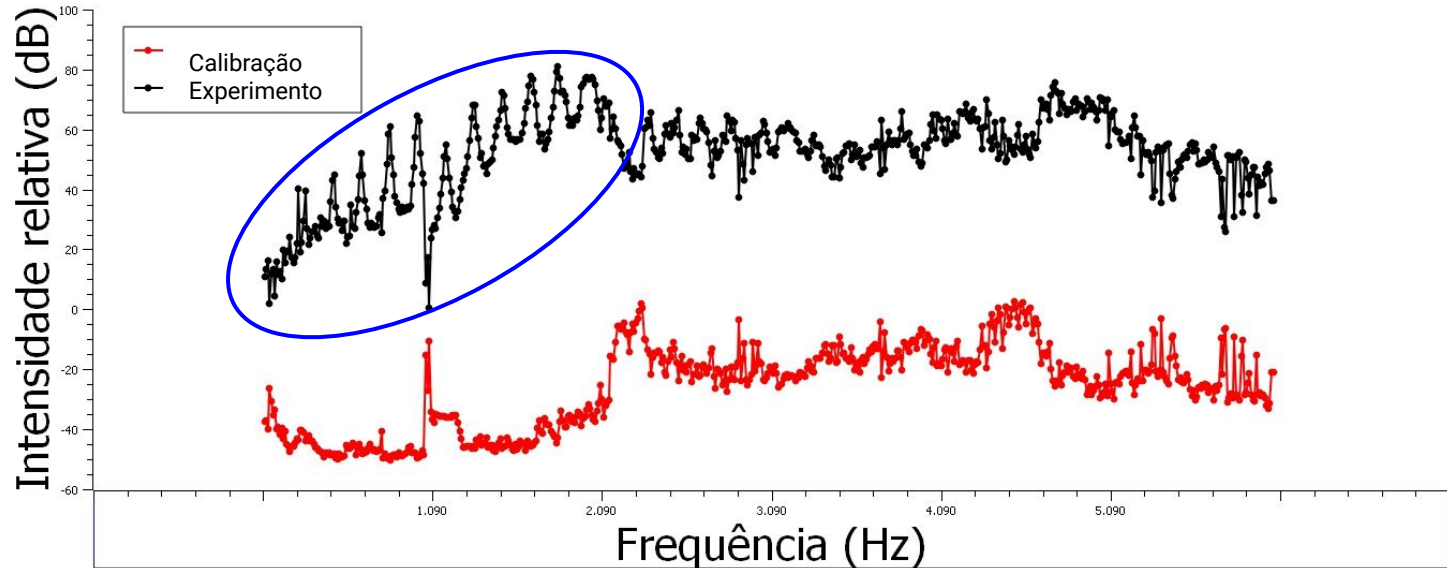
$$L = 1,001 \text{ m}$$

$$v = 340,27 \text{ m/s}$$

(Wolfram Alpha)

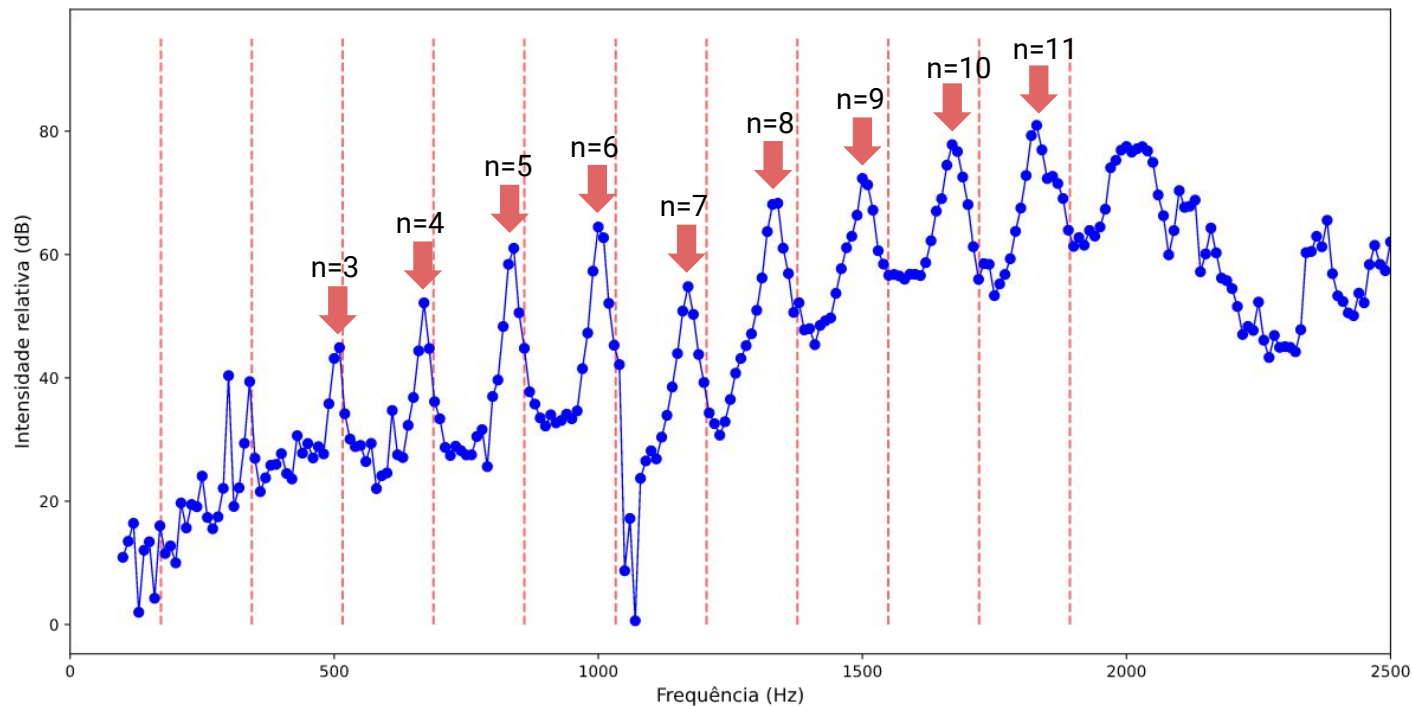
Modo harmônico	Frequência esperada no tubo aberto-aberto(Hz)
1	172
2	344
3	516
4	688
5	860
6	1033
7	1205
8	1377
9	1549
10	1721
11	1893

# Resultados – Tubos



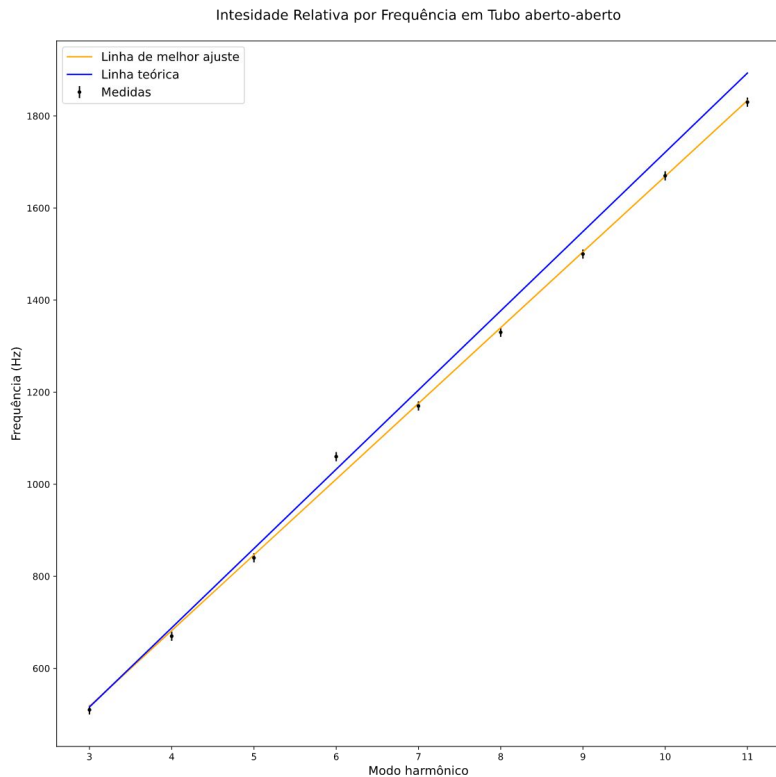
# Resultados – Tubos

Intensidade Relativa por Frequência em Tubo aberto-aberto





# Resultados – Tubos



$$a = 164 \pm 1 s^{-1}$$

× 2L

$$v_{tubo} = 336 \pm 2 m/s$$

# Discussão dos Resultados

## Tubos

$$v_{tubo} = 336 \pm 2 \text{ m/s}$$

$$E_{\%} = \frac{|v_{tubo} - v|}{v} = 1,25\%$$

## Por que o resultado foi tão exato?

- Escolha do melhor tamanho de tubo (ver anexos)
- Geometria simples, em comparação a ressoadores

## Por que o resultado foi tão preciso?

- Minimização de incertezas aleatórias (Tipo A) com múltiplas medidas

## Como melhorar?

- Minimizar incertezas sistemáticas (Tipo B) usando instrumentos de medida mais adequados, por exemplo um paquímetro ao invés de uma régua.

Dúvidas?

# Referências

Imagem das ondas sonoras <https://www.youtube.com/watch?v=z63fJUROeN0>

Imagem de ressoador [https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz\\_resonance](https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz_resonance)

Imagem da garrafa <https://www.embavalesul.com.br/produtos/detalhe/garrafa-para-vinho-bordeaux-conica-750>

Guia de laboratório

# Tubo Pequeno

Fizemos previsões e algumas experiências com um tubo de 22,5 cm, mas os resultados não foram promissores

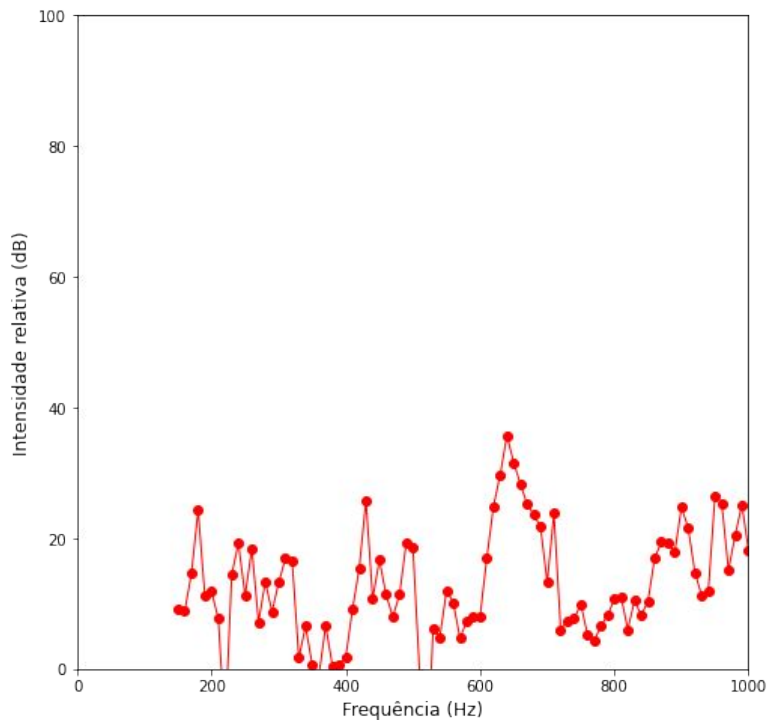
Modo harmônico	Frequência esperada no tubo pequeno aberto-aberto (Hz)
1	42
3	126
4	168
5	210
6	252
7	294
8	336
9	378
10	420
11	462
12	504
13	546
14	588
15	630
16	672
17	714
18	756
19	798
20	840

# Tubo Pequeno

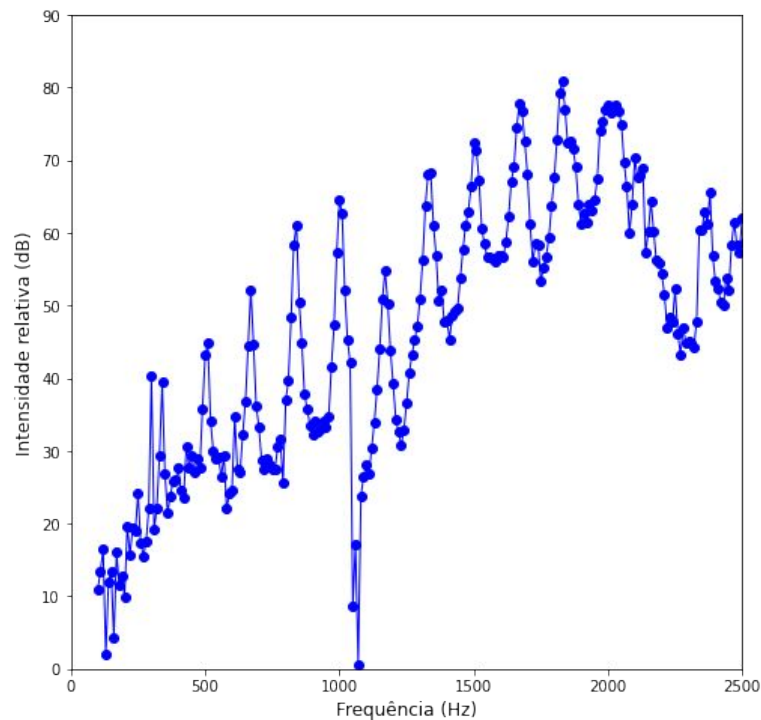


# Tubo Pequeno – Tubo Grande

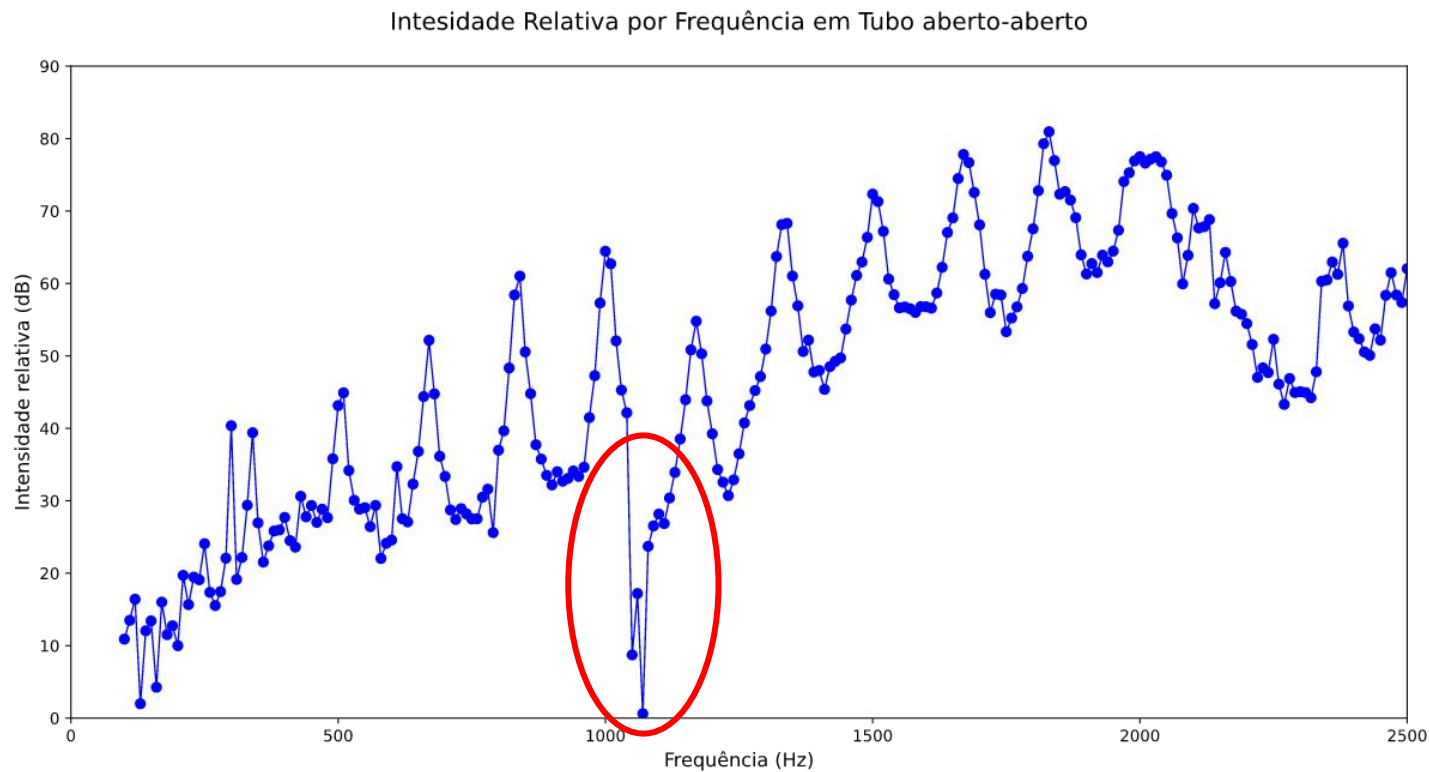
Intensidade Relativa por Frequência em Tubo aberto-aberto



Intensidade Relativa por Frequência em Tubo aberto-aberto



# Ruído externo?





# Fontes de Incerteza – Tubos

Comprimento
Leitura da fita métrica
Terminação do tubo
Efeito paralaxe

Diâmetro
Leitura da régua
Terminação do tubo
Efeito paralaxe
Alinhamento da régua com o diâmetro do tubo

Frequência harmônica
Determinação dos picos

# Output do programa

▶ ▶≡ M↓

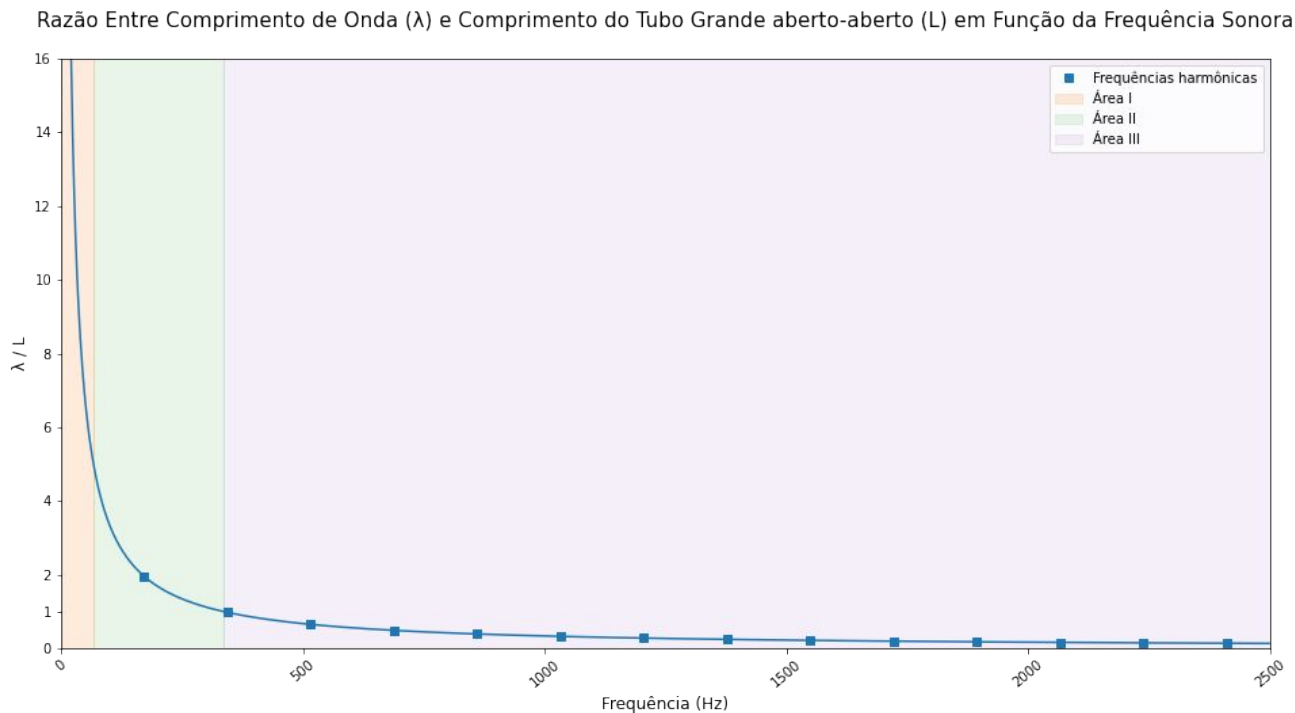
```
a, b = regressao_linear(x_tubo, y_exp_tubo_grande, 8)
# print(a)
print('coeficiente angular corrigido', 'a =', a*(2*COMPRIMENTO_EFETIVO_TUBO_GRANDE))
print('coeficiente linear corrigido', 'b =', b*(2*COMPRIMENTO_EFETIVO_TUBO_GRANDE))
```

```
coeficiente angular corrigido a = 336.6+/-2.1
coeficiente linear corrigido b = 49+/-16
```

$$a = 336 \pm 2 \text{ m/s}$$

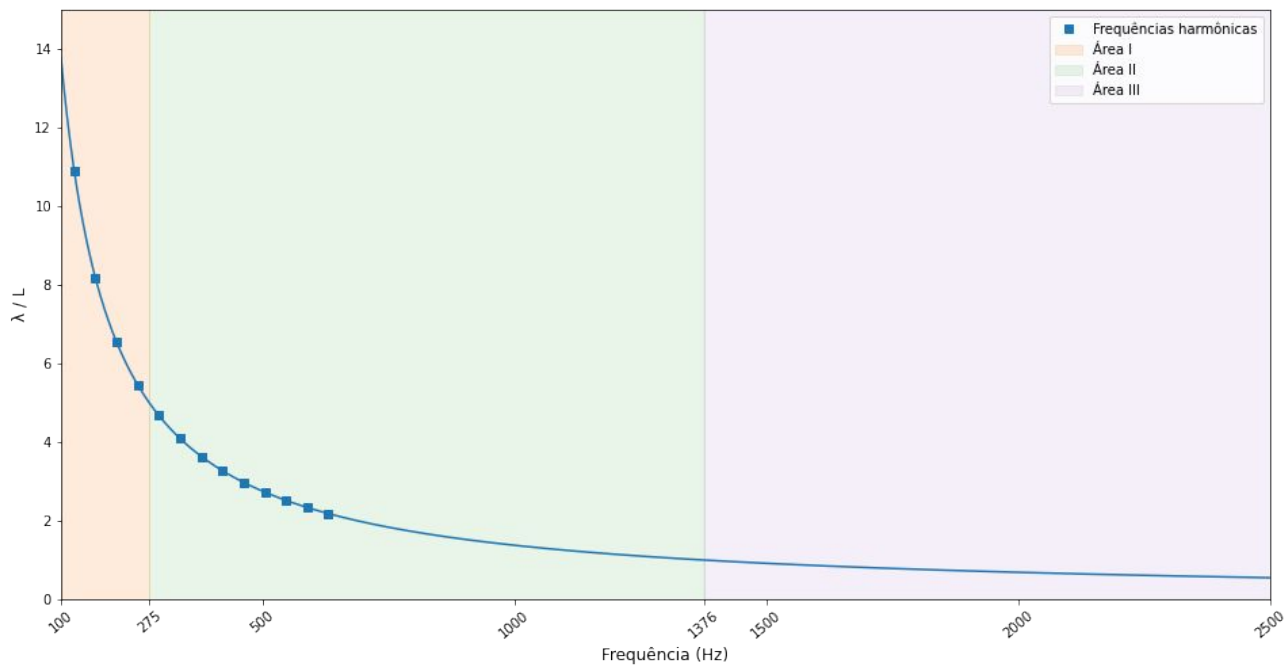
$$b = 49 \pm 16 \text{ m/s}$$

# Preferência pelo Tubo Grande



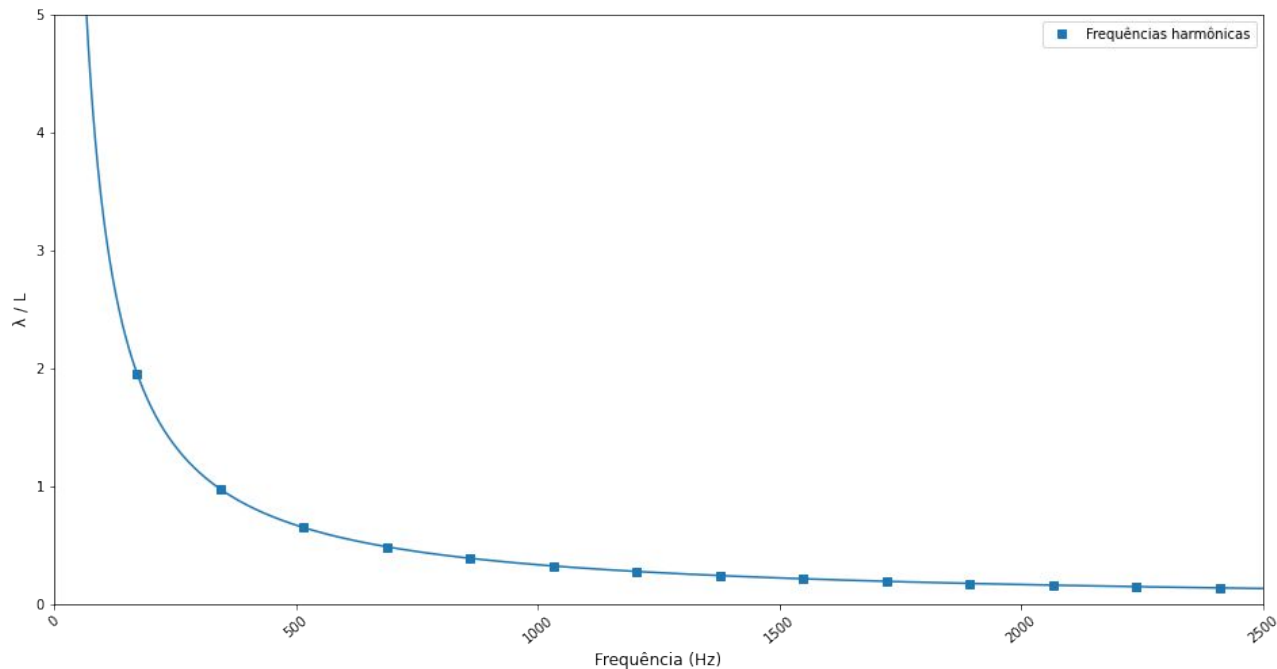
# Preferência pelo Tubo Grande

Razão Entre Comprimento de Onda ( $\lambda$ ) e Comprimento do Tubo Pequeno aberto-aberto (L) em Função da Frequência Sonora



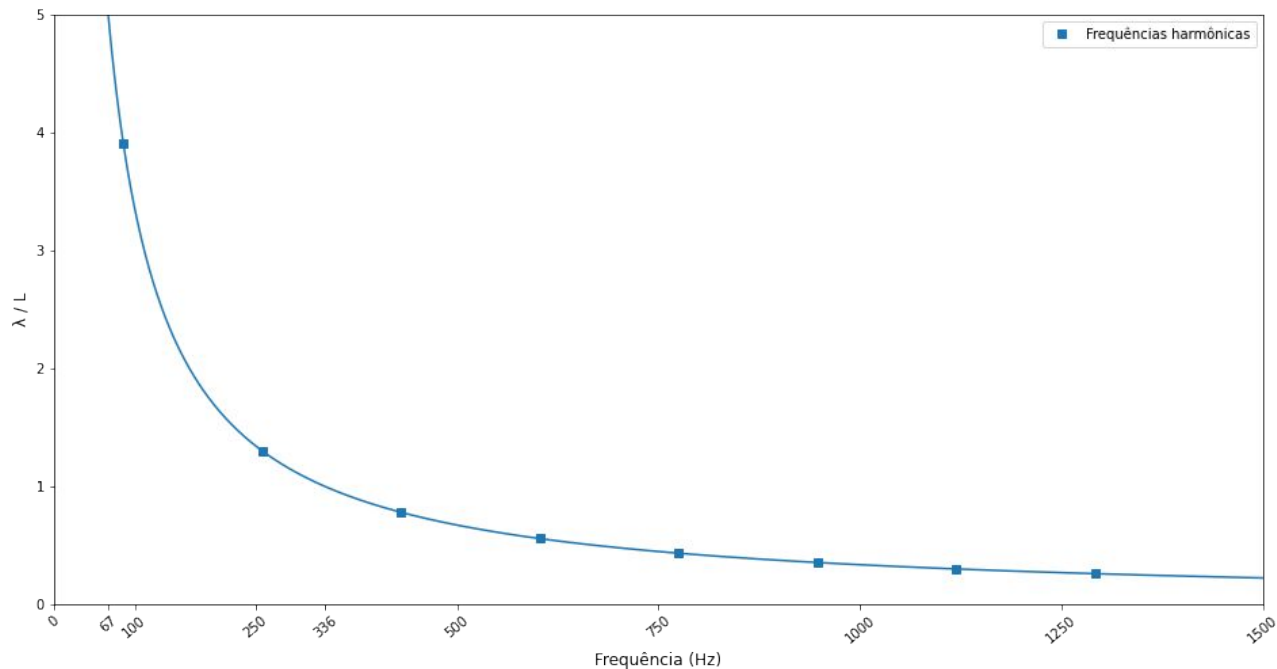
# Preferência pelo Tubo aberto-aberto

Razão Entre Comprimento de Onda ( $\lambda$ ) e Comprimento do Tubo Grande aberto-aberto (L) em Função da Frequência Sonora



# Preferência pelo Tubo aberto-aberto

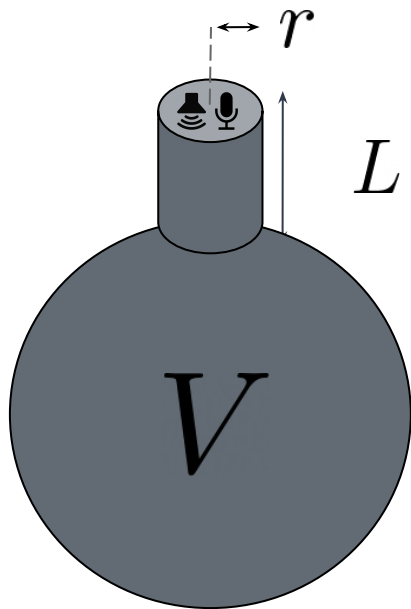
Razão Entre Comprimento de Onda ( $\lambda$ ) e Comprimento do Tubo Grande aberto-fechado (L) em Função da Frequência Sonora



# Ressoadores

1. Fundamentação Teórica
2. Metodologia
3. Previsões
4. Resultados

# Fundamentação Teórica – Ressonadores



Condições:  $V_{gargalo} \ll V$      $\gamma = 0$

**Aproximação:** ar como corpo rígido

**Consequência:**

$$f_{harm} = \frac{vr}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi}{LV}}$$

para o harmônico fundamental

**Hipótese:**

picos de pressão para  $f = f_{harm}$



# Metodologia – Ressonadores

## Materiais

Garrafa, celular (*Phyphox*), fone de ouvido com microfone, fita adesiva

## Procedimento

1. Medir geometria da garrafa
2. Configurar faixa de frequências
3. Fazer medida de calibração
4. Fazer medida com o aparato experimental



# Previsões – Ressonadores

$$f_{harm} = \frac{vr}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi}{LV}}$$

$$L = 0,100 \text{ m}$$

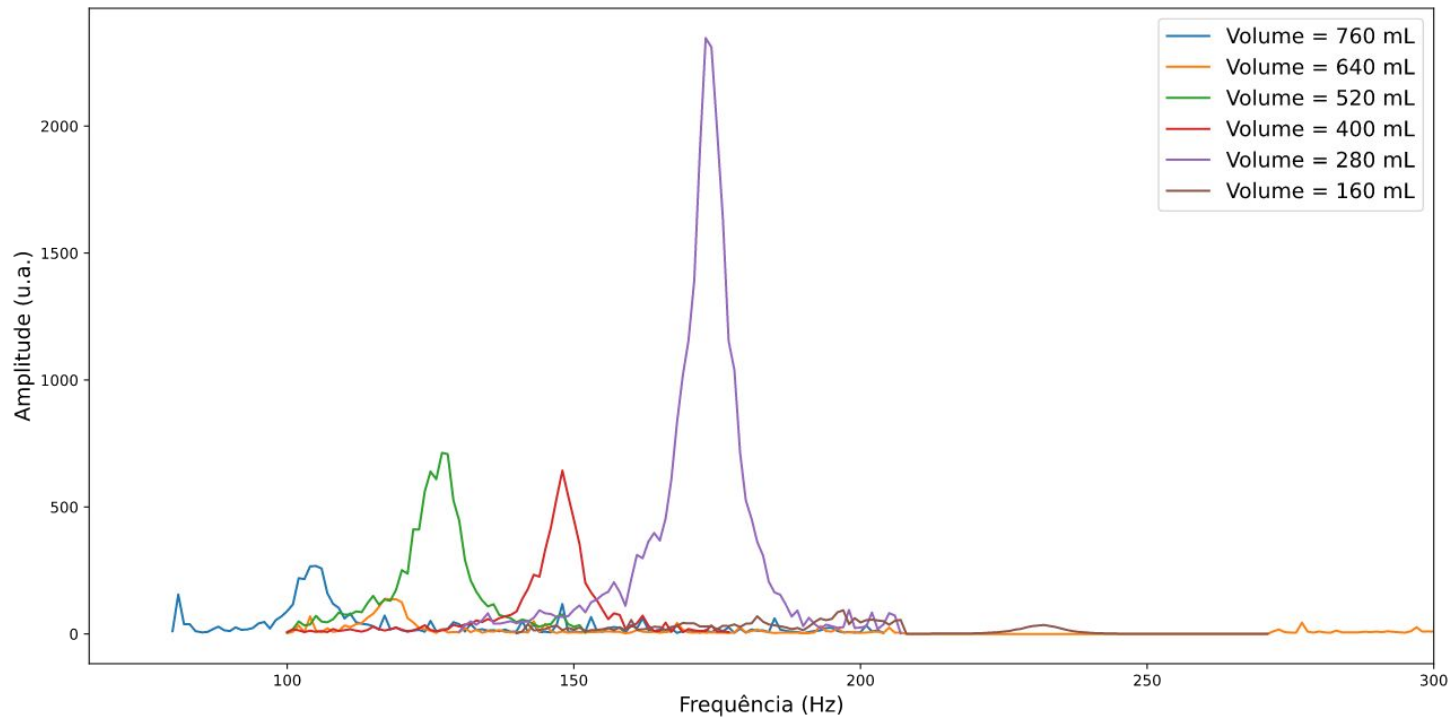
$$r = \frac{25}{2}$$

$$v = 340,27 \text{ m/s}^2$$

Volume ( $10^{-5}\text{m}^3$ )	Frequência fundamental (Hz)
16	276
20	247
24	225
28	208
32	195
36	184
40	174
44	166
48	159
52	153
56	147
60	142
64	138
68	134
72	130
76	127

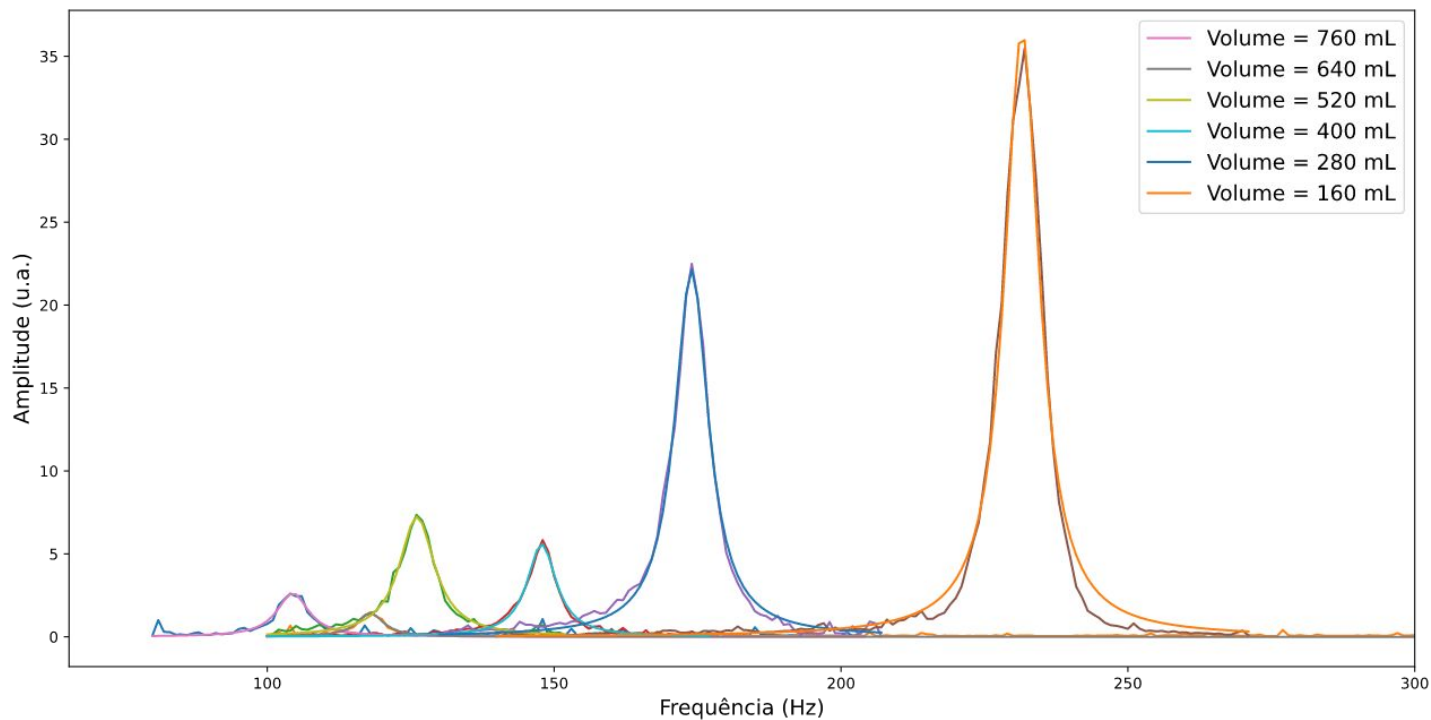
# Resultados – Ressonadores

Amplitude por Frequência em um Ressonador de Helmholtz



# Resultados – Ressonadores

Regressão Lorentziana de Amplitude por Frequência em um Ressonador de Helmholtz

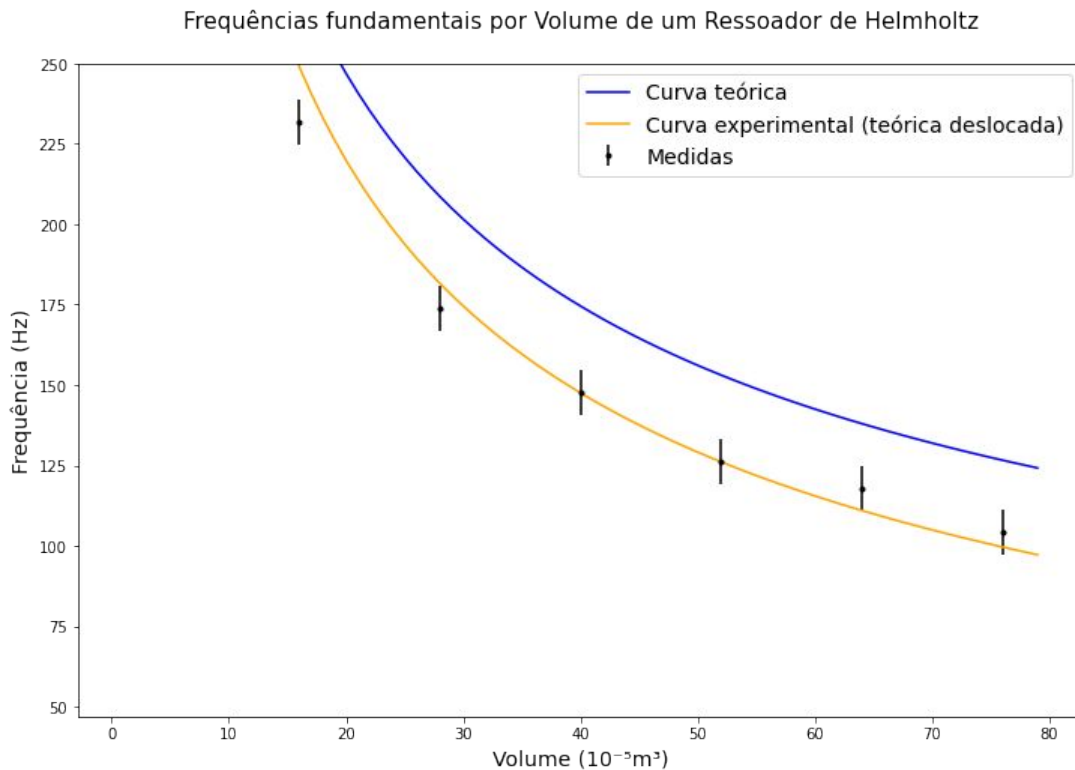


# Resultados – Ressonadores

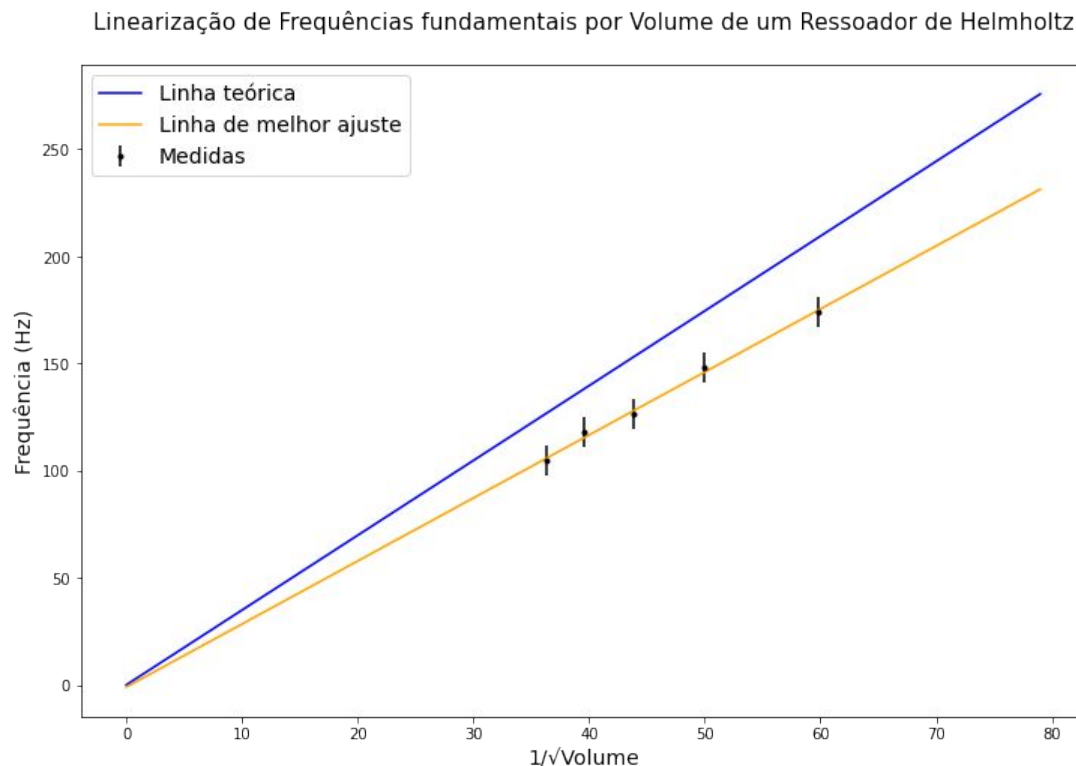
Usando a equação

$$f_{harm} = \frac{vr}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi}{LV}}$$

para traçar uma curva teórica  
temos o seguinte gráfico:



# Resultados – Ressonadores



$$a = 2.9 \pm 0.4$$

$$d = \frac{r}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi}{LV}}$$



$$\frac{a}{d} = v_{ress} = 242 \pm 16 \text{ m/s}^2$$

# Tubos X Ressonadores

Em qual dos experimentos conseguimos resultados melhores? Por quê?

# Discussão dos Resultados

## Tubos

$$v_{tubo} = 329 \pm 2 m/s^2$$

$$E_{\%} = \frac{|v_{tubo} - v|}{v} = 3,3\%$$

## Ressoadores

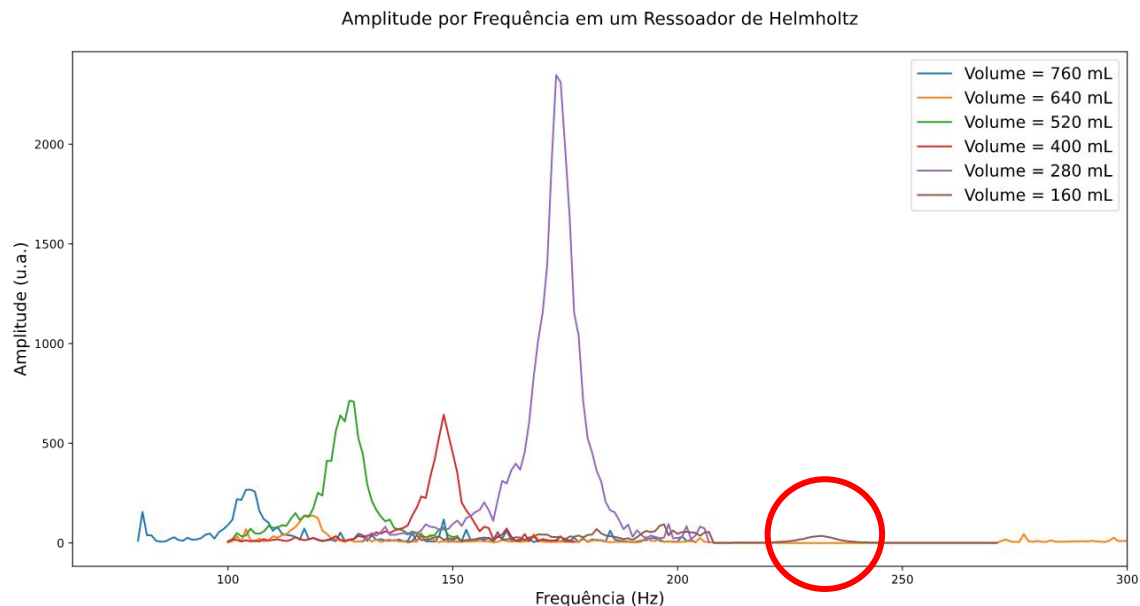
$$v_{ress} = 242 \pm 16 m/s^2$$

$$E_{\%} = \frac{|v_{ress} - v|}{v} = 29,2\%$$



# Porque o resultado dos ressoadores foi tão inexato?

Primeiro suspeito: pico aparentemente mal-definido



Repetindo os cálculos sem o pico destacado obtivemos:

$$v_{ress} = 241 \pm 31 \text{ m/s}^2$$

Então não era isso...

# Porque o resultado dos ressoadores foi tão inexato?

Segundo suspeito:

geometria do nosso ressoador

$$V_{\text{gargalo}} \ll V \equiv \textit{Falso}$$

(gargalo com volume não desprezível)



# Porque o resultado dos ressoadores foi tão inexato?

Segundo suspeito:

geometria do nosso ressoador

$$V_{gargalo} \ll V \equiv \textit{Falso}$$

(gargalo com volume não desprezível)



# Fontes de Incerteza – Ressonadores

Comprimento do gargalo
Leitura da fita métrica
Terminação do tubo
Efeito paralaxe

Diâmetro do gargalo
Leitura da régua
Terminação do tubo
Efeito paralaxe
Alinhamento da régua com o diâmetro do tubo

Volume principal
Leitura do medidor
Terminação do volume e início do gargalo

Frequência harmônica
Determinação dos picos