

Trabalho Prático 6 – Ondas de pressão (som)

Objetivos

- Utilizar o fenómeno de ressonância, para determinar as frequências próprias de vibração de uma coluna de ar.
- Identificar padrões estacionários de vibração numa coluna de ar.
- Determinar a velocidade do som no ar, à temperatura ambiente, utilizando as características da onda estacionária gerada num tubo de ar fechado numa extremidade.

Introdução

Onda mecânica ou elástica

Uma onda mecânica ou elástica é gerada quando uma perturbação atinge um ponto de um meio elástico e se propaga aos restantes pontos do meio. Do mesmo modo que uma perturbação origina uma onda, uma série de perturbações origina uma sequência de ondas. No caso particular da perturbação ser regular, as ondas originadas são periódicas.

Ondas sonoras ou ondas de pressão

Considere-se um meio (sistema) constituído por um determinado volume de ar (meio elástico), em que as partículas que o constituem estão em equilíbrio, isto é, a distribuição estatística das velocidades das partículas é estacionária. Considere-se um altifalante em funcionamento nesse meio vibrando com uma determinada frequência. À medida que o altifalante vibra, vão-se formando zonas de compressão (*elevada densidade de partículas*) e rarefação (*baixa densidade de partículas*) que se propagam no meio. Estas compressões e rarefações originam flutuações de pressão relativamente à pressão atmosférica (nas zonas de compressão a pressão será maior que a pressão atmosférica, nas zonas de rarefação será menor). Genericamente as ondas de pressão são ondas de compressão/rarefação que se propagam num meio material.

Note-se que o ouvido humano apenas deteta ondas de pressão de frequências entre 20 e 20000 Hz.

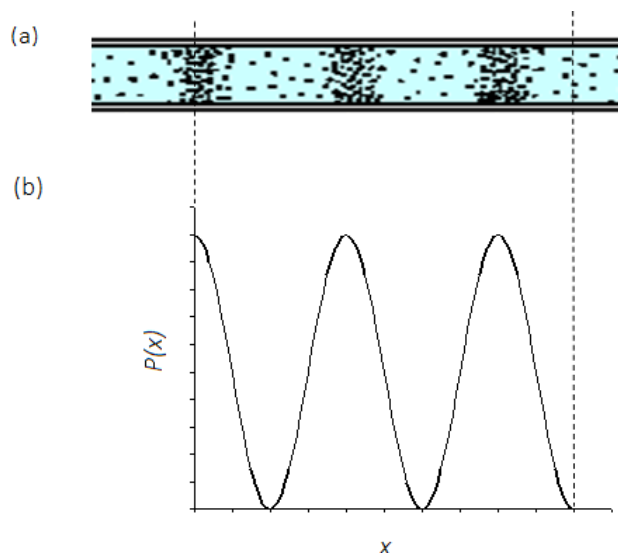
Ressonância

A ressonância consiste na geração de vibrações de *grande amplitude* num sistema por aplicação de uma “força” que vibra periodicamente com uma frequência igual à frequência própria (característica) do sistema.

Considere-se um altifalante que é posto a vibrar com uma determinada frequência exercendo uma força periódica nas partículas de ar da sua vizinhança. Se aproximarmos o altifalante de uma coluna de ar, esta acabará por oscilar com a frequência imposta pelo altifalante. Se a frequência de vibração do altifalante coincidir com a frequência própria, ou um múltiplo desta, do sistema (coluna de ar de comprimento L) a **amplitude das oscilações torna-se especialmente grande** (a este fenómeno chamamos ressonância).

A propagação de um sinal emitido por um altifalante, colocado nas proximidades de um tubo contendo ar, ocorre como resultado da formação de ondas de pressão $P(x,t)$ na coluna de ar. Devido à elevada compressibilidade do ar, qualquer flutuação na pressão traduz-se também numa onda de deslocamento, $\psi(x,t)$, na direção de propagação.

A Fig. 1(a) ilustra a distribuição de “partículas” de ar, numa secção do tubo, num dado instante, t_0 . A Fig. 1(b) representa graficamente a pressão que seria registada, no mesmo instante, por observadores colocados ao longo do comprimento L .



Fenómeno de interferência entre ondas de pressão num tubo de ar aberto apenas numa extremidade: ondas estacionárias

Imagine que o tubo é fechado na extremidade oposta ($x = 0$) àquela onde está colocado o altifalante. Isto significa que as ondas de pressão que se propagam ao longo da coluna de ar são reflectidas na extremidade fechada. Assim sendo, essas ondas combinam-se de acordo com o princípio de sobreposição, e, num dado instante t , a pressão total $P(x,t)$ registada por um “observador”, localizado num ponto x , resulta da sobreposição das ondas de pressão incidente P_i e reflectida P_r , que se propagam em sentidos opostos, ou seja:

$$P(x,t) = P_i(x,t) + P_r(x,t) = 2P_0 \cos(kx) \times \cos(\omega t) \quad (1)$$

A expressão (1) já não traduz uma **onda viajante** mas sim uma **onda estacionária**. Como o tubo está fechado em $x=0$, então nesta extremidade a pressão $P(x,t)$ deve ser **máxima** (*interferência construtiva*) e na extremidade aberta ($x=L$), deve ser **mínima** (*interferência destrutiva*). Consequentemente, as frequências de oscilação, f , permitidas à coluna de ar de comprimento L , são apenas as que correspondem a:

$$f = (2n + 1) \frac{v_{som}}{4L} \quad \text{com } n = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

e onde v_{som} representa a velocidade do som, no ar, a uma dada temperatura.

Diz-se então que a coluna de ar, contida no tubo, tem *modos próprios de vibração*, aos quais correspondem *frequências próprias*. A frequência do *primeiro modo de vibração*, dita *frequência fundamental*, é dada por $n=0$:

$$f_1 = \frac{v_{som}}{4L} \quad (3)$$

Em rigor, o nodo de pressão, na extremidade aberta, está situado a uma pequena distância, δL , na parte externa da extremidade aberta do tubo (ver Fig. 2). O comprimento efetivo, L_{efet} , da coluna de ar é dada por:

$$L_{efet} = L_{tubo} + \delta L \quad (4)$$

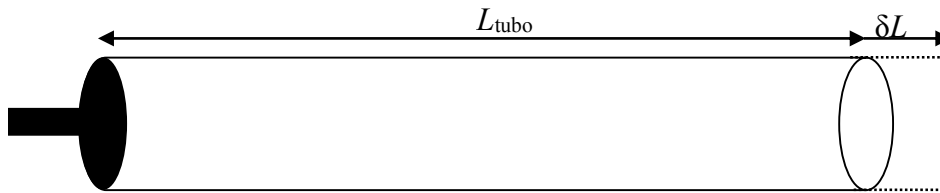
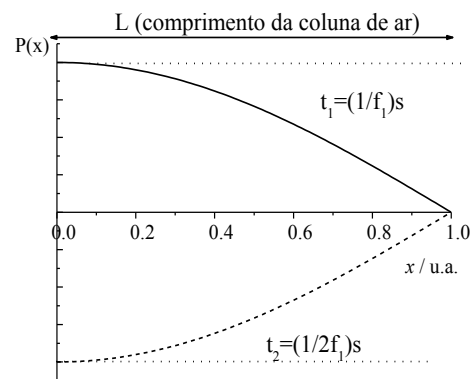


Figura 2

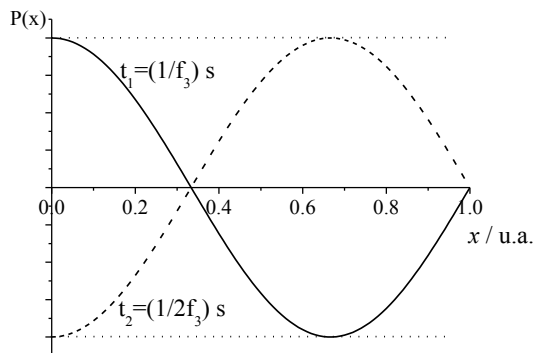
Assim, as frequências próprias dos modos de vibração devem ser reescritas como:

$$f = (2n + 1) \frac{v_{som}}{4(L_{tubo} + \delta L)} \quad \text{com } n = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

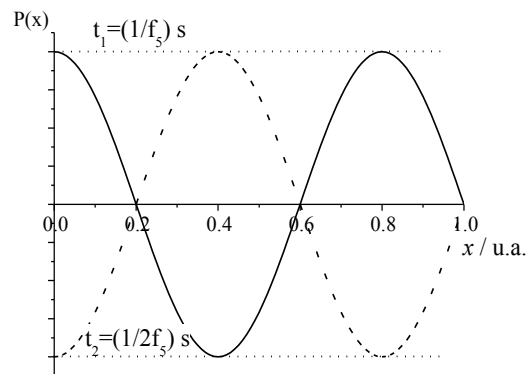
Na Fig. 3(a) representa-se graficamente, a amplitude de vibração da pressão, medida por “observadores” colocados ao longo da coluna de ar contida no tubo (fechado apenas numa extremidade), em dois instantes t_1 e t_2 , quando a coluna de ar oscila com a frequência fundamental de vibração (1º Harmónico). Na Fig. 3 (b) e (c) estão representados os dois modos de vibração seguintes.



(a) 1º Harmónico: $f_1 = \frac{v_{som}}{4L}$



(b) 3º Harmónico: $f_3 = 3 \frac{v_{som}}{4L}$



(c) 5º Harmónico: $f_5 = 5 \frac{v_{som}}{4L}$

Figura 3

Pela Fig.3 verifica-se que, numa onda estacionária, existem posições onde a interferência é sempre destrutiva (**nodos**) e posições onde a interferência construtiva atinge o seu valor máximo (**anti-nodo**).

Preparação do trabalho

- Explique, sucintamente, como é que o fenómeno de ressonância pode ser utilizado para determinar as frequências próprias de vibração da coluna de ar de comprimento L , contida no tubo.
- Suponha que dispunha de um altifalante cujo período de vibração, $T = 1/f$, não podia ser alterado. A partir da Eq. (5) obtenha uma expressão que lhe permita determinar, para cada período T , os valores de comprimento que a coluna de ar pode assumir, L , para que se observe o fenómeno de ressonância.
- Transforme a equação anterior numa expressão do tipo $y=mx+b$, na situação correspondente à 4ª ressonância ($n=3$),

Procedimento Experimental

Todos os valores medidos deverão ser registados na tabela I

Material Necessário

Tubo de ressonância, altifalante, gerador de sinais, osciloscópio, microfone, amplificador, cabos.

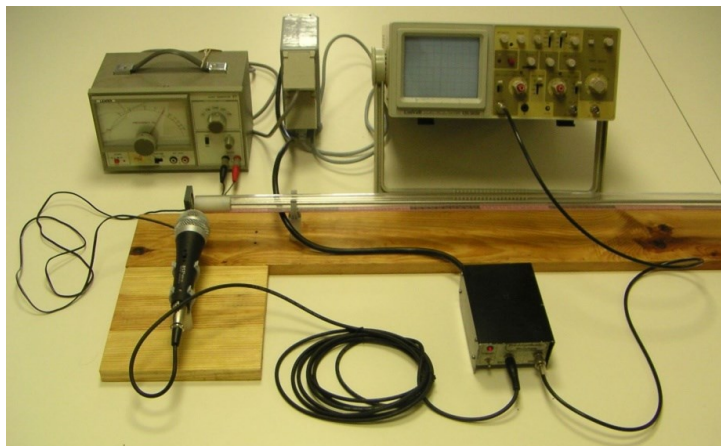


Figura 4: Dispositivo experimental

- Proceda à montagem experimental indicada na figura 4, verificando se: (1) o altifalante está ligado ao gerador de sinais; (2) o microfone está ligado ao amplificador que por sua vez se liga ao osciloscópio; (3) o gerador de sinais, o

- amplificador e o osciloscópio estão ligados à tomada de electricidade e (4) o microfone e o altifalante estão encaixados na base do tubo de ressonância.
- e) Coloque o tubo de ressonância de forma que a extremidade aberta fique a uma distância de 5-6 mm da base do altifalante, e desloque o êmbolo até não haver qualquer coluna de ar dentro do tubo.
 - f) Ligue o gerador de sinais e seleccione uma frequência de ≈ 1000 Hz. Meça o período $T \pm \Delta T$ correspondente a esta frequência utilizando um dos canais do osciloscópio (consulte o Anexo 1 deste protocolo). Registe todos os valores na tabela I.
 - g) Mude o canal do osciloscópio e obtenha uma imagem parada do sinal sinusoidal (consulte o Anexo 1 deste protocolo). Conseguirá assim observar o sinal que é captado pelo microfone (recetor) sempre que a perturbação criada pelo altifalante (emissor) se propaga no ar e chega ao receptor.
 - h) Desloque progressivamente o êmbolo do tubo, até detectar no osciloscópio a ocorrência da **4ª ressonância** e meça o comprimento, L , da coluna de ar **correspondente**. Registe os resultados das medições na tabela I.
 - i) Para cada uma das frequências indicadas na tabela I, repita o procedimento anterior. Explique como determinou T e ΔT .

Análise e discussão dos resultados experimentais

- j) De acordo com os resultados da alínea c) e represente graficamente em papel milimétrico os dados experimentais linearizados.
- k) Determine os parâmetros da recta (m , Δm , b , e Δb), utilizando o método MDQ, registe na Tabela I, e escreva a equação da recta na forma $y = (m \pm \Delta m)x + (b \pm \Delta b)$.
- l) Trace no gráfico anterior a recta caracterizada pelos parâmetros obtidos. Identifique no gráfico os dois pontos escolhidos para traçar a recta.
- m) Determine a partir dos parâmetros da recta, calculados anteriormente, a velocidade do som no ar, $v_{som} \pm \Delta v$.
- n) Determine a precisão do resultado obtido para a velocidade do som no ar.

- o) Considere que os valores teóricos, estimados para a velocidade do som no ar, em função da temperatura, θ , da sala são os que se apresentam na tabela ao lado. Avalie a exatidão do resultado obtido para a v_{som} .
- p) Será que o facto de só se medir o comprimento do tubo, ignorando a distância entre a extremidade do tubo e o altifalante, afeta a determinação da velocidade do som? Justifique.
- q) Qual é a estimativa que faz para o valor de δL ? Verifique na sua montagem experimental se esta estimativa está correcta.
- r) Escreva, sucintamente, as principais conclusões do trabalho experimental que realizou para determinar v_{som} .

θ / °C	$v_{som}(\theta)$ / ms ⁻¹
16	341,0
17	341,6
18	342,2
19	342,7
20	343,3
21	34,9
22	344,5
23	345,1
24	345,7

Bibliografia

Apontamentos de Física II, Serviços de texto, Universidade de Aveiro, edição de 2000-2001.

Alonso e Finn, *Física volume II- Campos e Ondas*, Edgard Blucher, 1981

Tipler, Paul, A., *FÍSICA Volume . I*, Guanabara, Rio de Janeiro, 1985.

Serway , R.A. e Beichner , R. J., *Physics for Scientists and Engineers* Saunders College Publishing, 5th edition, 2000.

Tabela I

Folha a entregar ao docente

Frequência de referência (escolhida no gerador de sinais) / Hz	Período medido (osciloscópio) T / _____	Erro no período medido ΔT / _____	Comprimento da coluna de ar dentro do tubo L_i / _____	Erro do comprimento ΔL_i / _____
1000				
1200				
1500				
1700				
2000				
2400				
3000				

m / _____	Δm / _____	b / _____	Δb / _____	r^2 / _____	V_{som} / _____	ΔV_{som} / _____

Turma: _____ Grupo _____ Data: _____

Alunos presentes: _____

Anexo 1: Utilização do osciloscópio

O osciloscópio permite visualizar sinais elétricos variáveis no tempo e medir características associadas a esses sinais, como tensão, período e fase. Em geral, os osciloscópios permitem a observação da evolução temporal de dois sinais distintos. O painel de controlos do osciloscópio (figura 5) pode ser dividido em 3 conjuntos: os comandos associados a cada um dos sinais, 'canal 1' (CH1) e 'canal 2' (CH2) e os comandos associados à base de tempo (TIME BASE - eixo XX').

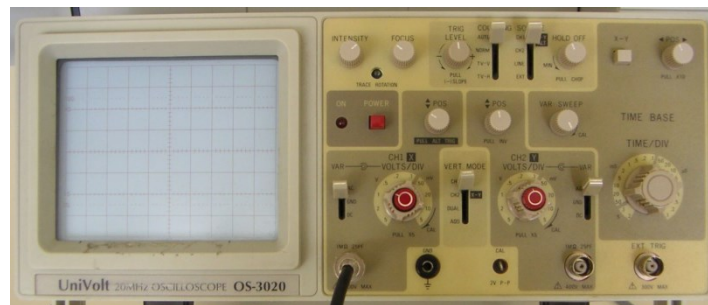


Figura 5

1. Neste trabalho vamos observar um só sinal pelo que a opção **VERT MODE** deverá estar no **CH1** ou no **CH2**, o qual deve ser escolhido de acordo com o canal usado para ligar o amplificador ao osciloscópio. Qual o canal escolhido? _____



2. Ajuste, no canal escolhido, o feixe no centro do écran. Para isso, o botão **VAR** deverá estar na posição **GND** (ground).
3. Utilizando o botão **POS**, no canal escolhido, ajuste a posição do sinal no centro do écran.



4. Uma vez que, neste trabalho, vamos observar um sinal alternado, coloque o botão **VAR** do canal escolhido, na posição **AC**
5. Os valores indicados pelo botão **VOLTS/DIV**, representam o valor da tensão correspondente à maior divisão da escala do eixo YY. Para se obter a escala

indicada em **VOLTS/DIV** é necessário colocar o botão vermelho na posição **CAL**. Para isso este deve ser rodado para a direita até se ouvir um 'click'. Para visualizar o sinal, deve-se começar com o botão **VOLTS/DIV** numa escala de maior tensão e ir alterando a escala até ajustar o sinal ao écran.

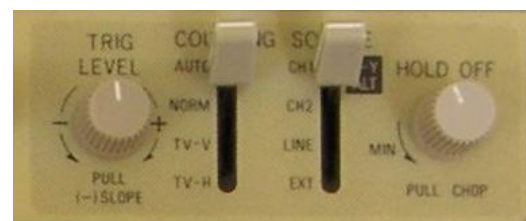
6. O botão **TIME/DIV** permite o ajuste da escala de tempo. Os valores indicados, representam o intervalo de tempo correspondente à maior divisão da escala do eixo XX. Para se obter a escala indicada em **TIME/DIV** é necessário colocar o botão vermelho na posição **CAL**. Note que neste trabalho está a utilizar um sinal sinusoidal com uma frequência conhecida (1000 Hz) pelo que lhe será possível determinar previamente uma escala de tempo apropriada.



Nesta altura deverá ser possível identificar, no ecrã do osciloscópio, a imagem de um sinal sinusoidal que eventualmente se encontra em movimento.

Para obter uma imagem estática é necessário que haja uma relação de números inteiros entre a frequência do sinal de entrada e a frequência com que se inicia a formação da imagem. Quando estas não se encontram sincronizadas obtém-se imagem múltipla que se desloca segundo o eixo XX. O **TRIGGER** é um dispositivo que consegue esse sincronismo, evitando a multiplicidade de imagens sobrepostas com diferentes fases.

7. Coloque o botão **SOURCE** no canal escolhido (**CH1** ou **CH2**).



8. No botão **COUPLING** comece por escolher o modo **AUTO**. Neste modo o sincronismo é feito automaticamente. Se não obtiver uma imagem estática, passe ao modo **NORM**. Neste modo pode utilizar o botão **TRIG LEVEL** para manualmente obter a imagem estática.