

Yuri Suzuki Correa Katajima ; N° USP: 11217169

Experimento 4 - Velocidade do som

Introdução:

Onda sonora é definida como qualquer onda longitudinal, ou seja, que possuem a mesma direção de vibração de sua trajetória. A trajetória dessa onda implica que há uma velocidade envolvida que depende de algumas propriedades como comprimento de onda λ e frequência f , notados pela seguinte equação

$$V = \lambda \cdot f \quad (1)$$

Neste experimento, ao emitir som na entrada de um tubo de acrílico cuja frequência é conhecida, algumas ondas sonoras estacionárias podem ser produzidas. Como existe um antinó na extremidade aberta e um nó na extremidade fechada, o modo mais simples (no caso geral) de se obter frequências de ressonância de um tubo de comprimento L com uma extremidade aberta e outra fechada é dado por

$$\lambda = \frac{4L}{n}, \text{ para } n = 1, 3, 5 \dots \quad (2)$$

Assim, somente os harmônicos ímpares podem existir nesse tipo de tubo. Conhecendo o valor do comprimento L e a frequência f é possível determinar o respectivo comprimento de onda λ e ainda conhecer com qual velocidade as ondas sonoras viajam. O objetivo do experimento, então, será determinar a velocidade do som no ar e a frequência de vibração de um diapasão desconhecido.

Metodologia

Lista de materiais:

- Tubo de acrílico transparente com extremidade móvel;
- Microfone;
- Amplificador;
- Fone de ouvido;
- Conjunto de cinco diapasons (4 com frequências conhecidas e um com frequência desconhecida);
- Termômetro ($\pm 0,5^\circ\text{C}$);
- Martelo de borracha;
- Gerador de frequência ($\pm 1\text{Hz}$).

Procedimento Experimental

Posicionou-se o diapason de modo que ele vibrasse num plano vertical sobre a extremidade aberta do tubo. Variando a posição da extremidade com o auxílio de um ímã, vibrou-se o diapason com o martelo de borracha. Escutando atentamente, variou-se a posição da extremidade móvel do tubo procurando um primeiro nível para o qual ocorre o máximo da intensidade do som (ressonância). Em seguida, localizou-se a posição da intensidade máxima o mais precisamente possível que foi identificado por A_1 . O comprimento do tubo foi aumentado até localizar um segundo nível A_2 de ressonância, e assim por diante até toda a extensão do tubo. Os valores foram colocados em tabelas para realização das análises.

Resultados e Discussão

a) Desprezando as medidas das extremidades para

Para cada diapazão, determine os comprimentos de onda dos sons examinados, registrando esses valores também na respectiva tabela.

Utilizando a equação (2) calcule-se os valores de comprimentos de onda λ que estão na última coluna de cada tabela.

Tabela 1 - Pontos de encontro para frequência de 425,99 Hz.

n	L ₁ (m) ± 0,005	L ₂ (m) ± 0,005	L ₃ (m) ± 0,005	L médio	Erro da média	λ (m)
1	0,175	0,185	0,184	0,181	0,007	0,724
3	0,582	0,589	0,587	0,586	0,006	0,781
5	0,997	0,991	0,992	0,993	0,006	0,794

Tabela 2 - Pontos de encontro para frequência de 376,34 Hz.

n	L ₁ (m) ± 0,005	L ₂ (m) ± 0,005	L ₃ (m) ± 0,005	L médio	Erro da média	λ (m)
1	0,212	0,205	0,204	0,207	0,007	0,828
3	0,665	0,663	0,659	0,662	0,006	0,883
5	1,111	1,119	1,117	1,116	0,007	0,893

Tabela 3 - Pontos de encontro para frequência de 479,30 Hz.

n	L ₁ (m) ± 0,005	L ₂ (m) ± 0,005	L ₃ (m) ± 0,005	L médio	Erro da média	λ (m)
1	0,162	0,161	0,163	0,162	0,005	0,648
3	0,521	0,522	0,520	0,521	0,005	0,695
5	0,872	0,877	0,879	0,876	0,006	0,701

Tabela 4 - Pontos de encontro para frequência de 525,06 Hz.

n	L ₁ (m) ± 0,005	L ₂ (m) ± 0,005	L ₃ (m) ± 0,005	L médio	Erro da média	λ (m)
1	0,140	0,141	0,141	0,141	0,005	0,564
3	0,469	0,471	0,477	0,472	0,006	0,629
5	0,800	0,799	0,801	0,800	0,005	0,640

b) Por que as medidas das extremidades devem ser desprezadas?

As medidas das extremidades não desprezadas pelo fato de que as ondas ali presentes não apresentam ressonância, mas somente as ondas que se distribuem ao longo do tubo de acrílico.

c) Utilizando as frequências conhecidas dos diapósitos e os resultados anteriores, determine a velocidade do som e sua média.

Para isso, utilize-se o valor médio de cada comprimento de onda para as diferentes frequências.

Frequência (Hz)	Velocidade do Som (m/s)
425,69	328,45
376,34	328,66
479,30	328,56
525,06	320,81

Valor médio: 325,12 m/s

d) Determine graficamente a velocidade do som no ar. Qual é o gráfico que deve ser montado?

Pela equação (1), substituindo λ por $4L/n$, chega-se em uma equação para extrair diretamente a velocidade.

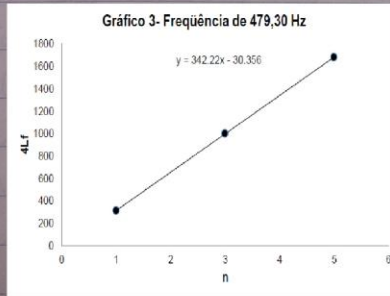
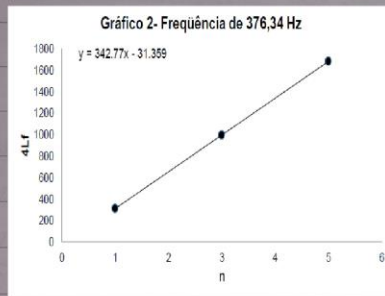
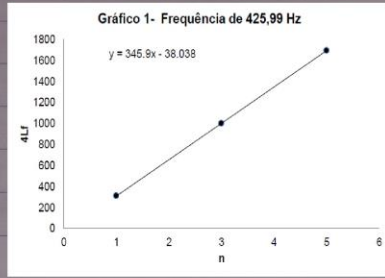
$$V = \frac{4Lf}{n} \quad (3)$$

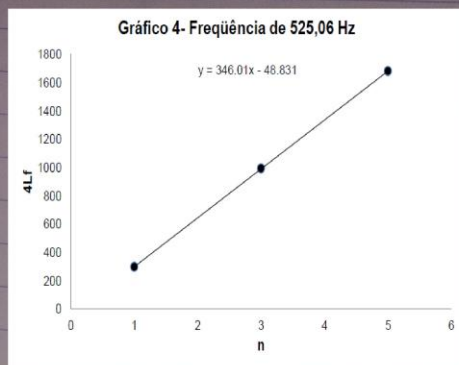
Desse modo, construindo um gráfico de $4Lf$ versus n , o coeficiente angular da equação da reta será então o valor da velocidade do som.

Tabela 5 - Velocidade do som para cada frequência utilizada encontrada graficamente pelo coeficiente angular $v = 4L/fn$

Frequência (Hz)	Velocidade do Som (m/s)
425,99	345,9
376,34	342,7
479,30	342,2
525,06	346,0

Valor médio= 344,20 m/s





c) Discussão dos resultados dos itens c) e d)

Comparando os resultados obtidos pelo método direto (aplicação da equação) e graficamente, os que foram obtidos por este último foram mais precisos e mais próximos do valor esperado para $T = 20^\circ\text{C}$ que era de $v = 343 \text{ m/s}$ (um desvio de 0,35%, considerável pelo fato de que a 24°C a velocidade do som será maior que o valor de literatura, ou seja, não valores precisos e válidos). Como para o método gráfico os pontos foram todos distribuídos e não se trabalhou com valor médio, o procedimento foi mais preciso.

d) Determine a frequência do diapasão de frequência desconhecida

Utilizou-se a velocidade do som $v = 344,20 \text{ m/s}$,
 $n = 5$ e $l = 0,650 \text{ m}$

Através da equação 3 isolando f chega-se em:

$$f = \frac{V n}{4L} \quad (4)$$

Tabela 7 -- Pontos de encontro para o diapasão de frequência desconhecida

n	Distância L (m)			Média	Erro da média
	Medida 1	Medida 2	Medida 3		
1	0,118	0,126	0,119	0,121	0,007
3	0,398	0,389	0,381	0,39	0,01
5	0,657	0,656	0,639	0,65	0,01

Logo, a frequência encontrada foi de $f = 661,92 \text{ Hz}$

g) Determinar a velocidade do som a 0°C

Com $V(T) = 325,12 \text{ m/s}$

$$V_0 = \frac{325,12}{\sqrt{1 + 24/273}} \Rightarrow V_0 = 311,7 \text{ m/s}$$

Com $V(T) = 344,20 \text{ m/s}$

$$V_0 = \frac{344,20}{\sqrt{1 + 24/273}} \Rightarrow V_0 = 330,01 \text{ m/s}$$

Para $V(T) = 344,20 \text{ m/s}$ chegou-se no valor esperado de $V = 330 \text{ m/s}$, enquanto que para $V(T) = 325,12 \text{ m/s}$ o valor foi estritamente menor, tratando-se de um valor cuja velocidade foi obtida por um método menos preciso.

h) Demonstração da equação (2)

$$\lambda = 4L \quad \text{1º modo mais simples}$$

$$\lambda = 4L/3 \quad \text{2º modo mais simples}$$

$$\text{Logo } \Rightarrow L = \frac{3\lambda}{4} = \frac{\lambda}{4} + \frac{n \cdot \lambda}{2}$$

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

∴ $\lambda = \frac{4L}{2n+1}$ admite apenas números ímpares,
logo:

$$\lambda = \frac{4L}{n} \quad \text{com } n = 1, 3, 5, \dots$$

i) Uma forma simples, limpa e mais barata de realizar este experimento:

- Balde de água com cores de PVC, cujo comprimento da coluna de ar pode ser variado facilmente possibilitando detectar os pontos de ressonância.
- Os dispositivos são substituídos por um programa de computador que gera áudio.
- Através do som produzido, a uma determinada frequência é possível variar o comprimento da coluna de ar até um valor total que ocorre a ressonância devido à reflexão das ondas na superfície líquida.

• Conclusões:

O objetivo do experimento foi concluído e pôde-se assim estudar o fenômeno envolvido por trás da propagação de ondas mecânicas sonoras. Os valores encontrados de velocidade do som foram próximos do esperado, e tratando de um experimento prático, possíveis erros sistemáticos são inerentes, entretanto, não invalidam o procedimento.

Referências:

- HALLIDAY. Fundamentos de Física, Volume 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica, 9ª edição, Rio de Janeiro - LTC, 2013
- SILVA, Wilton Pereira da et al. Velocidade do som no ar: um experimento realizado com microcomputador e balde d'água. Rev. Bras. Ensino Fis., São Paulo, v. 25, n. 1, p. 71-80, 2003.

Conexão:

Item d) A partir da equação 1, rearranjando, chega-se em:

$$V = \frac{\lambda}{1} / f$$

Extraindo o coeficiente angular de um gráfico de λ versus $1/f$, encontra-se a velocidade do som no ar. O gráfico corrigido encontra-se ao final do relatório, com $V = 339,79$ m/s.

O gráfico foi construído a partir dos valores λ para cada frequência no item A.

Comparando os resultados obtidos pelo método direto e graficamente, este último foi o mais próximo do esperado para a velocidade do som no ar a 20°C que é de 343 m/s. Com o método gráfico, o desvio com a literatura foi de $0,93\%$, ao passo que o desvio do valor encontrado no item c com a literatura foi $5,2\%$.

Item f) Calculando a frequência para $V = 325,12$ m/s

$$n=1 \rightsquigarrow f = 325/4 \cdot 0,121 = 671,5 \text{ Hz}$$

$$n=3 \rightsquigarrow f = 975/4 \cdot 0,39 = 625 \text{ Hz}$$

$$n=5 \rightsquigarrow f = 1625/4 \cdot 0,65 = 625 \text{ Hz}$$

Calculando a frequência para $V = 339,79$ m/s

$$n=1 \rightsquigarrow f = 339,79/4 \cdot 0,121 = 602 \text{ Hz}$$

$$n=3 \rightsquigarrow f = 1019,37/4 \cdot 0,39 = 653,44 \text{ Hz}$$

$$n=5 \rightsquigarrow f = 1698,95/4 \cdot 0,65 = 653,44 \text{ Hz}$$

$$f = 654,9 \text{ Hz}$$

Os gráficos feitos na primeira versão foram com base em cada frequência utilizada para as três medições que geraram 3 diferentes comprimentos de onda, gerando assim coeficientes angulares muito próximos. Entretanto, não foi um método muito preciso, recorrendo então a um único gráfico utilizando os valores médios de comprimento de onda e cada frequência.

