Experimento 4 - Velocidade do Som

Bruna Miyuki Ikenaga de Brito

Introdução

As ondas estacionárias são obtidas através da reflexão de uma onda em uma extremidade. Neste experimento, será calculada a velocidade do som no ar, utilizando um tubo de ressonância, partindo do conceito de ondas estacionárias e seus possíveis modos de vibração.

As ondas sonoras, assim como as demais ondas, a seguinte equação que torna possível calcular sua velocidade, que relaciona a frequência de oscilação (f) e o comprimento de onda (λ):

$$v = \lambda f \quad (1)$$

Nesta atividade, o tubo de ressonância utilizado terá uma extremidade aberta e outra fechada. A extremidade fechada é móvel e é responsável pela reflexão da onda e, em determinadas frequências, ocorre a sobreposição das ondas, que pode ser detectada a partir da movimentação da extremidade fechada que se comporta como um nó de deslocamento. Assim, o tubo tem seu comprimento L definido por:

$$L = \frac{\lambda n}{4}, \quad n = 1, 3, 5, 7 \ldots \quad (2)$$

Por fim, a relação entre a temperatura e a velocidade também será abordada partindo da seguinte equação: $V(T) = V_0 \sqrt{1 + \beta T}$ (3). Sendo V(T) e V_0 a velocidade do som, respectivamente, a uma temperatura T e 0°C e $\beta = 1/273$ (°C^{-1}).

Metodologia

Na primeira parte, as frequências foram pré-determinadas por um gerador de função. A extremidade fechada foi movimentada utilizando-se um ímã a fim de encontrar as posições de intensidade máxima do som (ressonância). Essas posições foram marcadas e todos os dados distribuídos nas tabelas que serão discutidas.

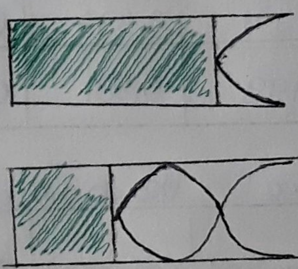

Figura 1

Na segunda parte, substituindo o gerador de função, o diapasão foi posicionado de modo que as vibrações ocorressem perpendicularmente a extremidade aberta e um martelo de borracha foi usado para causar as vibrações. A extremidade fechada foi movimentada alterando o comprimento do tubo assim como na etapa anterior. Mediu-se a temperatura da sala (T).

- Incerteza do termômetro = ± 0,5°C
- Incerteza da trena = ± 0,005 m
- Incerteza do gerador = ± 1 Hz
- T = 24,0°C

1ª parte:

• Tabela 1 → f= 425,99 Hz

n	med1(m)	medida 2(m)	medida 3(m)	média	erro da média	λ(m)	incerteza associada ao λ	v(m/s)	incerteza associada a V
1	0,175	0,185	0,184	0,181	0,007	0,725	0,020	309	8
3	0,582	0,589	0,587	0,587	0,006	0,781	0,007	333	3
5	0,997	0,991	0,992	0,992	0,006	0,795	0,005	339	2

• Tabela 2 → f= 376,34 Hz

n	med1(m)	medida 2(m)	medida 3(m)	média	erro da média	λ(m)	incerteza associada ao λ	v(m/s)	incerteza associada a V
1	0,212	0,205	0,204	0,207	0,007	0,828	0,020	312	8
3	0,665	0,663	0,659	0,662	0,006	0,883	0,007	332	3
5	1,111	1,119	1,117	1,116	0,007	0,893	0,005	335,9	2

• Tabela 3 → f= 479,30 Hz

n	med1(m)	medida 2(m)	medida 3(m)	média	erro da média	λ(m)	incerteza associada ao λ	v(m/s)	incerteza associada a V
1	0,162	0,161	0,163	0,162	0,005	0,648	0,020	311	10
3	0,521	0,522	0,520	0,521	0,005	0,695	0,007	333	3
5	0,872	0,877	0,879	0,876	0,006	0,701	0,005	335,9	2

• Tabela 4 → f= 525,06 Hz

n	med1(m)	medida 2(m)	medida 3(m)	média	erro da média	λ(m)	incerteza associada ao λ	v(m/s)	incerteza associada a V
1	0,140	0,141	0,141	0,141	0,005	0,563	0,020	295	5
3	0,469	0,471	0,477	0,472	0,006	0,630	0,007	331	4
5	0,800	0,799	0,801	0,800	0,005	0,640	0,005	336	3

2ª parte: Tabela 5 → Uso do diapasão (frequência desconhecida)

n	med1(m)	medida 2(m)	medida 3(m)	média	erro da média	λ(m)	incerteza associada ao λ
1	0,118	0,126	0,119	0,121	0,007	0,484	0,020
3	0,398	0,389	0,381	0,390	0,010	0,519	0,007
5	0,657	0,656	0,639	0,650	0,010	0,521	0,005

Análise de dados

a) Os comprimentos de onda dos sons examinados estão apresentados nas tabelas (1, 2, 3, 4, 5).
Foi calculado a partir da equação (2): $L = \frac{\lambda n}{4} \rightarrow \lambda = \frac{4L}{n}$

b) As extremidades aberta e fechada funcionaram como um nó de pressão e deslocamento respectivamente, assim nas extremidades não ocorre ressonância, podendo desprezar as medidas das extremidades.

c) Conhecendo os comprimentos de onda (item a) e com as frequências dadas nas tabelas 1, 2, 3, 4 pode-se calcular a velocidade do som (apresentada nas tabelas) a partir da equação (1): $V = \lambda f$.

$\cdot f = 425,99 Hz \rightarrow \bar{v} = 327 m/s$ $\quad$ $\cdot f = 479,30 Hz \rightarrow \bar{v} = 326 m/s$ $\quad$ Assim, $\bar{V}_t = 325 m/s$.

$\cdot f = 376,34 Hz \rightarrow \bar{v} = 327 m/s$ $\quad$ $\cdot f = 525,06 Hz \rightarrow \bar{v} = 321 m/s$

d) A partir da equação (1), têm-se: $\lambda = V/f$. Desse modo, traçando λ versus $1/f$, o coeficiente angular do gráfico é numericamente igual a velocidade. Para a construção do gráfico, foi usado o valor médio de λ, para diminuir erros. A velocidade encontrada foi $V = 339 m/s$. O gráfico está no final do relatório.

e) Observa-se uma diferença da velocidade obtidas no item c e d. A velocidade do som no ar a 25°C é aproximadamente 340 m/s, desse modo, pode-se afirmar que o método gráfico foi mais preciso. No item c, foram usadas todos os valores de λ para a determinação na velocidade. No item d, no entanto, ao se construir o gráfico, a reta tende a minimizar os erros das medidas, melhorando o resultado.

f) Conhecendo o valor de V e λ, substituindo na equação (1) encontra-se a frequência: $\left(\begin{array}{l} V_a = 325 m/s \rightarrow \text{item c} \\ V_b = 339 m/s \rightarrow \text{item d} \end{array}\right)$

- $n = 1$: a) $V = 325 m/s \rightarrow f_{1a} = 675 Hz$ $\quad$ b) $V = 339 m/s \rightarrow f_{1b} = 700 Hz$ $\quad$ $\bar{f}_1 = 687 Hz$
- $n = 2$: a) $V = 325 m/s \rightarrow f_{2a} = 626 Hz$ $\quad$ b) $V = 339 m/s \rightarrow f_{2b} = 653 Hz$ $\quad$ $\bar{f}_2 = 639 Hz$
- $n = 3$: a) $V = 325 m/s \rightarrow f_{3a} = 623 Hz$ $\quad$ b) $V = 339 m/s \rightarrow f_{3b} = 651 Hz$ $\quad$ $\bar{f}_3 = 637 Hz$

Assim, a frequência média é $\bar{f} = 654 Hz$

g) A velocidade do som a 0°C pode ser calculada a partir da equação (3): $V(T) = V_0\sqrt{1+\beta T}$. Utilizando $V = 332 m/s$, $(T = 24°C)$ média das velocidades encontradas nos itens c e d e manipulando a equação 3: $V_0 = \dfrac{332}{\sqrt{1 + 24/273}} = 318 m/s$

h) Como trata-se de duas ondas harmônicas iguais: $\begin{cases} y_1 = A\cos(kx - \omega t) \\ y_2 = A\cos(kx + \omega t) \end{cases}$

A superposição das ondas é descrita como $y = y_1 + y_2 = A\cos(kx - \omega t) + A\cos(kx + \omega t)$

Então, $y = A(\cos kx \cdot \cos\omega t + \sin kx \cdot \sin\omega t + \cos kx \cdot \cos\omega t - \sin kx \cdot \sin\omega t) = 2A\cos(kx)\cos(\omega t)$

Como a frequência angular é igual, $A(x) = 2A\cos(kx)$

Quando $\cos(kx) = 0$, a amplitude é mínima, assim, $kx = 0, \pi, \frac{2\pi}{4}, \ldots, \frac{n\pi}{2}$, com $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Assim, $x = \frac{n\pi}{2} \cdot \frac{\lambda}{2\pi} = \frac{n\lambda}{4}$ (equação 2)

d) Um método mais simples e barato de realizar o experimento seria utilizando água que se comunica com um tubo. A água funcionará como a parede móvel que determina o comprimento do tubo. Ao se colocar a fonte sonora na outra extremidade, a aparelhagem terá a mesma função. A água deve envolver apenas uma extremidade do tubo.

Conclusão

O experimento proporcionou o cálculo da velocidade do som e os resultados encontrados foram próximos dos esperados teoricamente. Ademais, foi possível observar a influência de outras grandezas e estudar mais fenômenos relacionados a ondulatória.

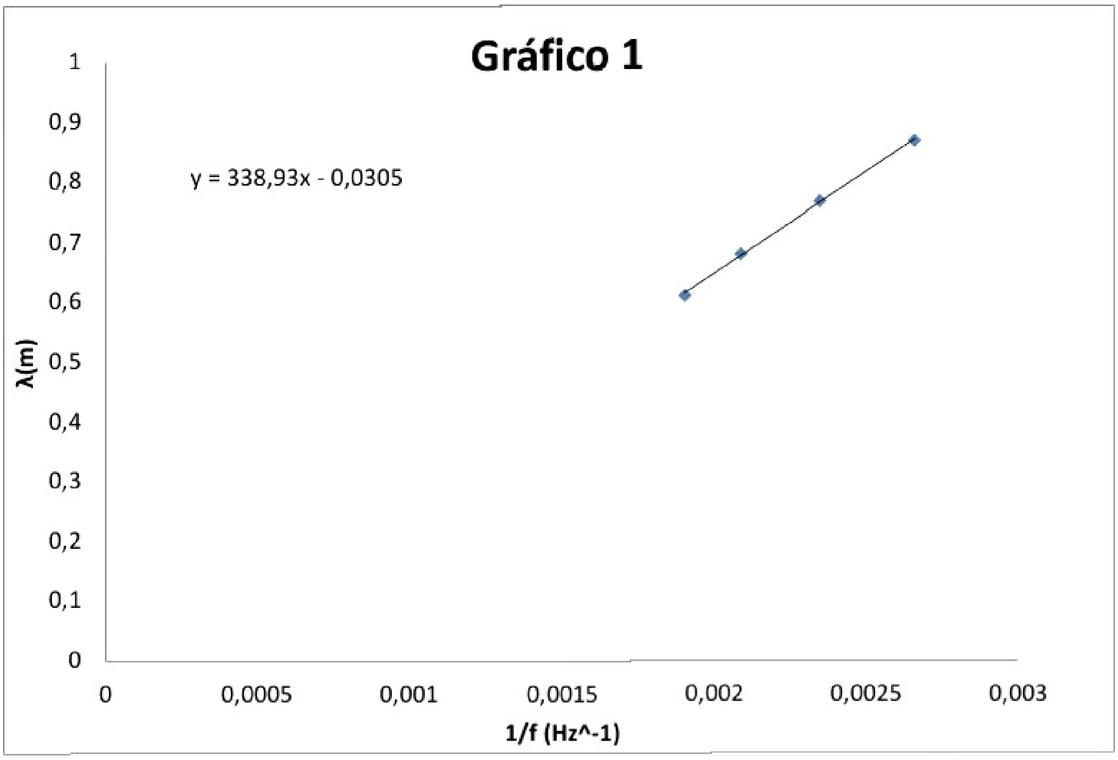

Gráfico 1
y = 338,93x - 0,0305
λ(m)
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
0,0005
0,001
0,0015
0,002
0,0025
0,003
1/f (Hz^-1)