

Ondas sonoras: Experimentos de Interferência e Ondas em Tubos

Relatório Final de Atividades apresentado à disciplina de F-809.

Aluna: Cris Adriano

Orientador: Prof. Mauro de Carvalho

Resumo

Este trabalho tem por objetivo mostrar todo o processo de montagem da fonte geradora de ondas senoidais, um breve estudo teórico sobre ondas sonoras e por fim a apresentação de dois experimentos de demonstração, o primeiro envolvendo visualização dos modos normais de vibração das ondas dentro de um tubo e o segundo mostrando a interferência de ondas sonoras.

1. Introdução

As ondas sonoras são ondas mecânicas que se propagam através de um gás, líquido ou sólido. Estas ondas são produzidas por deformações provocadas pela diferença de pressão em um meio elástico qualquer, como por exemplo, ar, metais ou isolantes. A maioria dos sons acaba sendo obtido através de objetos que estão vibrando, como é o caso de cordas, palhetas, membranas, etc. Por exemplo, quando o diafragma contido no alto-falante se movimenta para fora de seu suporte, ele cria uma região de alta pressão pois comprime o ar que está na sua frente. Da mesma forma, ocorre uma rarefação quando o diafragma se move no sentido inverso. Quando as variações de pressão do ar chegam aos nossos ouvidos, os tímpanos são induzidos a vibrar e nos causam a sensação fisiológica do som.

Um ouvido normal consegue ouvir uma faixa de frequências que varia aproximadamente entre 20 Hz e 20000 Hz, sendo que as ondas que apresentam frequências inferiores a 20 Hz são denominadas infra-sônicas ao passo que as ondas com frequências superiores a 20000 Hz são chamadas de ultra-sônicas.

O objetivo deste projeto é realizar dois experimentos simples, porém muito interessantes envolvendo ondas sonoras. A primeira parte consiste em construir uma fonte geradora de sinais e ligar nela dois alto-falantes para podermos fazer interferência de ondas sonoras. Colocando os dois alto-falantes próximos um do outro poderemos avaliar as intensidades utilizando um microfone ligado em uma caixa de

som. Deslocando o microfone poderemos perceber os pontos de interferência construtiva e destrutiva.

A segunda parte de nosso projeto envolverá o estudo de ondas acústicas em tubos, no qual poderemos visualizar pontos de ressonância além de calcular a frequência do som no momento da ressonância. Para demonstrar o comportamento das ondas sonoras dentro do tubo utilizaremos um tubo de vidro e bolinhas de isopor.

Na seção 2 veremos uma breve teoria sobre velocidade do som em meios, propagação de ondas e determinação dos modos normais de vibração das ondas sonoras em tubos. A seção 3 mostrará o projeto da fonte geradora de sinais, a execução deste projeto e as melhorias feitas após os primeiros resultados.

2. Teoria de Ondas Sonoras

A velocidade de qualquer onda mecânica depende tanto da propriedade inercial (para armazenar energia cinética) do meio, como da propriedade elástica (para armazenar energia potencial). Se o meio for o ar, podemos atribuir à propriedade inercial a densidade do ar (?). Já para a propriedade elástica, podemos pensar que quando uma onda sonora atravessa o ar, a energia potencial fica associada às compressões e rarefações periódicas dos pequenos elementos de volume do ar. E, a propriedade que determina a extensão na qual um elemento do meio varia seu volume, quando a pressão aplicada sobre ele aumenta ou diminui, é o módulo de elasticidade volumar B, que é definido como:

$$B = - \frac{\Delta p}{\Delta V / V} \quad (1)$$

Sendo que $\Delta V / V$ é a variação relativa do volume produzida por uma variação Δp na pressão.

Deste modo, a velocidade da onda sonora no ar é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2)$$

Durante a passagem de uma onda, a pressão em uma determinada posição aumenta e diminui com o tempo, sendo a variação de pressão na equação (1) é dada por:

$$\Delta p = p_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (3)$$

Sendo p_m a máxima variação da pressão.

Podemos determinar também a velocidade de ondas sonoras em tubos. Primeiro, relembro que as ondas estacionárias são formadas em tubos quando uma onda que viaja em um determinado sentido do tubo é refletida na extremidade e ao voltar, forma um padrão de onda estacionária se o comprimento do tubo for convenientemente relacionado com o comprimento de onda da onda sonora. Se por acaso o tubo tiver as extremidades abertas, ainda obteremos um padrão de onda estacionária pois a onda que chega na extremidade é parcialmente refletida para dentro. Mais para frente, determinaremos a relação para a qual existe onda estacionária e então poderemos encontrar a velocidade da onda sonora dentro do tubo.

A extremidade fechada de um tubo é chamado de nodo de deslocamento, no qual a amplitude do deslocamento do ar é zero. Já a extremidade aberta de um tubo é chamado de antinodo, e neste caso a amplitude de deslocamento do ar é máxima.

Para determinarmos a velocidade da onda em um tubo aberto, basta observarmos (figura 1A) que é preciso existir um número inteiro de meios comprimentos de onda que se ajuste no comprimento L do tubo, então: $L = n(\lambda/2)$, sendo n um número inteiro positivo chamado de número harmônico. Neste caso:

$$v = \lambda f = \frac{2Lf}{n}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

Para o caso de tubo fechado, na extremidade aberta temos um antinodo e na fechada um nó, dessa maneira, observamos que $L = n(\lambda/4)$, com n ímpar, e portanto:

$$v = \lambda f = \frac{4Lf}{n}, \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (5)$$

Abaixo estão representados os primeiros harmônicos para o tubo aberto e para o fechado:

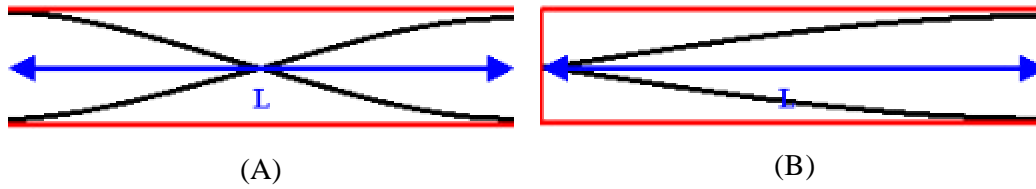


Figura 1: Primeiro harmônico ($n=1$) para: (A) tubo aberto e(B) tubo fechado.

A importância de se entender o processo de ondas estacionárias dentro de tubos está intimamente ligada com a música. Podemos citar alguns tipos de instrumentos que produzem sons através de cordas vibrantes, como violão, harpa, guitarra; sopro, como flauta, saxofone e sanfona; e percussão, como bateria. Os instrumentos de sopro, nada mais são do que tubos sonoros, sendo que dentro deles uma coluna de ar é posta a vibrar quando o músico assopra dentro do instrumento, variando assim a pressão dentro do tubo.

3. Montagem da fonte geradora de onda senoidal

Nesta seção serão apresentados os passos usados para a montagem da fonte geradora de ondas senoidais, na qual a frequência pode ser variada. Esta fonte será posteriormente acoplada aos alto-falantes para que possamos realizar os experimentos propostos acima.

Começamos pela escolha do circuito da fonte mostrado abaixo na figura 2. Escolhemos este circuito por ter uma montagem relativamente simples com componentes de fácil obtenção.

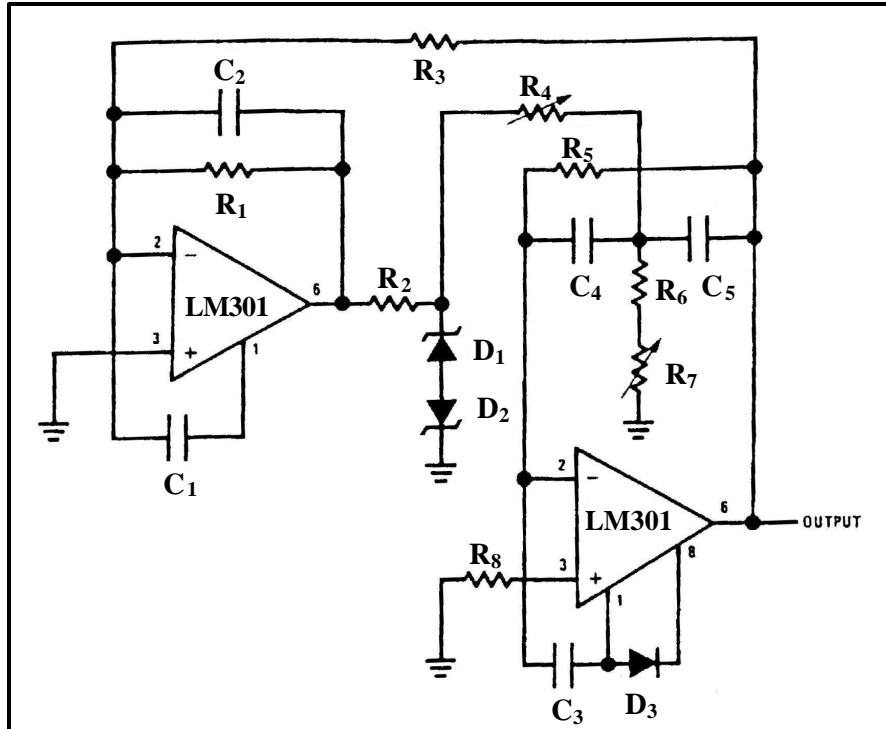


Figura 2: Circuito usado para montagem de uma fonte geradora de ondas senoidais.

Abaixo estão relacionados os valores dos componentes usados e as faixas de frequências que podem ser Obtidas com esta montagem variando-se apenas os dois capacitores C_4 e C_5 .

? Amplificador Operacional

São usados dois amplificadores modelo LM301A.

? Resistores:

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$

$R_2 = 5 \text{ k}\Omega$

$R_3 = 10 \text{ k}\Omega$

$R_4 =$ Trimpot de $200 \text{ k}\Omega$

$R_5 = 330 \text{ k}\Omega$

$R_6 = 50\Omega$

$R_7 =$ Potenciômetro de $1 \text{ k}\Omega$

$R_8 = 220 \text{ k}\Omega$

Os resistores R_4 e R_7 são responsáveis respectivamente pela mudança de amplitude do sinal e pela variação da frequência da onda senoidal gerada.

? Diodos:

D_1 = diodo zener de 7 V

D_2 = diodo zener de 7 V

D_3 = diodo tipo 1N914

? Capacitores:

C_1 = 150 pF

C_2 = 5 pF

C_3 = 150 pF

Os capacitores C_4 e C_5 variam conforme a faixa de frequência desejada para o uso da fonte, abaixo está a tabela de valores destes dois capacitores e a faixa de frequência que o circuito fornece. Os valores destes dois capacitores são iguais.

C_1 e C_2 (F)	Freq. Mínima (Hz)	Freq. Máxima (Hz)
0,47	18	80
0,1	80	380
0,022	380	1700
0,0047	1700	8000
0,002	4400	20000

Tabela 1: Valores das capacitâncias dos componentes C_1 e C_2 mostrados na figura 2 e as faixas de frequências geradas.

Escolhemos em nosso trabalho os capacitores com capacitância de 0,022 F o que dá uma faixa de frequência entre 380 Hz e 1700 Hz. Essa é uma faixa intermediária de frequência que fornece um comprimento de onda menor que um metro e isso torna possível a utilização de um tubo não muito grande para a visualização dos modos normais de vibração. O comprimento de onda é calculado usando-se um valor habitual para a velocidade do som no ar de aproximadamente 340 m/s^[1] e a equação $\lambda = v/f$:

$$f = 380 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = 0,90 \text{ m}$$

$$f = 1700 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = 0,20 \text{ m}$$

Após escolhido o circuito, a montagem foi primeiramente feita em um protoboard para ser testado junto a um osciloscópio. A figura 3 mostra essa montagem:

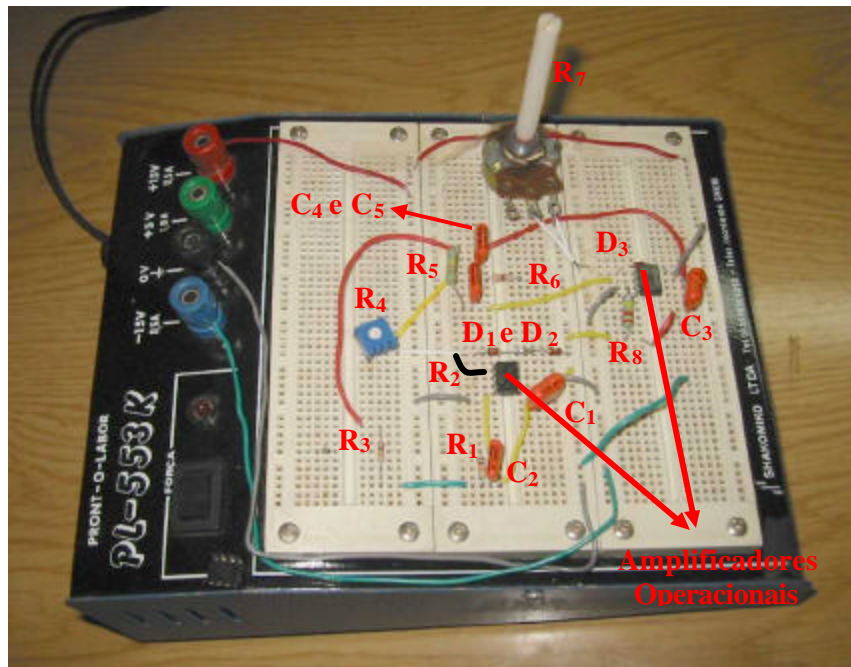


Figura 3: Foto da montagem da fonte geradora de ondas senoidais no protoboard.

A alimentação dos amplificadores é feita conforme esquema mostrado abaixo:

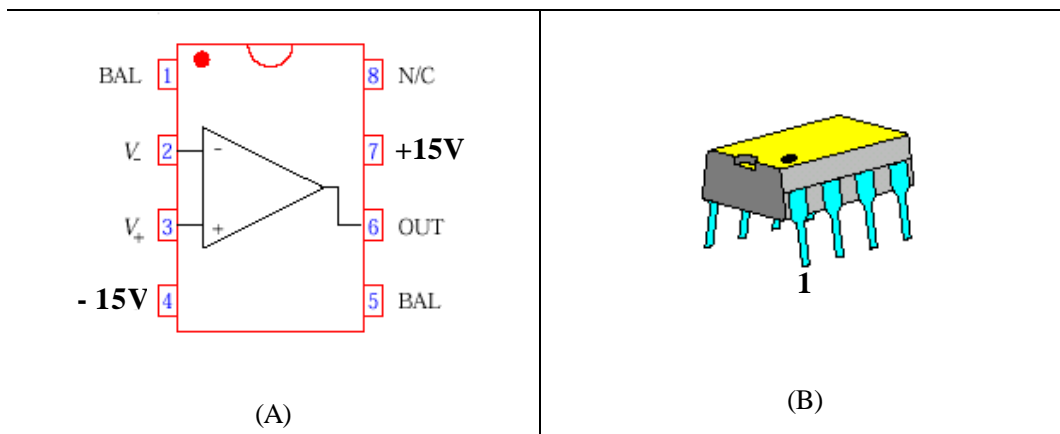


Figura 4: Amplificador Operacional, (A): vista interna mostrando as alimentações e (B): vista do componente mostrando como identificar a "perna" 1.

Na figura 4A podemos ver as entradas comuns da maioria dos amplificadores operacionais. A alimentação positiva é feita na "perna" 7 e a negativa na 4. A maneira correta de identificarmos a sequência das "pernas" deste tipo de amplificador

operacional é seguindo a marca feita no canto superior esquerdo como sendo a de número 1.

O próximo passo feito foi passar este circuito para uma placa de circuito impressa. Para fazer isso primeiro desenhamos o circuito no computador no programa Corel Draw e depois passamos este desenho para uma placa de circuito que é coberta por uma película de cobre. Depois de passar o desenho do computador para a placa, esta é colocada em uma solução de perclorato de ferro que corroe as partes da placa que não possuem a tinta marcando os caminhos, ou seja, o que sobra é justamente as linhas de nosso circuito na qual fazemos furos para depois soldarmos os componentes. Abaixo está o desenho tal como ele se apresenta na placa de circuito impressa:

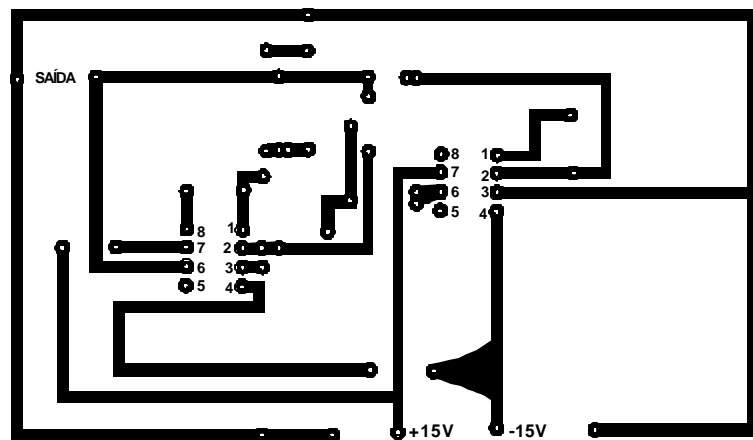


Figura 5: Circuito da fonte geradora de ondas senoidais na placa de circuito impresso, em tamanho real.

Como já foi dito acima, a alimentação é feita através de uma fonte de $\pm 15V$. A saída do circuito foi ligada aos alto-falantes. Devido à baixa potência de saída do circuito oscilador, utilizamos um amplificador de caixa de som para computador. Desta maneira, o som pode ser ouvido melhor pois ganhamos mais potência na saída.

4. Realização dos Experimentos com ondas sonoras

1 ° parte:

Começaremos falando do experimento de visualização dos modos normais de vibração dentro de um tubo de vidro. Para evidenciarmos este fenômeno usamos um tubo de vidro de 5 cm de diâmetro e 55 cm de comprimento. No interior do tubo foi colocado um disco de metal quase do diâmetro do tubo no qual foi acoplado uma

haste metálica. Do outro lado do tubo é colocado o alto-falante, a figura 6 mostra esse procedimento:

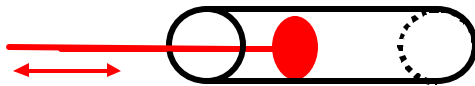


Figura 6: Esquema mostrando como movimentamos o pistão dentro do tubo de vidro.

Selecionada uma frequência, começamos a movimentar o disco até que o comprimento L satisfaça a equação (1) e possamos ver a formação de uma onda estacionária dentro do tubo. Para a visualização deste fenômeno foi colocado isopor no interior do tubo. Como as bolinhas de isopor são leves, elas se concentravam dentro do tubo em regiões onde haviam os nós das ondas. Já onde existia uma crista, não ficavam bolinhas de isopor. Deslocado o disco metálico através da haste é possível variar o comprimento do tubo e determinar outros harmônicos para a mesma frequência. Para calcular o valor da frequência marcamos no tubo as posições de ressonância e obtivemos o valor de L , para o tubo fechado e então determinar f através da equação (1) utilizando a velocidade do som no ar como sendo aproximadamente $340 \text{ m/s}^{[1]}$. Para a visualização do efeito com o tubo aberto, o que fizemos foi novamente colocar as bolinhas de isopor dentro do tubo e ir variando a frequência no gerador de ondas senoidais até que encontrássemos a ressonância. É fácil perceber quando estamos na ressonância pois ocorre uma amplificação do som perceptível pela nossa audição.

Para esta parte do experimento, a melhoria proposta seria na escolha do material que se colocou dentro do tubo. As bolinhas de isopor não são leves o suficiente e por isso não se distribuem na forma da onda como esperávamos. Fazemos a sugestão do uso de limalha de ferro.

2º parte:

Falaremos agora do experimento de interferência de ondas sonoras. Podemos fazer uma associação deste fenômeno pensando em ondas produzidas em um tanque com água. Se jogarmos uma pedra num tanque com água veremos a formação de uma onda circular que se propaga ao longo do tanque. Já, se jogarmos simultaneamente duas pedras separadas a uma distância considerável uma da outra, resultará na formação de duas frentes de ondas que vão interferir ao se encontrarem. Caso a

produção destas perturbações adquiram um caráter periódico, ocorrerá a formação de uma figura de interferência. Nos pontos onde existe a superposição entre duas cristas ou duas depressões existe a interferência construtiva. Já nos pontos onde se encontram uma crista e uma depressão, ocorre interferência destrutiva. A figura 7 mostra uma figura de interferência na superfície da água produzida quando se faz esferas do mesmo tamanho vibrarem ligadas no mesmo gerador:

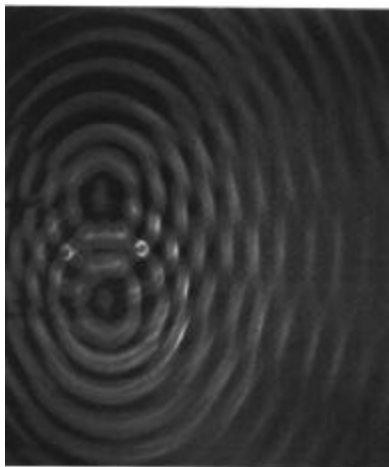


Figura 7: Interferência de ondas em um tanque com água produzido por duas bolinhas ligadas em um mesmo oscilador.

Quando ligamos dois alto-falantes na mesma saída sonora, também obtemos interferência das ondas. Podemos sentir isso quando andamos em uma sala com um aparelho de som ligado à duas caixas acústicas, conforme andamos sentimos o som aumentar e diminuir. O nosso objetivo nesta segunda parte é visualizar este efeito de interferência entre ondas sonoras. O que fazemos é ligar dois alto-falantes iguais na mesma saída da fonte geradora e colocar um alto-falante de cada lado de nosso tubo de vidro. Nossa primeira idéia neste experimento era apenas colocar os dois alto-falante um de frente para o outro e procurar os máximos de interferência com um microfone ligado em caixas de som ou a um osciloscópio. Porém, vimos que as bolinhas de isopor se dividiam dentro do tubo quando colocávamos um alto-falante de cada lado então a demonstração foi feita desta maneira. As bolinhas se concentravam em pontos de interferência máxima., mostrando então os locais de interferência construtiva, com as bolinhas, e destrutiva, sem as bolinhas.

5. Conclusões

Neste trabalho realizamos duas demonstrações simples utilizando ondas sonoras que tem como alvo estudantes de segundo grau e pessoas com pouco conhecimento na área de física. Foi explicado a construção de uma fonte geradora de ondas senoidais passo a passo, mostrando como é importante para nossa demonstração que possamos variar a frequência das ondas produzidas.

Demonstrações dos fenômenos de interferência de ondas sonoras e determinação da frequência de ressonância nos tubos foram feitas utilizando-se a fonte construída juntamente com um tubo de vidro, um pistão e bolinhas de isopor. Com isso pudemos verificar que é possível determinar a frequência das ondas sonoras para tubos abertos e fechados.

A melhoria proposta para o experimento vem com a perspectiva de construirmos um bom amplificador para ser acoplado na saída de nossa fonte e então fazer da montagem um bom experimento de demonstração dos fenômenos de interferência de ondas e visualização de ondas estacionárias em tubos.

6. Bibliografia Consultada

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Merrill, Fundamentos da Física, vol. II, cap. 17 e 18, 3^o ed. (1994).
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Merrill, Fundamentos da Física, vol. IV, cap. 40, 3^o ed. (1994).
3. http://www.ifi.unicamp.br/~kleinke/f540/e_amp1.htm
4. <http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/ondas2/ondas2.html>
5. <http://www.cdcc.sc.usp.br/ondulatória/interf2.html>
6. http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_37.asp
7. http://www.fisicarecreativa.com/informes/infor_ondas/