

**MINISTÉRIO DA DEFESA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**



(REAL ACADEMIA DE ARTILHARIA, FORTIFICAÇÃO E DESENHO, 1792)

**SEÇÃO DE ENSINO BÁSICO (SE/1)
FÍSICA EXPERIMENTAL II**

**EXPERIMENTO:
ONDA ESTACIONÁRIA**

PROFESSOR:
GERSON

TURMA: C

COMPONENTES DO GRUPO:
LAIS RODRIGUES DA ROSA
MATHEUS FERREIRA BERNARDES
TULIO ALEXANDRE P. E. DE VASCONCELOS
VITOR RAMOS REGINA

Sumário

1	Introdução Teórica	2
1.1	Características da Onda	3
1.2	Velocidade da Onda na Corda	3
1.3	Harmônicos	4
2	Descrição do experimento	5
2.1	Materiais Utilizados	5
2.2	Procedimento	5
3	Resultados e Discussões	7
4	Conclusão	9
5	Bibliografia	10

1 Introdução Teórica

As ondas estacionárias são um fenômeno físico que ocorre quando duas ondas de mesma frequência e amplitude, mas que se propagam em sentidos opostos, interferem entre si. Esse tipo de onda é comum em sistemas onde há reflexão, como em cordas com extremidades fixas ou livres, tubos sonoros e até em sistemas eletromagnéticos.

Quando uma onda incidente atinge uma extremidade fixa, ela é refletida com uma mudança de fase de 180 graus. A superposição da onda incidente e da onda refletida resulta em uma onda estacionária.

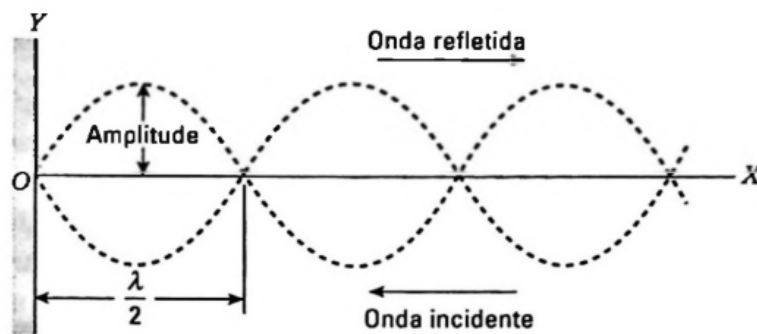


Figura 1: Formação de uma onda estacionária.

A equação que descreve o deslocamento ξ de um ponto em uma corda com uma extremidade fixa é dada por:

$$\xi(x, t) = 2\xi_0 \sin(kx) \cos(\omega t) \quad (1)$$

onde:

- ξ_0 é a amplitude da onda incidente.
- k é o número de onda.
- ω é a frequência angular.
- x é a posição ao longo da corda.
- t é o tempo.

1.1 Características da Onda

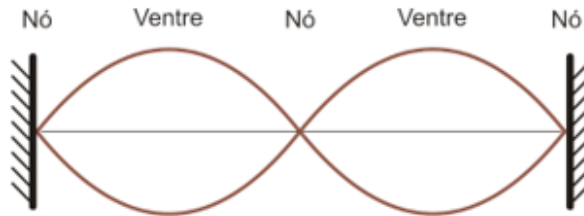


Figura 2: Características da onda

- Nós: Pontos onde a amplitude da onda é sempre zero. Ocorrem em posições onde:

$$x = \frac{n\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

- Distância entre nós: A distância entre dois nós consecutivos é:

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

onde λ é o comprimento de onda.

- Ventres: Pontos onde a amplitude da onda é máxima.

Outra característica dessas ondas é a capacidade de formar padrões em espaços fixos. Cada padrão tem uma frequência chamada de harmônico.

1.2 Velocidade da Onda na Corda

A velocidade da onda pode ser determinada pela equação de Taylor:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (2)$$

onde:

- T é a tração na corda;
- μ é a densidade linear da corda.

1.3 Harmônicos

Para determinar a frequência de um harmônico, utilizamos a equação da onda $v = \lambda f$. Como $\lambda = \frac{2L}{n}$, substituindo na equação e isolando f , temos:

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (3)$$

onde:

- n é o número do harmônico;
- L é o comprimento da corda;
- T é a tração na corda;
- μ é a densidade linear da corda.

2 Descrição do experimento

2.1 Materiais Utilizados

Os seguintes materiais foram empregados na realização do experimento:

- Vibrador
- Corda
- Polia
- Peso de 199,77 g (figura 3)
- Balança
- Oscilador (figura 4)



Figura 3: Peso suspenso



Figura 4: Oscilador

2.2 Procedimento

Uma extremidade da corda foi fixada ao vibrador, enquanto a outra foi presa a um peso suspenso de 199,77 g. A corda foi mantida sob tensão, com um comprimento de 1,115 m entre o ponto fixo no vibrador e o ponto de contato com a polia.

A frequência do oscilador foi então ajustada progressivamente até a identificação das frequências correspondentes aos cinco primeiros harmônicos. Após essa determinação, os valores foram registrados para análise posterior.

Além disso, um segmento da corda foi medido e pesado para o cálculo de sua densidade linear. Esse valor foi comparado com a densidade linear determinada por meio das equações dos harmônicos, permitindo a validação dos resultados experimentais.

3 Resultados e Discussões

Para calcular μ_1 , medimos um segmento de 2,052 m da corda, que foi pesado em uma balança, obtendo-se uma massa de $0,52 \times 10^{-3}$ kg. O cálculo da densidade linear é dado por:

$$\mu_1 = \frac{m}{L} = \frac{0,52 \times 10^{-3}}{2,052} = 0,253 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}} \quad (4)$$

Experimentalmente, determinamos as frequências dos cinco primeiros harmônicos:

n	f_n (Hz)	$\lambda_n = \frac{L}{2n}$ (m)	$v = \lambda f$ (m/s)
1	38,93	0,557	21,70
2	79,79	0,279	22,24
3	121,12	0,186	22,51
4	159,38	0,139	22,21
5	199,24	0,116	22,21

Tabela 1: Valores experimentais dos cinco primeiros harmônicos.

A seguir, foi realizada uma regressão linear do gráfico de f versus n :

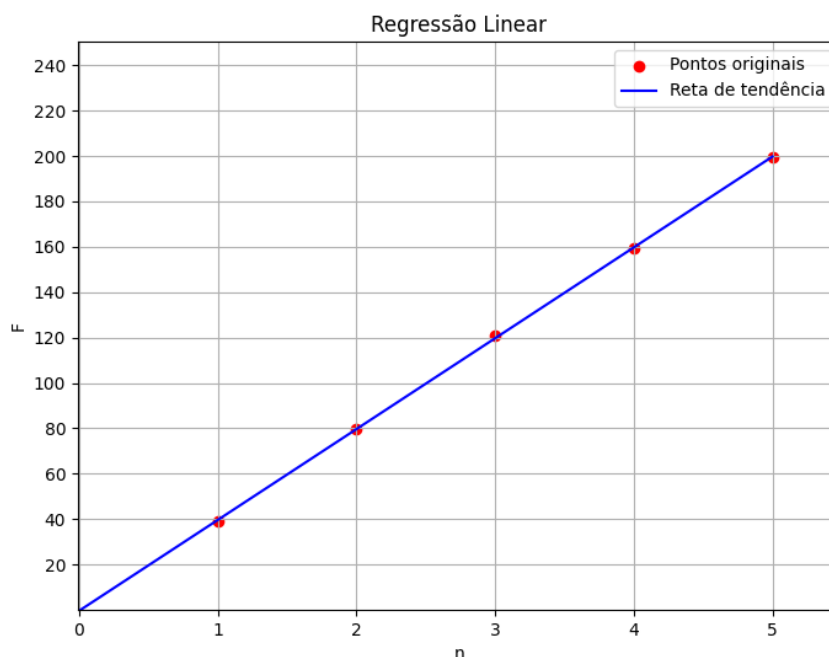


Figura 5: Gráfico da regressão linear, cuja equação ajustada é $f = 40,02n - 37$.

A equação teórica que relaciona a frequência com a densidade linear da corda é dada por:

$$\text{Coeficiente angular} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu_2}} \quad (5)$$

Isolando μ_2 :

$$\mu_2 = \frac{T}{4L^2(\text{coeficiente angular})^2} \quad (6)$$

Substituindo os valores experimentais:

$$\mu_2 = \frac{0,199 \times 9,81}{4 \times (1,115)^2 \times (40,02)^2} = 0,245 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}} \quad (7)$$

O erro relativo entre μ_1 e μ_2 é calculado por:

$$\epsilon = \frac{|\mu_2 - \mu_1|}{\mu_1} = \frac{|0,245 - 0,253|}{0,253} = 0,032 = 3,2\% \quad (8)$$

Os resultados obtidos podem ser influenciados por diversos fatores experimentais. Entre eles, destacam-se possíveis erros na calibragem da balança, que afetam a precisão da medição da massa da corda, bem como erros visuais ao identificar a frequência correta de cada harmônico. Essas incertezas podem impactar a determinação da densidade linear e, conseqüentemente, a análise dos resultados.

4 Conclusão

Através da observação da formação das ondas na corda e da visualização dos harmônicos formados, pudemos perceber como uma onda estacionária é formada. Ao construir o gráfico e analisar as frequências correspondentes a cada harmônico, percebemos que este se assemelha muito a uma reta, e que cada harmônico é muito próximo de um múltiplo da frequência fundamental, apresentando pequenas variações devido a erros experimentais e fatores externos. Essa observação demonstra a previsibilidade de ondas estacionárias e a formação de padrões vibratórios.

Além disso, ao serem submetidos à fórmula de Taylor, os valores de densidade linear e tensão da corda puderam ser relacionados à velocidade da onda na corda, oferecendo uma visão quantitativa do experimento, que permitiu explorar implicações práticas do experimento na engenharia e na física experimental.

Por fim, também foi possível observar o erro da densidade linear da corda calculado pelo coeficiente angular do gráfico e pela massa, medida na balança. Esse erro, evidencia a presença de fatores adversos que interferem na idealidade do experimento, como erros humanos, o erro na medida da massa da corda e a extremidade da fonte, que não se comportava como nó ideal.

5 Bibliografia

Referências

- [1] ALONSO, M.; FINN, E. J. *Física: Um Curso Universitário – Mecânica, Vol. 2.* São Paulo: Edgard Blücher, 2009.
- [2] NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica, Vol. 2.* 5^a ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.