

VELOCIDADE DO SOM EM METAIS

INTRODUÇÃO

A propagação de ondas mecânicas em um meio material dá-se pela transmissão de vibrações das partículas constituintes do meio, produzidas pela fonte geradora da onda. Quando a vibração é paralela à direção de propagação, a onda é chamada de longitudinal. O som é um exemplo de uma onda mecânica longitudinal. Uma onda se diz transversal quando produz vibrações perpendiculares à direção de propagação. Além de ondas longitudinais e transversais, perturbações mecânicas em um sólido podem produzir, também, ondas de torção.

As propriedades do meio que determinam a velocidade de propagação de uma onda mecânica são a inércia e a elasticidade. A elasticidade do meio dá origem a forças restauradoras e a inércia determina como o meio responde a tais forças. Em um sólido, a velocidade v de propagação de pulsos longitudinais é dada por

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}},$$

em que Y é o módulo de Young, que caracteriza a elasticidade, e ρ é a densidade, que caracteriza a inércia do meio. A Tab. 1 mostra valores de Y , ρ e v para alguns metais.

Tabela 1

Módulo de Young, densidade e velocidade do som para alguns metais (as incertezas são menores que 10%)

Material	Y (10^{11} N/m ²)	ρ (10^3 kg/m ³)	v (km/s)
Alumínio	0,70	2,70	5,10
Cobre	1,25	8,96	3,56
Ferro	2,06	7,86	5,13
Aço	2,00	7,81 a 7,90	5,13
Latão	0,90	8,44 a 8,60	3,30

Neste experimento, pretende-se medir a velocidade de propagação do som em barras metálicas. Soltando-se uma barra verticalmente, observa-se que ela “pula” ao atingir o piso. Esse fato pode ser explicado como se segue. Quando a barra se choca contra o piso, é produzido um pulso de compressão na sua extremidade inferior. Esse pulso propaga-se ao longo da barra e, ao atingir a extremidade superior dela, é refletido, retornando à extremidade inferior. O pulso, ao atingir a extremidade inferior, restaura a forma original da barra, que, por sua vez, exerce uma força para baixo sobre o piso. O piso, em reação, exerce uma força para cima sobre a barra, fazendo-a saltar. Durante o tempo em que o pulso sobe e desce ao longo da barra, esta permanece em contato com o piso.

Seja l o comprimento da barra e t_c o intervalo de tempo em que esta fica em contato com o piso, a velocidade do pulso é dada por

$$v = \frac{2l}{t_c}.$$

Portanto, medindo-se l e t_c , pode-se obter a velocidade do pulso.

PARTE EXPERIMENTAL

Objetivo

- Determinar a velocidade de propagação de um pulso longitudinal em barras de metal.

Material utilizado

- Fonte de tensão contínua, capacitor eletrolítico, resistor, multímetro digital, barras metálicas e trena.

Procedimento¹

O tempo necessário para um pulso percorrer uma barra metálica de 1 m de comprimento é menor que um milésimo de segundo (ver Tab. 1). Como cronômetros convencionais não são adequados para se medirem tempos dessa ordem, um outro tipo de “relógio” deve ser empregado. Nesse caso, o “relógio” utilizado para medir o tempo t_c baseia-se na medida de descarga de um capacitor em um circuito RC (ver detalhes no experimento de circuito RC).

¹ SPEZIALI, N.L.; VEAS LETELIER, E.F.O; Ondas Longitudinais: Determinação da Velocidade do Som Em Metais. *Rev. Ens. de Fis.* 8/1, 3-9 (1986).

A montagem utilizada nesta experiência está mostrada, esquematicamente, na Fig. 1. Ligando-se momentaneamente a chave S , o capacitor carrega-se até atingir a voltagem V_0 da fonte. Ao soltar-se a barra, o capacitor descarrega-se através do resistor R , durante o tempo em que a barra permanece em contato com a base metálica.

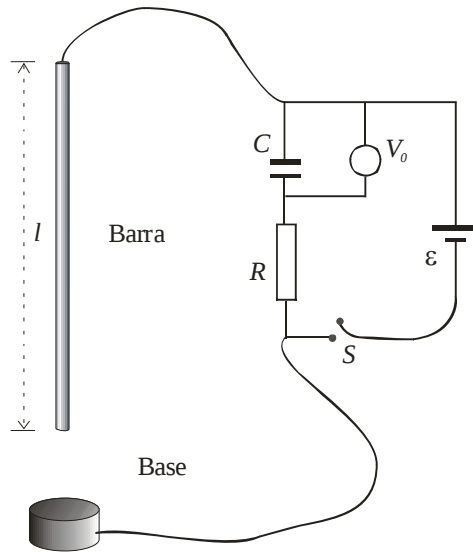


Figura 1 - Diagrama esquemático da montagem, mostrando o circuito utilizado para medir o tempo de contato entre a barra e a base metálicas; para carregar-se o capacitor, liga-se momentaneamente a chave S ; na colisão, enquanto a barra estiver em contato com a base, o capacitor C se descarregará através do resistor R .

A tensão elétrica no capacitor é indicada no voltímetro V . Durante a descarga, a voltagem $V(t)$ em um capacitor decresce com o tempo t de acordo com a equação

$$V(t) = V_0 e^{-(t/\tau)},$$

em que $\tau = RC$ é chamado de constante de tempo do circuito.

Se a barra for solta sucessivas vezes, o valor de tensão V_f , depois de cada colisão, está relacionado com o valor V_i , antes da colisão, por

$$V_f = V_i e^{-(t_c/\tau)}.$$

Neste experimento, devem ser tomados os seguintes cuidados:

- observe a polaridade do capacitor eletrolítico antes de ligar a fonte;

- ❑ ajuste a tensão da fonte para zero Volt e aumente-a gradativamente, atentando para o valor máximo que o sistema admite;
- ❑ ao soltar a barra, posicione-a, no máximo, a 15 cm acima da base metálica, para evitar que a ponta dela se amasse; cuide para que a barra caia verticalmente, sem girar.

Montada a instrumentação como ilustrado na Fig.1, ligue a chave para carregar o capacitor.

Há duas maneiras distintas de se realizarem as medidas e de se fazer o tratamento dos dados obtidos. No Procedimento I, os dados relacionam-se linearmente e o ajuste faz-se por regressão linear. No Procedimento II, utiliza-se um processo de ajuste direto da curva obtida ou um processo de linearização seguido de uma regressão linear. Para orientar sua escolha, leia previamente os dois procedimentos.

Procedimento I

- Desconecte a chave S, anote o valor da tensão no capacitor e solte imediatamente a barra. Depois de ela colidir com a base, segure-a no ar, antes que caia novamente; anote o novo valor da tensão. Repita esse procedimento várias vezes, anotando os valores das tensões V_i no capacitor, antes, e V_f após, cada colisão. Se necessário, carregue novamente o capacitor para fazer outras medidas.
- Faça um esboço qualitativo do gráfico que representa a tensão no capacitor em função do tempo, desde o instante em que você começou as medidas até a quarta colisão da barra com a base. Observe a queda de tensão que ocorre sem haver contato da barra com a base e a flutuação na indicação do voltímetro imediatamente após cada colisão.
- Faça, com os valores obtidos, um gráfico de V_f versus V_i . Com base nesse gráfico, determine o tempo t_c de contato da barra com a base e a velocidade de propagação do pulso com sua respectiva incerteza. Compare os resultados obtidos experimentalmente com os valores apresentados na Tab. 1. Avalie as possíveis causas de erros neste experimento.

Procedimento II

- Anote o valor inicial da tensão e desconecte a chave S. Solte imediatamente a barra e, depois de ela colidir com a base, segure-a; leia e anote rapidamente a tensão. Solte novamente a barra e segure-a; leia e anote a tensão. Repita esse processo até atingir um valor bem baixo de tensão.

Em cada colisão, a barra fica em contato com a base por um intervalo de tempo $\Delta t = t_c$. Então, depois de n colisões, a barra terá ficado em contato com a base durante um tempo $n \Delta t = n t_c$. Assim, a tensão elétrica entre as placas do capacitor pode ser escrita dessa forma:

$$V_n = V_0 e^{-(nt_c / \tau)}$$

- Faça um gráfico de V_n versus n .
- Pode-se obter o tempo de contato da barra t_c por meio de uma linearização seguida de uma regressão linear dos dados. Um outro processo, bem mais rápido, consiste em se fazer diretamente o ajuste de uma função exponencial. Uma vez desenhada a curva com os valores observados, use o programa de ajuste, escolhendo a opção de ajuste com decaimento exponencial de primeira ordem. Isso feito, o programa vai ajustar os dados à curva exponencial

$$y = y_0 + A_1 e^{[-(x-x_0)/t_1]}$$

e dará como resultados os parâmetros y_0 , A_1 , x_0 e t_1 com suas respectivas incertezas.

A partir desses resultados, calcule a velocidade de propagação do pulso e sua respectiva incerteza. Compare os resultados obtidos experimentalmente com os apresentados na Tab. 1, avaliando os erros cometidos e a possível causa de cada um deles.